**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO**
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**
**MESTRADO EM FITOTECNIA**

**SARAH ALENCAR DE SÁ**

# ANÁLISE CANÔNICA E DE TRILHA EM PITAYA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E SOMBREAMENTO

**MOSSORÓ**
**2025**

**SARAH ALENCAR DE SÁ**

# ANÁLISE CANÔNICA E DE TRILHA EM PITAYA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E SOMBREAMENTO

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Pós-colheita

Orientador: Prof. Dr. Adriano do Nascimento Simões

Coorientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Fred Augusto Lourêdo de Brito

**MOSSORÓ**

**2025**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei n° 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei n° 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

111a Sá, Sarah Alencar de.
ANÁLISE CANÔNICA E DE TRILHA EM PITAYA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E SOMBREAMENTO / Sarah Alencar de Sá. - 2025.
79 f. : il.

Orientador: Adriano do Nascimento Simões.
Coorientador: Thieres George Freire da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, 2025.

1. Cladódios frutíferos. 2. Enzimas antioxidantes. 3. Esterco bovino. 4. Produtividade. 5. Sombreamento. I. Simões, Adriano do Nascimento, orient. II. Silva, Thieres George Freire da, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automáto em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC´s) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

**SARAH ALENCAR DE SÁ**

# ANÁLISE CANÔNICA E DE TRILHA EM PITAYA SOB ADUBAÇÃO ORGÂNICA E SOMBREAMENTO

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Pós-colheita

Defendida em: 25/07/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

_____
Prof. Dr. Adriano dos Nascimento Simões (UFERSA/UFRPE)
Presidente

_____
Prof. Dr. Aurélio Paes Barros Júnior (UFERSA)
Membro Examinador

_____
Profª. Dra. Elizangela Cabral dos Santos (UFERSA)
Membro Examinador

_____
Dra.Valécia Nogueira Santos e Silva (Externa)
Membro Examinador

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha vida, por nunca me abandonar e, principalmente, pelo seu amor.
Aos meus pais, Ivoneide de Alencar Luz e Joselito de Sá Pereira, pelo seu exemplo e amor, por toda a atenção e incentivo. À minha mãe, pelo exemplo de mulher, que com sua simplicidade e dedicação me ensinou a seguir os melhores caminhos. Ao meu pai, por se fazer presente e me apoiar nas minhas decisões. Amo vocês.
Ao meu irmão, José Augusto Alencar de Sá, que é luz em minha vida e que nunca me deixou desistir, me agraciando sempre com a palavra de Deus e me mostrando que nunca estou só.
À minha avó, Severina Maria de Jesus, que é bênção na minha vida e que amo de todo o meu coração.
À minha melhor amiga, Maria Vitória Carvalho, com quem compartilho não só o laço de amizade, mas o de sangue. Obrigada por ser meu amparo e minha alegria nesta terra, você tem meu amor incondicional.
A toda a minha família, de sangue e de coração, que me apoiaram e me aconselharam durante essa fase de minha vida. Em especial ao meu namorado, Júlio Teles Vaz, com quem compartilho todos os momentos, de alegrias e tristezas, pessoa com quem posso contar e que amo muito.
Aos meus amigos Dr. Hugo Bentzen e Ernani Júnior. Vocês são os melhores amigos e companheiros de caminhada que eu poderia ter, são a minha família do coração.
Ao meu orientador, Prof. Adriano do Nascimento Simões, pelos ensinamentos, paciência, incentivos e amizade. Obrigada por sua disposição e orientação durante todo esse tempo professor, por compartilhar seu conhecimento e ensinamentos, contribuindo para meu crescimento pessoal e profissional.
Aos meus queridos coorientadores, Prof. Fred Augusto e Prof. Thieres George, que estiveram comigo durante minha jornada na pós-graduação, vocês são um exemplo de persistência e dedicação. Obrigada por estarem sempre presentes. O apoio, incentivo, a ajuda, compreensão e paciência foram fundamentais em todos os momentos desse trabalho e da minha vida.
Às minhas amigas queridas Isabelly, Kaisa e Yanna, pelo acolhimento e todo o carinho durante anos. Obrigada pelo companheirismo, amizade e amor!
A Ivanice Santos, por ser essa mulher e profissional tão incrível e qualificada, que não mediu esforços para me auxiliar nesse processo tão exaustivo. Obrigada de coração!
Ao grupo de pesquisa, Núcleo de Estudos em Fisiologia Pós-colheita de frutos e hortaliças e flores (NEFP), do qual tive o prazer de fazer parte e a honra de conhecer tantas pessoas

maravilhosas, que não mediram esforços pra me ajudar e me apoiarem na realização das atividades.

A todas as pessoas maravilhosas e iluminadas que tive o prazer de conhecer, em especial Valécia Nogueira, Natanael Lucena, Ericks Pires, Alexandre Maniçoba, Aline Soares, Anderson Rodrigo, Wedson Aleff e Joan Carlos. Obrigada pelas risadas e momentos compartilhados. Vou levar todos em meu coração!

À Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia– PPGFITO, à Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGPV, pela estrutura e equipamentos concedidos para realização deste trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida durante a minha pós-graduação.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelos equipamentos utilizados e apoio aos projetos de pesquisa.

A todos os funcionários que compõem a UFERSA e UFRPE/UAST, em especial à equipe de transporte e manutenção.

Durante esse percurso, tive a oportunidade de conhecer e de reencontrar amizades que levarei comigo, em meu coração. Fui agraciada com a oportunidade de receber orientações e apoio de muitas pessoas e instituições. Os meus mais sinceros agradecimentos a todos, com a certeza de que cada um contribuiu com a realização desse sonho.

Obrigada a todos!

Se você se acovardar agora, vai se acovardar em todas as outras lutas da sua vida. Agora ou nunca!

C S Lewis

## RESUMO

A pitaya é uma fruta tropical exótica que tem ganhado destaque na fruticultura brasileira, especialmente em regiões do semiárido. Apesar da sua crescente importância, são escassos estudos com análises multivariadas, como a análise canônica e de trilha, avaliando como os fatores morfofisiológicos da planta influenciam a produção e a qualidade dos frutos. Este estudo avaliou duas espécies: polpa vermelha (*Hylocerus polyrhizus*) e polpa branca (*Hylocerus undatus*), submetidas a cinco doses de esterco bovino (0, 5,33; 10,66; 21,33 e 49,33 kg/planta), com sombreamento utilizando capim elefante BRS Capiaçú, e sem sombreamento. Foram analisadas variáveis morfológicas da planta, atributos de qualidade dos frutos e características bioquímicas/fisiológicas dos cladódios frutíferos, durante um único ciclo produtivo. Os dados foram submetidos à análise de correlação canônica e de trilha. Os resultados revelaram forte correlação entre número de cladódios/frutos e a produtividade. Foi observado que plantas mais altas e com mais cladódios tendem a produzir frutos maiores. Em plantas com maior densidade de frutos, estes permanecem menores, sugerindo compensação entre quantidade e tamanho. O diâmetro longitudinal do fruto foi o principal preditor positivo da massa e de maior concentração de compostos fenólicos, vitamina C e menor teor proteico, sugerindo melhor potencial antioxidante. A vitamina C, alta atividade antioxidante (DPPH) e carboidratos totais nos cladódios tiveram efeito benéfico sobre os teores de flavonoides dos frutos. Cladódios com maior ativação das enzimas antioxidantes (SOD, APX e CAT) apresentaram frutos com maior concentração de carboidratos. Dentre os tratamentos avaliados, destacaram-se as doses de 21,33 e 49,33 kg/planta a pleno sol, por promoverem as melhores características morfofisiológicas das plantas, resultando em maior rendimento produtivo e frutos com melhor qualidade nutricional. Variáveis fisiológicas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila) não exerceram influência direta/indireta ou preditiva sobre o desempenho agronômico ou bioquímico dos frutos de pitaya. Conclui-se que a sinergia entre adubação orgânica e manejo eficiente da radiação solar potencializa o desempenho morfofisiológico da pitaya, elevando não apenas a produtividade, como também a qualidade funcional dos frutos. Esses resultados reforçam o duplo benefício da técnica: além de viabilizar sistemas agrícolas mais sustentáveis no semiárido brasileiro, agrega valor nutricional à produção, abrindo perspectivas para o cultivo economicamente competitivo e ecologicamente responsável.



**Palavras-chave:** Cladódios frutíferos. Enzimas antioxidantes. Esterco bovino. Produtividade. Sombreamento.

## ABSTRACT

Pitaya is an exotic tropical fruit that has gained prominence in Brazilian fruit production, especially in semiarid regions. Despite its growing importance, studies using multivariate analyses, such as canonical and path analyses, assessing how plant morphophysiological factors influence fruit production and quality are scarce. This study evaluated two species: red-fleshed (*Hylocerus polyrhizus*) and white-fleshed *(Hylocerus undatus*), subjected to five doses of cattle manure (0, 5.33; 10.66; 21.33; and 49.33 kg/plant), with and without shading using BRS capiaçú elephant grass. Plant morphological variables, fruit quality attributes, and biochemical/physiological characteristics of the fruiting cladodes were analyzed during a single production cycle. The data were subjected to canonical and path correlation analyses. The results revealed a strong correlation between the number of cladodes/fruit and yield. Taller plants with more cladodes tended to produce larger fruits. Plants with higher fruit density tended to produce smaller fruits, suggesting a trade-off between quantity and size. Fruit longitudinal diameter was the main positive predictor of mass and a higher concentration of phenolic compounds, while vitamin C and lower protein content were predictors, indicating better antioxidant potential. Vitamin C, high antioxidant activity (DPPH), and total carbohydrates in cladodes had a beneficial effect on fruit flavonoid levels. Cladodes with greater activation of antioxidant enzymes (SOD, APX, and CAT) produced fruits with higher carbohydrate concentrations. Among the treatments evaluated, the doses of 21.33 and 49.33 kg/plant in full sun stood out for promoting the best morphophysiological characteristics of the plants, resulting in higher yield and fruits with better nutritional quality. Physiological variables (gas exchange and chlorophyll fluorescence) had no direct, indirect, or predictive influence on the agronomic or biochemical performance of pitaya fruits. The conclusion is that the synergy between organic fertilization and efficient solar radiation management enhances the morphophysiological performance of pitaya, increasing not only productivity but also the functional quality of the fruits. These results reinforce the dual benefits of this technique: in addition to enabling more sustainable agricultural systems in the Brazilian semiarid region, it adds nutritional value to production, opening up prospects for economically competitive and ecologically responsible cultivation.



**Keywords:** Antioxidant enzymes. Cattle manure. Fruit cladodes. Productivity. Shade.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** – Relações canônicas entre características morfológicas e produtivas em clones de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos..... 20

**Figura 2** – Correlação entre características morfológicas, qualidade de frutos e forragem em palmas dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*.....21

**Figura 3** – A: Pomar experimental de pitaya plantadas com doses crescentes de esterco bovino e sombreadas com capim elefante BRS Capiaçu. B: Localização da UAST/UFRPE.....25

**Figura 4** – Distribuição das variáveis biométricas de pitayas vermelha (V) e branca (B) sob diferentes doses de adubação (0–4) e sombreamento (CS e SS). As variáveis avaliadas foram: altura da planta, número de frutos, número de cladódios, diâmetro, espessura e comprimento dos cladódios, peso fresco e seco do cladódio, peso do fruto, e diâmetros transversal e longitudinal dos frutos. Cada *boxplot* representa o intervalo interquartil (IQR), a mediana (linha central) e os valores extremos (círculos).....54

**Figura 5** – Cladódios e frutos de pitayas vermelha (V) e branca (B), sob diferentes doses de adubação (0–4) e sombreamento (CS e SS). Estão representados sólidos solúveis totais (SST), vitamina C, compostos fenólicos totais (CFT), DPPH, flavonoides, antocianinas, clorofilas *a* e *b*, clorofilas totais, carotenoides, carboidratos e proteínas em cladódios e frutos. Cada *boxplot* representa o intervalo interquartil (IQR), a mediana (linha central) e os valores extremos (círculos).....56

**Figura 6** – Pitayas vermelha (V) e branca (B), sob diferentes doses de adubação (0–4) e níveis de sombreamento (CS e SS). Estão representados APX, CAT, SOD; Tleaf (temperatura foliar); Pn (taxa fotossintética líquida); E (transpiração); C (acúmulo de carbono); ETR (taxa de transporte de elétrons); qP (*quenching* fotoquímico); NPQ (*quenching* não fotoquímico); Fv/Fm (eficiência do fotossistema II); acidez e pH dos frutos. Cada *boxplot* representa o intervalo interquartil (IQR), a mediana (linha central) e os valores extremos (círculos).....58

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** – Teores de nutrientes no solo do pomar experimental de pitaya (*Hylocereus* spp.) em diferentes tratamentos com adubação orgânica e sombreadas com capim elefante BRS Capiaçu na UAST/UFRPE, Serra Talhada/PE.....26

**Tabela 2** – Adubação durante os cincos anos de instalação do pomar de pitaya.....26

**Tabela 3** – Cargas canônicas entre o grupo Produção dos Frutos e os grupos Morfologia da Planta, Morfologia do Fruto e Qualidade dos Frutos de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....36

**Tabela 4** – Cargas canônicas entre o grupo Qualidade dos frutos e os grupos Morfologia dos cladódios e Bioquímica dos cladódios de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....38

**Tabela 5** – Cargas canônicas entre o grupo Qualidade dos frutos e o grupo Morfologia da planta de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....40

**Tabela 6** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Morfologia da planta de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....41

**Tabela 7** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Morfologia do fruto de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....42

**Tabela 8** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Qualidade do fruto de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....43

**Tabela 9** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (carboidratos) e Bioquímica do cladódio de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....44

**Tabela 10** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Morfologia do fruto de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....48

**Tabela 11** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Bioquímica do cladódio de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....49

**Tabela 12** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (proteínas) e Morfologia do fruto de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....52

**Tabela 13** – Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Morfologia da planta de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.....52

**SUMÁRIO**

**1 INTRODUÇÃO .....15**

**2 REVISÃO DE LITERATURA.....17**

2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E GERAIS DA PITAYA (*HYLOCEREUS* SPP) .....17
2.2 RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS E SEUS IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE DE CACTÁCEAS.....19
2.3 O SOMBREAMENTO COMO ALTERNATIVA NA MELHORIA DO DESENVOLVIMENTO E PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE PITAYA .....22
2.4 ADUBAÇÃO ORGÂNICA PODE FAVORECER O DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO DA PITAYA .....23
**3 MATERIAL E METÓDOS.....25**

3.1 LOCALIZAÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....25
3.2 AVALIAÇÕES REALIZADAS .....27
**3.2.1 Avaliações de natureza biométricas e morfológicas de cladódios e frutos.....27**
**3.2.2 Trocas gasosas - taxa de fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs) e taxa de respiração (E).....27**
**3.2.3 Fluorecência da clorofila .....28**
**3.2.4 Atividade da Catalase (CAT), Peroxidase de ascorbato (APX) e Superóxido dismutase (SOD).....28**
**3.2.5 Clorofilas e Carotenoides nos cladódios.....29**
**3.2.6 Flavonoides e antocianinas totais nos frutos .....29**
**3.2.7 Vitamina C e compostos fenólicos totais nos cladódios e frutos .....30**
**3.2.8 Ensaio *in vitro* da atividade antioxidante por DPPH nos cladódios e frutos.....30**
**3.2.9 Sólidos solúveis totais (SS) dos frutos.....31**
**3.2.10 pH dos frutos.....31**
**3.2.11 Acidez total titulável (AT) dos frutos .....31**
**3.2.12 Proteínas e Carboidratos solúveis totais nos cladódios e frutos .....31**

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS .....32

**3.3.1 Agrupamento dos dados .....32**
**3.3.2 Correlação de Pearson.....33**
**3.3.3 Análise de multicolinariedade .....33**
**3.3.4 Correlações canônicas.....34**
**3.3.5 Análise de trilha .....34**
**3.3.6 Construção de *boxplots* .....34**
**4 RESULTADOS.....36**

4.1 ANÁLISES DE CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE OS GRUPOS RESPOSTAS E OS GRUPOS EXPLICATIVOS.....37

**4.1.1 Correlações canônicas entre o grupo Produção dos frutos e os grupos: Morfologia da Planta, Morfologia do Fruto e Qualidade dos Frutos.....37**

**4.1.2 Correlações canônicas entre o grupo Qualidade dos frutos e os grupos: Morfologia dos cladódios e Bioquímica dos cladódios.....40**
**4.1.3 Correlação canônica entre o grupo Qualidade dos frutos e o grupo Morfologia da planta.....42**
4.2 ANÁLISES DE TRILHA ENTRE OS GRUPOS CORRELACIONADOS DOS EIXOS CANÔNICOS.....43

**4.2.1 Análise de trilha entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Morfologia da planta.....43**
**4.2.2 Análise de trilha entre o grupo Produção dos frutos (massa fresca) e o grupo Morfologia do fruto.....43**
**4.2.3 Análise de trilha entre o grupo Produção dos frutos (massa fresca) e o grupo Qualidade do fruto.....44**
**4.2.4 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (carboidratos) e Bioquímica do cladódio.....46**
**4.2.5 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Morfologia do fruto.....49**
**4.2.6 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Bioquímica do cladódio.....50**
**4.2.7 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (proteínas) e Morfologia do fruto.....53**
**4.2.8 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (proteínas) e Morfologia da planta.....54**

4.3 DISTRIBUIÇÃO E COMPORTAMENTO DOS DADOS EM FUNÇÃO DO SOMBREAMENTO, DOSES DE ADUBAÇÃO E CULTIVARES DE PITAYA.....54

**4.3.1 Características biométricas da pitaya sob diferentes doses de adubação e sombreamento.....54**
**4.3.2 Composição química em cladódios e frutos de pitaya.....56**
**4.3.3 Parâmetros fisiológicos e fotossintéticos da pitaya.....58**

**5 DISCUSSÃO.....60**

**6 CONCLUSÕES.....70**

**REFERÊNCIAS.....71**

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de pitaya no Brasil vem crescendo nos últimos anos; em 2017, a produção chegou a 1.459 toneladas, tendo São Paulo como maior produtor devido à facilidade de cultivo e clima favorável (IBGE, 2017). Para a safra 2024/2025, é esperada uma produção nacional maior que 6,5 mil toneladas. No Nordeste, o destaque é o Ceará, com 3,1 mil toneladas produzidas em 23 municípios (Conecta regional, 2025). Na Bahia, a comercialização mensal em Juazeiro saltou de 3 mil para 5,5 mil quilos, e no oeste do estado já se colhe até 15 toneladas por safra (A Notícia do Vale, 2025; Agromais, 2024). Esses dados evidenciam a expansão regional e o potencial produtivo da pitaya no semiárido nordestino.

Apesar de compartilhar o mesmo aparato fotossintético presente em outras cactáceas, como a palma-forrageira, o mandacaru e a coroa-de-frade, a pitaya apresenta particularidades morfológicas que resultam em diferenças estruturais. Essas distinções influenciam diretamente sua interação com o ambiente, afetando a capacidade fotossintética e, consequentemente, a produtividade da cultura (Barbosa *et al*., 2017, 2018a, b).

Existem poucos relatos sobre como as variáveis agronômicas e de cultivo afetam o crescimento, a produtividade e qualidade da pitaya. Compreender a influência das condições de manejo sobre a variabilidade morfológica e produtiva das espécies de cactácea é crucial para a avaliação de seu desempenho ao longo do tempo e em distintos ambientes (Barbosa *et al*., 2018; Matos *et al.*, 2020).

Nesse contexto, diferentes estratégias de manejo têm sido avaliadas com o objetivo de otimizar o cultivo da pitaya, especialmente em regiões com solos rasos e suscetíveis à erosão, características encontradas em solos do semiárido brasileiro. Fernandes *et al*. (2024) observaram que a combinação de fertilizantes orgânicos e minerais melhora significativamente a qualidade dos frutos da pitaya e a composição química do solo. De forma complementar, Jesus *et al*. (2021) demonstraram que a adubação orgânica adequada pode reduzir em até um terço a necessidade de fertilizantes minerais ricos em N, P e K, substituindo-os por fontes acessíveis como esterco bovino, o que contribui para reduzir os custos de produção.

Além das práticas de adubação, o manejo da luminosidade também tem se mostrado determinante no desempenho fisiológico e produtivo da pitaya. González *et al*. (2022) constataram que o tipo de cultivo (campo aberto ou sob cobertura) afeta características morfológicas e agronômicas, interferindo diretamente na produtividade e na qualidade dos

frutos. De forma semelhante, Raveh *et al*. (2021) verificaram que o sombreamento moderado melhora o crescimento, a fotossíntese e a qualidade dos frutos da pitaya vermelha.

Todavia, a utilização de espécies vegetais também é altamente recomendada, pois reduz os custos de instalação com as telas de sombreamento e ainda com o sistema de condução da cultura. Cruz *et al*. (2024) estudaram o manejo do capim *Megathyrsus maximus* (BRS Tamani) sob sombra em sistemas silvipastoris, analisando características morfofisiológicas e de produção de forragem, mostrando que níveis moderados de sombra podem ser benéficos. Rodrigues *et al*. (2024) analisaram o crescimento do capim Mombaça em sistemas silvipastoris com diversas alturas de copa; os resultados mostram ajustes morfológicos e de produção que mantêm o valor nutricional sob sombra parcial.

Diante da complexidade dos fatores ambientais e agronômicos que influenciam o desenvolvimento das culturas, o uso de análises multivariadas tem se mostrado uma ferramenta valiosa na compreensão dessas inter-relações. A correlação canônica (CCA), por exemplo, é eficaz para explorar associações entre dois conjuntos de variáveis, sendo amplamente utilizada para avaliar os efeitos combinados de fatores ambientais sobre características agronômicas (como produtividade, altura de planta e teor de sólidos solúveis) (Barbosa *et al*., 2017; Silva *et al*., 2017). No entanto, embora a CCA permita identificar padrões de correlação, ela não quantifica a influência individual de cada variável explicativa sobre uma variável resposta específica.

Nesse sentido, a análise de trilha complementa essa abordagem ao permitir a decomposição dos efeitos totais em componentes diretos e indiretos, fornecendo visão mais detalhada da magnitude e da direção da influência de cada fator sobre um traço de interesse (Neder *et al*., 2013; Silva *et al*., 2017). Assim, a combinação entre CCA e análise de trilha oferece um arcabouço estatístico robusto para a tomada de decisões no manejo agrícola, permitindo a seleção de características-chave em programas de melhoramento e a otimização dos sistemas de cultivo.

# 2 REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 ASPECTOS BOTÂNICOS E GERAIS DA PITAYA (*HYLOCEREUS* SPP)

A pitaya (*Hylocereus spp*) tem sua origem relatada nas florestas tropicais do México e das Américas Central e Sul. 70% das cercas de 1600 espécies existentes concentram-se nas regiões áridas e semiáridas do México, Peru, Argentina e Chile. No Brasil, essas cactáceas estão representadas por 37 gêneros, ocorrendo em ambientes diversos, como Cerrados, a Caatinga e a Mata Atlântica (Embrapa, 2022). O Brasil está entre os dez maiores produtores, com a produção e comercialização crescentes a cada ano, assim como o número de regiões produtoras (Fróes Junior *et al*., 2019).

A cultura pertence à família botânica *Cactaceae* e apresenta dois principais gêneros, *Hylocereus* e *Selenicereus*, ambos do tipo trepador (Embrapa, 2021a). As principais espécies comerciais são a *Hylocereus costaricensis*, que possui frutos grandes de casca vermelha e polpa vermelha escura, *Hylocereus polyrhizus*, também de casca e polpa vermelha, *Hylocereus undantus*, de frutos grandes com casca vermelha e polpa branca, e *Selenicereus megalanthus*, que possui casca amarela com espinhos e polpa branca (Luu *et al*., 2021).

A pitaya atualmente é considerada uma fruta exótica, atrativa por sua forma com escamas e cor vibrante, bem como por suas propriedades nutricionais (alto teor de umidade, de carboidratos e fibras) que chamam a atenção do setor alimentício e comercial (Kumar *et al*, 2018). É fundamental o conhecimento de que existe grande variabilidade intraespecífica, ou seja, existem diferenças genéticas entre acessos dentro de cada espécie. Essa informação tem sido verificada para algumas características de interesse agronômico, como fenologia, produtividade, adaptabilidade, resistência a doenças, características físicas e químicas dos frutos, autocompatibilidade e sensibilidade ao fotoperíodo para indução de florescimento (Faleiro e Junqueira, 2021).

As espécies dessa família são frequentemente usadas como plantas ornamentais e normalmente são adaptadas a ambientes extremamente quentes ou áridos, apresentando ampla variação anatômica e capacidade fisiológica de conservar água por meio do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Esse metabolismo permite o fechamento dos estômatos durante o dia e abertura durante a noite para absorver dióxido de carbono da atmosfera, o qual é fixado pelo fosfoenolpiruvato (PEP) para formar ácido oxalacético (OAA) sob ação da enzima PEP carboxilase (PEPC) e armazená-lo na forma de ácido málico. O ácido málico, por sua vez, acumulado no vacúolo à noite, sofre reações durante o dia como a descarboxilação

oxidativa, liberando o $CO_2$ por meio da enzima NADP-málica e, por fim, sendo incorporado no Ciclo de Calvin para a produção de carboidratos. (Wang *et al*., 2019b).

A planta de pitaya originada por semente apresenta dois tipos de raízes: uma principal, que se desenvolve a partir da radícula e depois atrofia, e as raízes adventícias, que podem ser basais ou aéreas. As pitayas propagadas vegetativamente por meio de estacas desenvolvem apenas raízes adventícias, não possuindo raiz principal. Essas raízes se originam na região do periciclo, estendendo-se até a epiderme, passando pelo córtex. Seu sistema radicular é fasciculado e superficial, podendo se estender até quatro metros horizontalmente e alcançar profundidades de até 30 cm, além de assimilar baixos teores de nutrientes (Embrapa, 2021a).

O caule morfologicamente classificado como cladódio é suculento e desempenha funções de recepção e regulação da água, além de participar da fotossíntese. De cor verde, possui de três a cinco arestas ou costelas. Dentre os genótipos de pitaya cultivados, há variações no número de costelas, nas margens dessas costelas e na distância entre as aréolas que abrigam grupos de espinhos de 2 a 4 mm, considerados ramos ou folhas modificadas. (Crane; Balerdi, 2020). Esses espinhos protegem as gemas axilares de onde se desenvolvem os botões florais.

Nas espécies de pitaya, as flores são emitidas nas gemas axilares lateralmente ao cladódio, denominadas de aréolas e são hermafroditas, ou seja, apresentam o órgão feminino e o masculino na mesma flor. Além disso, segundo Crane e Balerdi (2020), existem cultivares com autoincompatibilidade, embora informações sobre essa característica ainda não sejam bem documentadas. As flores são actinomorfas, medindo de 20 a 40 cm de comprimento e até 25 cm de diâmetro (Crane; Balerdi, 2020). São aromáticas, brancas, com formato tubular e muito atrativas para insetos polinizadores. Possuem ovário na parte inferior, com um único lóbulo, câmara nectarial e numerosos estames dispostos em fileiras ao redor do pistilo, com 14 a 28 estiletes. São consideradas flores solitárias, pois se forma apenas uma flor por extremidade de cladódio (Embrapa, 2021a). As flores das espécies *Selenicereus undatus* e *Hylocereus polyrhizus*, as mais cultivadas no Brasil, apresentam formas anatômicas idênticas, com a mesma quantidade de peças florais (Muniz *et al*., 2020).

A antese (abertura) ocorre durante a noite. As flores abrem uma única vez, com uma duração de 12 a 15 horas, dependendo das condições de luminosidade e temperatura (Muniz *et al*., 2020), permanecendo abertas até as primeiras horas do dia seguinte. Isso possibilita a polinização por visitantes florais diurnos (Muniz *et al*., 2020). Por não conseguir realizar a autopolinização de forma eficiente, em boa parte dos plantios produtivos é necessário que seja feita manualmente. Após a polinização, a flor murcha e os restos desse órgão precisam ser

removidos. De 60 a 120 dias após a retirada dos restos florais, a depender da espécie, ocorre a maturação dos frutos, muito embora sejam comuns frutos em diferentes estágios de maturação na mesma planta (Embrapa, 2021a; Embrapa, 2022). No entanto, a morfologia da flor não garante que os polinizadores sejam sempre atraídos e realizem o serviço ecossistêmico de polinização. Vários fatores influenciam a interação planta-polinizador, incluindo o horário de polinização, a eficiência dos polinizadores (tanto em termos de quantidade quanto de qualidade), a viabilidade do pólen e as condições edafoclimáticas do local de cultivo (Muniz *et al*., 2020).

A pitaya ou fruta do dragão é um fruto carnoso do tipo baga, variando de oblongo a ovoide, com 6 a 12 cm de comprimento e 4 a 9 cm de espessura, coberto por brácteas verdes que lembram a pele de um dragão (Crane; Balerdi, 2020). A polpa comestível, que pode ser branca ou vermelha dependendo da espécie, contém numerosas sementes pretas e pode pesar até 900 gramas (Icar, 2020). Nutricionalmente, a fruta é rica em vários compostos, com 100 gramas de suco contendo 80% de umidade, 0,4 a 2,2 g de proteína, 8,5 a 13 g de carboidratos e 6 g de açúcar total (Luu *et al*., 2021). Pesquisas mostram também seu potencial para a indústria farmacêutica na prevenção de doenças inflamatórias (Eldeen *et al*., 2020).

Todas as partes da pitaya, incluindo caule, cladódios, flores e casca dos frutos, contêm compostos bioativos benéficos para a saúde, como antioxidantes, antimicrobianos e anticancerígenos, incluindo betalaínas, flavonoides, polifenóis, terpenoides, esteroides, taninos e carotenoides (Luu *et al*., 2021). Essas propriedades tornam a pitaya atraente para produtores, tanto localmente quanto para exportação, devido à sua capacidade de se adaptar a diferentes climas, inclusive regiões quentes e com escassez hídrica (Chandni *et al*., 2023).

## 2.2 RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS MORFOFISIOLÓGICAS E SEUS IMPACTOS NA PRODUTIVIDADE DE CACTÁCEAS

Araújo Júnior *et al*. (2022) avaliaram, por meio da análise de componentes principais (PCA), a associação entre características morfológicas e produtividade em clones de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos (Figura 1). Nesse estudo, a PCA revelou que a relação entre características morfológicas e produtividade depende do clone e do regime hídrico; nos clones Miúda (MIU) e Orelha de Elefante Mexicana (OEM), características como comprimento e área dos cladódios influenciaram significativamente a produção de matéria fresca e seca. Para o clone IPA Sertânia (IPA), não houve correlação significativa entre as variáveis analisadas, independentemente do regime hídrico.

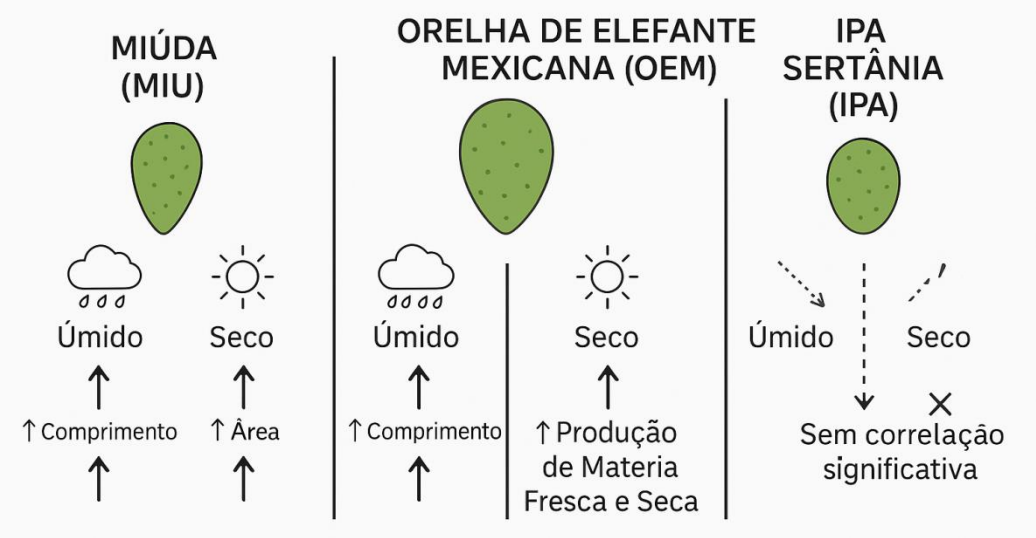



**Figura 1:** Relações canônicas entre características morfológicas e produtivas em clones de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos. Fonte: Elaborado pela autora com base em Araújo Júnior *et al*. (2022).

Com o objetivo de caracterizar geneticamente diferentes clones de *Nopalea cochenillifera*, Lucena *et al*. (2021) mediram diversas características morfológicas lineares dos cladódios (pencas) de cada clone, incluindo comprimento, largura, área, perímetro, espessura, dentre outras medidas, utilizando a análise de correlação canônica, que permite avaliar as relações entre dois conjuntos de variáveis simultaneamente. Foram encontradas variações expressivas nas características morfológicas dos cladódios entre os diferentes clones de *Nopalea*, e a análise de correlação canônica revelou associações estatisticamente significativas. Em outras palavras, certas medidas morfológicas correlacionam-se fortemente com a produtividade e o desempenho agronômico dos clones, também ficou evidente que algumas características específicas, como a área e a espessura do cladódio, são as que mais contribuem para a variação genética e podem ser usadas como indicadores para seleção e melhoramento.

O estudo de Silva *et al*. (2021) avaliou as relações entre características morfológicas e produtivas da palma forrageira *Nopalea cochenillifera*, focando nas colheitas anuais e bienais, por meio da aplicação da análise de trilha (técnica permite decompor as correlações entre variáveis em efeitos diretos e indiretos), o que é essencial para entender a contribuição específica de cada característica na produtividade da planta. Os resultados mostraram que variáveis como área do cladódio, comprimento e largura do cladódio e espessura apresentaram os maiores efeitos diretos positivos sobre a produtividade em ambos os ciclos

de colheita. Além disso, algumas características morfológicas influenciam a produtividade indiretamente, por meio da sua associação com outras variáveis.

Santos *et al*. (2014) caracterizarm morfologicamente diversas variedades de palma sem espinhos dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, identificando aqueles com melhor desempenho em produtividade (massa fresca e seca), eficiência hídrica e composições químicas. Nesse estudo, o volume dos cladódios apresentou a maior correlação com o peso fresco; por sua vez, o índice de área dos cladódios, número total de cladódios e produtividade de massa seca mostraram correlações positivas significativas, enquanto altura e largura da planta tiveram menor associação. Isso indica que o número e tamanho dos cladódios são bons indicativos para seleção de plantas produtivas.

Investigar como fatores morfológicos e hídricos (como características dos cladódios e evapotranspiração real da cultura) influenciam a produtividade é de fundamental importância. Barbosa *et al*. (2017) fizeram isso com diferentes clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) cultivados sob irrigação plena. Como resultado principal desse estudo, teve-se a alta correlação entre variáveis morfológicas e produtividade, estando a produtividade da palma forrageira irrigada fortemente associada às características morfológicas da planta, mais do que ao volume de água disponível.

Dev *et al*. (2023) identificaram fortes correlações entre características morfológicas (altura, largura e número de cladódios, espessura) e qualidade da forragem/frutos dos frutos de palma *Opuntia* e *Nopalea* (Figura 2). Nesse estudo, concluiu-se que cladódios maiores e mais pesados estão diretamente relacionados a frutos com maior peso, número e qualidade, e que análises multivariadas (PCA) são úteis para identificar quais características morfofisiológicas têm impacto mais forte na produtividade e qualidade dos frutos. Também foram detectadas fortes correlações positivas entre número de cladódios e produtividade total de biomassa e que genótipos com cladódios mais espessos e numerosos apresentaram melhor perfil nutricional e maior rendimento.

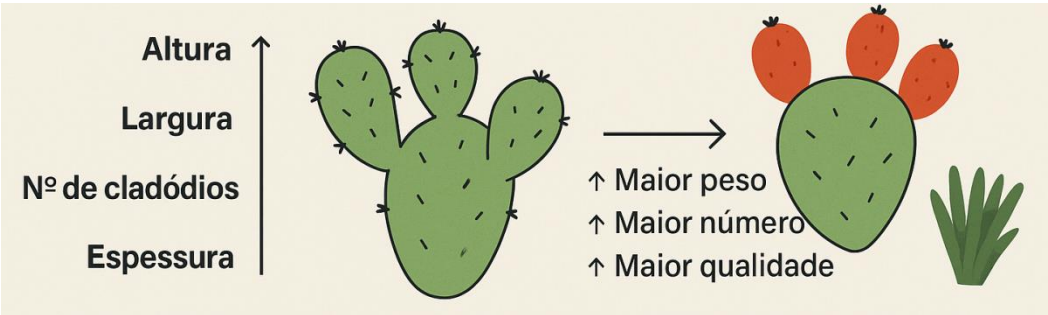


**Figura 2:** Correlação entre características morfológicas, qualidade de frutos e forragem em palmas dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. Fonte: Elaborado pela autora com base em Dev *et al*. (2023).

Nie *et al*. (2024) avaliaram o potencial do pré-tratamento com $H_2O_2$ para induzir tolerância da pitaya a estresse por baixas temperaturas, examinando crescimento, componentes bioquímicos, e expressão gênica. Alguns resultados obtidos foram que o $H_2O_2$ 10 mM aumentou peso fresco em +66,7% e comprimento da planta em +16,7%, clorofila a aumentou +157,4%, clorofila b +209,1% e carotenoides +225,9%, sugerindo manutenção da fotossíntese mesmo sob frio. Ao mesmo tempo em que as variáveis morfológicas foram acrescidas, as proteínas solúveis, açúcares, antocianinas, fenólicos e flavonoides também aumentaram. Esse aumento significativo de pigmentos e metabólitos se reflete em melhor qualidade do fruto, potencializando sua cor, firmeza e valor nutricional.

Oliveira *et al*. (2021) usaram o sombreamento de 35% em plantas de pitaya, constatando o aumento da eficiência fotossintética (Fv/Fm) e do teor de clorofila, reduzindo fotoinibição e queimadura solar nos cladódios. Nas plantas sombreadas, a produtividade também dobrou, sendo 18,7 t/ha sob sombra contra 10,9 t/ha a pleno sol. A qualidade dos frutos também melhorou, com aumento de firmeza, peso individual e intensidade de coloração (acúmulo de betalaínas).

## 2.3 O SOMBREAMENTO COMO ALTERNATIVA NA MELHORIA DO DESENVOLVIMENTO E PÓS-COLHEITA DE FRUTOS DE PITAYA

A pitaya (*Hylocereus* spp.) é uma fruta tropical valorizada por seu alto valor nutricional, rica em compostos antioxidantes, anti-inflamatórios e antidiabéticos (Trivellini *et al*., 2020; Arivalagan *et al*., 2021). No entanto, a planta é sensível à radiação solar intensa e a temperaturas superiores a 40 °C, o que pode comprometer a produtividade e a qualidade dos frutos (Yahia *et al*., 2019; Oliveira; Tel-Zur, 2022). Dessa forma, o sombreamento tem se mostrado uma estratégia eficaz para mitigar esses efeitos negativos, promovendo ambiente mais favorável ao desenvolvimento da planta e dos frutos (Oliveira *et al*., 2021a).

Estudos indicam que sombreamentos entre 20% e 60% melhoram significativamente o desempenho da pitaya. Sombreamento de 35% pode aumentar a produtividade em até 70%, além de melhorar atributos como firmeza, coloração da polpa e rendimento (Oliveira *et al*., 2021a). Níveis de 50% e 60% também foram associados à maior atividade enzimática, altura de planta e desenvolvimento radicular (Sousa *et al*., 2021; Wang *et al*., 2019). O

sombreamento também está relacionado ao aumento do teor de clorofila nos cladódios, como mecanismo de adaptação à menor radiação (Lone *et al*., 2018). Além de estruturas artificiais, o sombreamento pode ser obtido por sistemas agroflorestais, como demonstrado por Ramos *et al*. (2022) e Reza *et al*. (2022), com uso de árvores como eucalipto, carambola e limão. Esses sistemas proporcionaram sombreamento em torno de 51% e resultaram em menor temperatura ambiente e aumento da altura das plantas. Casas de rede e o manejo do dossel também são técnicas eficazes para controlar o microclima, reduzir queimaduras nos cladódios e melhorar a qualidade dos frutos (Chien e Chang, 2019; Jiang *et al*., 2011). Outro fator relevante é a influência do sombreamento no ambiente do solo. Estudos apontam que ele reduz a temperatura e aumenta a umidade do solo, criando condições mais favoráveis à absorção de nutrientes e ao desenvolvimento radicular (Ehrenbergerová *et al*., 2021; Mohawesh *et al*., 2022). Essa alteração também pode provocar menor necessidade de irrigação, favorecendo o cultivo em regiões com escassez hídrica (Mditshwa *et al*., 2019). Ademais, o sombreamento favorece a dominância apical e estimula o crescimento em altura da planta devido à maior atividade de auxinas, além de aumentar a porcentagem de brotações e o acúmulo de matéria seca nos brotos (Oliveira; Tel-Zur, 2022; Sousa *et al*., 2021; Lone *et al*., 2018). Em contrapartida, temperaturas elevadas podem causar degradação da clorofila e amarelamento dos cladódios (Chu, 2020). Frutos colhidos em plantas cultivadas sob sombreamento apresentaram maior peso fresco, firmeza e coloração mais intensa da casca e da polpa, atribuídas ao maior acúmulo de betacianinas (Chu *et al*., 2020). A redução da radiação solar também contribui para a uniformidade e qualidade da produção (Manja e Aoun, 2019), com ganhos comprovados de produtividade superiores a 100% em comparação a plantios a pleno sol (Oliveira *et al*., 2021a). Apesar dos resultados promissores, ainda há lacunas na literatura sobre formas alternativas de sombreamento, como o uso de capins de grande porte, e sobre os mecanismos fisiológicos envolvidos nos ganhos produtivos. Portanto, é fundamental ampliar as pesquisas para consolidar o sombreamento como prática agronômica recomendada para o cultivo da pitaya em diferentes regiões e sistemas produtivos.

## 2.4 ADUBAÇÃO ORGÂNICA PODE FAVORECER O DESENVOLVIMENTO PRODUTIVO DA PITAYA

A adubação orgânica promove liberação lenta de nutrientes e incorporação de matéria orgânica para o sistema, independentemente da cultura, e possibilita melhoria da qualidade da planta e do solo em termos físicos, químicos e biológicos (Carmo *et al*., 2022), além de

melhorar a estrutura do solo, a absorção de água e a microbiota edáfica, por ser rica fonte de N, P, K e S, além dos demais nutrientes essenciais (Lazcano *et al*., 2021).Na produção de pitayas, a adubação orgânica auxilia a absorção de nutrientes pelos cladódios, favorecendo maior produtividade, de acordo com dados de Moreira *et al*. (2012a). Os autores registraram teores de N (11 a 16 g $kg^{-1}$), de P (1,9 a 3,3 g $kg^{-1}$) e K (23 a 26 g $kg^{-1}$) maiores que os valores testemunhas, o que segundo eles é satisfatório para a cultura. Segundo a Embrapa (2022), a pitaya responde positivamente à adubação orgânica, que melhora a absorção de nutrientes, aumentando a produtividade dos frutos, altura das plantas, número de cladódios, espinhos e diâmetro do caule (Herawati *et al*., 2021). Herawati *et al*. (2021) destacam que o uso de compostos orgânicos, especialmente esterco bovino, resulta em excelentes resultados, beneficiando a parte aérea das plantas. O esterco bovino misturado com terra e maravalha oferece o melhor suprimento de nutrientes e retenção de umidade para o crescimento da pitaya (Guimarães *et al*., 2021). Carmo *et al*. (2022) recomendam doses de 41 a 45,56 kg por cova para otimizar o crescimento inicial da pitaya.

O tempo de amadurecimento dos frutos também pode ser diretamente influenciado, segundo Mendoza *et al*., (2021). Os autores registraram intervalo de tempo de apenas 19 dias entre a primeira floração e a primeira maturação, com frutos de até 960 gramas, o que levou a uma estimativa de mais de 4 mil quilos de frutos no segundo ano de plantio. O uso de adubação orgânica influenciou a produção e a época de frutificação da pitaya.

Segundo Chandni *et al*. (2023), plantas de pitaya com um a dois anos de idade devem receber de 10 a 15 kg de fertilizantes orgânicos, ao passo que para plantas com mais de três anos a recomendação é de 20 kg ou mais. A adubação química não é necessária, e os frutos de cultivo orgânico são muito valorizados no mercado. Muas *et al*. (2020) destacam que a adubação orgânica é essencial ao desenvolvimento ideal dos frutos, observando que a aplicação de 15 kg de adubo orgânico resulta em maiores teores de açúcares, vitamina C, peso, dureza e espessura da casca, aumentando o rendimento dos frutos.

Duarte *et al*. (2017) mostram que a adubação com esterco bovino melhora a vida útil dos frutos, resultando em menor perda de massa, maior firmeza e preservação da cor durante o armazenamento, além de aumentar o teor de açúcares totais. A adubação orgânica também pode reduzir custos de produção, usando restos vegetais e/ou animais disponíveis nas propriedades agrícolas. Carmo *et al*. (2022) dizem que a adubação orgânica se apresenta como alternativa econômica e benéfica. Chen *et al*. (2022) observam que a combinação de compostos orgânicos, como adubos de origem animal e biocarvão, promove benefícios econômicos e produtivos.

# 3 MATERIAL E METÓDOS

## 3.1 LOCALIZAÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O trabalho foi realizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), localizada no Sertão Pernambucano, na cidade de Serra Talhada, PE (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, a região possui um clima BSw'h', caracterizado como semiárido quente e seco, com altitude de 435 m, temperatura média anual superior a 25°C, radiação média global de 17,74 MJ/m², umidade relativa média de 64,85% e precipitação média anual de 653 mm (Bezerra *et al*., 2020).

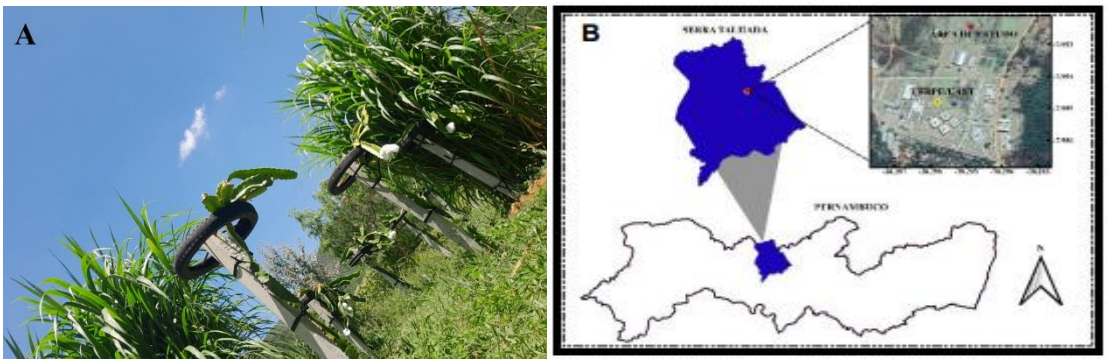



**Figura 3**. A: Pomar experimental de pitaya plantadas com doses crescentes de esterco bovino e sombreadas com capim elefante BRS Capiaçu . B: Localização da UAST/UFRPE

O solo da área foi classificado como Cambissolo e suas características químicas são apresentadas na tabela 1.

| | Solo | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pH | P mg dm³ | Na cmolc dm³ | K cmolc dm³ | Ca cmolc dm³ | Mg cmolc dm³ | Al cmolc dm³ | H+Al cmolc dm³ | CTC total | CTC efetiva | V % | m % |
| 0-20 cm | 6,70 | >0,55 | 0,39 | 0,76 | 3,9 | 2,1 | 0 | 0 | 7,15 | 7,15 | 100 | 0 |

**Tabela 1:** Teores de nutrientes no solo do pomar experimental de pitaya (*Hylocereus* spp.) em diferentes tratamentos com adubação orgânica e sombreadas com capim elefante BRS Capiaçu na UAST/UFRPE, Serra Talhada – PE. Fonte: Dados da pesquisa (2025).

O experimento foi conduzido em pomar experimental implantado em 2020 na Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST/UFRPE), com plantas das espécies *Hylocereus polyrhizus e Hylocereus undatus*, que não foram comparadas entre si. As plantas foram conduzidas com estacas de 1,80 m de altura em haste única, de modo a concentrar os ramos produtivos na parte superior do tutor.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento em blocos casualizados (DBC), em parcelas subdivididas, com cinco repetições. As parcelas principais consistiram em cinco doses de esterco bovino (0; 5,33; 10,66; 21,33 e 49,33 kg por planta) (Tabela 2), ao passo que as subparcelas corresponderam a duas condições de sombreamento com capim-elefante BRS Capiaçu (com e sem sombreamento). Cada parcela teve área de 24 m², contendo quatro plantas, espaçadas em 3 × 2 m. As avaliações foram realizadas nas plantas centrais de cada unidade experimental.

**Tabela 1:** Adubação durante os cincos anos de instalação do pomar de pitaya.

| **Aplicação (mês/ano)** | **Tipo de adubação** | **Doses de N (g/planta)** | | | | | **Doses de N correspondente em esterco (g/planta)** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **T1** | **T2** | **T3** | **T4** | **T5** | **T1** | **T2** | **T3** | **T4** | **T5** |
| set/23 | Adubação de Manutenção | 0 | 80 | 160 | 320 | 740 | 0 | 5,33 | 10,66 | 21,33 | 49,33 |
| set/24 | Adubação de Manutenção | 0 | 80 | 160 | 320 | 740 | 0 | 5,33 | 10,66 | 21,33 | 49,33 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025).

No início do experimento, foi realizada adubação de cobertura com as mesmas doses de esterco bovino mencionadas, e o capim BRS Capiaçu foi plantado para avaliação do sombreamento. O esterco foi obtido de uma fazenda próxima à UAST/UFRPE, e o capim-

elefante foi coletado no banco de germoplasma do setor de olericultura, sendo plantado em sulcos a aproximadamente 50 cm das plantas de pitaya. Durante o experimento, foi realizado o controle de pragas, doenças e plantas daninhas.

A irrigação foi feita por microaspersão, fornecendo semanalmente 10,41 mm de água por turno, em três turnos, aproximadamente 14 L por planta, considerando a eficiência de irrigação de 90% e 25% de área molhada.

## 3.2 AVALIAÇÕES REALIZADAS

### 3.2.1 Avaliações biométricas e morfológicas de cladódios e frutos

A altura da planta foi medida com uma fita métrica em milímetros (mm). O número total de cladódios e número de frutos por planta foram obtidos por meio da contagem individual de cada emissão.

O comprimento de cada cladódio frutífero foi determinado com uma fita métrica (mm). O diâmetro dos cladódios foi medido nas extremidades de cada um, utilizando um paquímetro digital (mm). A espessura média dos cladódios foi obtida por meio de medições aleatórias, no terço médio de uma das faces de cada cladódio, com um paquímetro digital (mm). A massa fresca dos cladódios foi determinada pela média aritmética da biomassa dos cladódios frutíferos de cada parcela (g), utilizando uma balança semianalítica, e massa seca após secagem em estufa a 60°C por 7 dias.

Nos frutos, a cada coleta, os diâmetros transversal e longitudinal foram medidos com um paquímetro digital (mm). A massa fresca dos frutos foi determinada pela média aritmética da massa dos frutos de cada parcela, expressa em gramas (g), utilizando uma balança semianalítica. E para determinar o rendimento de frutos, foi utilizado o valor da massa em gramas de cada parcela, multiplicado pelo número de frutos da parcela (Equação 1).

$$\mathbf{RF = (MF \times NF) / 100000}\ \text{g} \quad (1)$$

Onde RF é o rendimento dos frutos, MF é a massa fresca dos frutos por parcela, e NF é o número de frutos por parcela.

### 3.2.2 Trocas gasosas – temperatura foliar (Tleaf), taxa de fotossíntese líquida (Pn), concentração interna de $CO_2$ (C) e taxa de transpiração (E)

As medições fisiológicas nas plantas de pitaya foram realizadas com o auxílio de um analisador de gases infravermelho portátil (IRGA), conforme protocolo adaptado de Almeida *et al*. (2018). As avaliações ocorreram no período noturno. Utilizou-se uma câmara adequada

ao formato dos cladódios, devidamente acoplada ao equipamento para mensurar as trocas gasosas. Durante as coletas, foram registradas as taxas de assimilação líquida de $CO_2$ (Pn), transpiração (E), temperatura foliar (Tleaf) e concentração interna de $CO_2$ (C). As leituras foram padronizadas entre 22h00 e 4h00, e realizadas em cladódios plenamente expandidos e livres de danos físicos, seguindo os critérios de homogeneidade entre as plantas.

### 3.2.3 Fluorescência da clorofila

O rendimento quântico máximo do fotossistema II (FV/Fm), *quenching* fotoquímico (qP), taxa de transporte de elétrons (ETR) e o coeficientes de extinção não fotoquímicos da fluorescência (NPQ) foram avaliadas a partir das 10h00 da manhã nos cladódios da pitaya, em duas plantas de cada tratamento e com o uso de um fluorímetro modulado por amplitude de pulso (Mini- Pam, WALZ. Effeltrich, Alemanha) (Oliveira *et al*., 2021b; Yu-Chun; Chang, 2022).

### 3.2.4 Atividade da Catalase (CAT), Ascorbato peroxidase (APX) e Superóxido dismutase (SOD)

Foram determinadas pelas metodologias propostas por Havir (1987) para a catalase, Nakano (1981) para ascorbato peroxidase e Anderson *et al*. (1981) para superóxido dismutase, com adaptações. Amostras de 0,20 g de matéria fresca da porção central dos cladódios foram homogeneizadas em 2 mL de tampão de extração fosfato de potássio (TFK) (0,1 M, pH 7.0), contendo ácido etilenodiamino tetracético (EDTA) (10mM) e ácido ascórbico (200 mM), em seguida centrifugadas a 12000 rpm por 23 minutos a 4ºC, para obtenção do extrato enzimático que foi utilizado para determinar as atividades das três enzimas.

A atividade da CAT foi determinada utilizando no ensaio alíquotas de 12, 900µL de tampão fosfato de potássio (200 mM, pH 7,0), 50µL de $H_2O_2$ (20 mM) e 37,5µL de água destilada. A reação foi submetida à temperatura de 30 °C e feito o acompanhamento do decaimento da absorbância a 240 nm por dois minutos, com leituras realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) de forma sucessiva a cada 30 segundos. A atividade da catalase será calculada com base no coeficiente de extinção molar de 36 mM $cm^{-1}$ para $H_2O_2$, e expressa em µmol $H_2O_2$ $min^{-1}$ $g^{-1}$ MF.

A atividade da APX alíquotas de 25µL do sobrenadante foi adicionada a um meio de reação composto por 900µL do tampão de reação TFK (50 mM, pH 7) contendo ácido ascórbico (0,5 mM), 25µL do tampão de extração (0,1 M, pH 7.0), EDTA (10mM) e ácido

ascórbico (200 mM). A reação foi iniciada pela adição de 50µL de $H_2O_2$ (30 mM) ao meio de reação, e feito o monitoramento do decaimento da absorbância a 290 nm por dois minutos, com leituras realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) de forma sucessiva a cada 30 segundos. A atividade será calculada com base no coeficiente de extinção molar 2,8 $mM^{-1}$ $cm^{-1}$ e expressa em µmol $H_2O_2$ $min^{-1}$ $g^{-1}$ MF.

Para determinar a atividade da SOD, alíquotas de 50µL do sobrenadante foram adicionadas a 830µL do tampão de reação TFK (50 mM, pH 7.8) contendo 1 µM EDTA e 13 mM de metionina, 100 µL de Nitro blue tetrazolium chloride (NBT) (750 µM) e 20 µL de riboflavina (1mM) e 37,5 µL de água destilada. A reação foi conduzida em uma câmara de luz, composta por lâmpadas fluorescentes de 18 W, por 15 minutos. Após esse período, as leituras foram realizadas em espectrofotômetro (Biochrom, Libra S8, Cambridge, Inglaterra) a 560 nm. A atividade foi determinada com base na inibição da redução de NBT, em que a unidade de atividade corresponderá à quantidade da enzima necessária para inibir 50% da fotorredução do NBT. A atividade será expressa em U $g^{-1}$ MF.

### 3.2.5 Clorofilas e Carotenoides nos cladódios

Foram determinados por meio da metodologia de Lichtenthaler (1987), com adaptações. Amostras de matéria fresca foram pesadas (0,5 g) e solubilizadas em 5 mL de acetona (80%). Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 6000 g por 15 minutos a 4ºC, retirado o sobrenadante e realizadas as leituras usando um espectrofotômetro (modelo libra S8, Biochrom), nos comprimentos de onda de 663, 646 e 470 nm. Os teores de Chl a, Chl b, Chl totais e Carotenoides totais em mg $g^{-1}$ $MF^{-1}$ foram calculados por meio das Equações 2, 3, 4 e 5.

$$Chl\,a = 12{,}25 \times A_{663} - 2{,}76 \times A_{646} \quad (2)$$

$$Chl\,b = 21{,}5 \times A_{646} - 2{,}76 \times A_{663} \quad (3)$$

$$Chl\,totais = Chl\,a + Chl\,b \quad (4)$$

$$Carotenoides\ totais = (1000 * A_{470} - 1{,}82 \times Chl\,a - 85{,}02 \times Chl\,b\,/198 \quad (5)$$

### 3.2.6 Flavonoides e antocianinas totais nos frutos

O conteúdo de flavonoides e antocianinas totais foram determinados segundo a metodologia proposta por Francis (1982), com adaptações. Amostras de 0,025g dos frutos foram homogeneizadas em 2 mL de etanol (99.4%), contendo HCl (1%). Posteriormente, a

amostra foi mantida em repouso por 12 horas, em ambiente protegido da luz. As leituras foram registradas em espectrofotômetro (Modelo libra S8 Biochrom, Cambridge, Inglaterra) nos comprimentos de 374 e 535 nm. Os teores de flavonoides e antocianinas totais em mg $100g^{-1}$ $MF^{-1}$ foram calculados por meio das equações 6 e 7.

$$Flavonoides = A_{374} \times 8000 / 76,6 \quad (6)$$

$$Antocianinas = A535 \times 8000 / 98,2 \quad (7)$$

### 3.2.7 Vitamina C e compostos fenólicos totais nos cladódios e frutos

Foram quantificados por meio da metodologia proposta por Sánchez-Rangel, (2013), com adaptações. Amostras de 0,25 g do cladódio e da polpa do fruto foram maceradas e homogeneizadas com 2 mL de metanol (P.A). Em seguida, foram deixadas em repouso por 24 horas no escuro a 8 ºC e posteriormente centrifugadas a 12000 rpm a 4 ºC por 21 minutos.

Em tubos de ensaio, foram adicionadas alíquotas de 150 µL do sobrenadante, 600 µL de água destilada e 250 µL do reagente Folin Cioucauteu (0,25N). A mistura foi homogeneizada em vórtex (TECNAL, AP56, Araraquara, Brasil) e permaneceu em repouso por dois minutos. As leituras foram realizadas usando um espectrofotômetro (Libra S8, Biochrom Cambridge, Inglaterra), a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido ascórbico 100 $g^{-1}$ MF e quantificados com base em uma curva padrão de ácido ascórbico. Logo após a leitura, foram adicionados 500 µL de carbonato de sódio a 20% (p/v), e a mistura foi mantida em repouso por mais dez minutos. Novas leituras foram realizadas a 725 nm. O branco foi obtido com 250 µL de metanol em substituição ao sobrenadante. Os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico 100 $g^{-1}$ MF e quantificados com base em uma curva padrão de ácido gálico.

### 3.2.8 Ensaio *in vitro* da atividade antioxidante por 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) nos cladódios e frutos

A capacidade antioxidante foi realizada pelo método DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Para isso, a determinação ocorreu pelo método de Brand-Williams *et al*. (1995), com adaptações. Amostras de 0,25 g do cladódio e da polpa do fruto foram maceradas e homogeneizadas com 1,5 mL de metanol. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm a 4 ºC por 21 min. Para o ensaio, adicionou-se 840 µL da solução de DPPH (0.1 mM) e 60 µL do sobrenadante. O controle foi preparado adicionando-se 840 µL da solução de DPPH (0,1 mM) e 60 µL de metanol P.A. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro

(Biochrom, Libra S8, Cambridge, England) a 517 nm. O resultado foi expresso por meio da equação 8:

*% Inibição = (Abs controle DPPH – Abs amostra) / Abs controle DPPH x 100* (8)

### 3.2.9 Sólidos solúveis totais (SST) dos frutos

Aproximadamente 30 g de polpa de frutos de pitaya foram macerados com auxílio de almofariz e pistilo de porcelana. O suco obtido foi adicionado no prisma de um refratômetro, e o resultado foi expresso em porcentagem.

### 3.2.10 pH dos frutos

Para a determinação do pH, amostras de polpa dos frutos de pitaya foram coletadas, homogeneizadas e submetidas à análise em pHmetro digital devidamente calibrado com soluções tampão padrão (pH 4,0 e 7,0). Cerca de 10 g da polpa foram diluídos em 10 mL de água destilada em béquer de vidro, formando uma suspensão homogênea. A leitura do pH foi realizada com o eletrodo imerso diretamente na amostra, em temperatura ambiente.

### 3.2.11 Acidez total titulável (AT) dos frutos

A AT foi mensurada usando-se a metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (2008), por meio da qual se pesou 1,0 g da amostra em balança, adicionando-se depois 50 ml de água destilada e duas gotas do indicador fenolftaleína e fazendo-se então a titulação com NaOH (hidróxido de sódio) até o ponto de viragem (Oliveira, 2019).

### 3.2.12 Proteínas e Carboidratos solúveis totais dos cladódios e frutos

A quantificação de proteínas foi realizada de acordo com metodologia proposta por Bradford (1976). O método utiliza a fixação do Coomassie Brilliant Blue G-250 a proteínas. Na extração, utilizou-se 0,25 g de massa fresca com 2 mL de TFK (0,1 M pH 7.0). Em seguida, houve centrifugação a 12000 rpm por 23 minutos a 4ºC para obtenção do extrato. Para a quantificação, foram utilizados 25µL do extrato, 1mL do “reagente de Bradford” e agitados em agitador de tubos de ensaio. Após 15 minutos, a leitura foi realizada em espectrofotômetro (Libra S8, Biochrom Cambridge, Inglaterra) a 595nm, em cubetas de plástico ou de vidro, tendo como “branco” um tubo de ensaio contendo 25µL de água deionizada e 1,0 mL do “reagente de Bradford”. Os resultados obtidos foram comparados a

curvas de calibração preparadas com o padrão de BSA e expressos em mg proteína solúvel.$g^{-1}$ MF.

A quantificação de carboidratos foi realizada de acordo com metodologia proposta por Dubois *et al*. (1956), com modificações. Na extração dos carboidratos, utilizou-se 0,25 g de massa fresca com 2 mL de TFK (0,1 M pH 7.0), depois centrifugadas a 12000 rpm por 23 minutos a 4ºC para obtenção do extrato. Para a quantificação, foram utilizados 50µL e 5µL do extrato do cladódio e do fruto, respectivamente, completando-se o volume com 250µL de fenol (5%) e 2,5ml de ácido sulfúrico 96%. Após 20 minutos, a leitura foi realizada em espectrofotômetro (Libra S8, Biochrom Cambridge, Inglaterra) em um comprimento de onda de 490 nm. Os resultados obtidos foram comparados a curvas de calibração preparadas com glicose e expressos em µg $g^{-1}$ MS.

## 3.3 ANALISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

### 3.3.1 Agrupamento dos dados

Os dados experimentais foram divididos em oito grupos. O Grupo 1, denominado "Produção dos frutos" (Prod-F), foi composto pelas variáveis de massa fresca dos frutos e o rendimento dos frutos. O Grupo 2, denominado "Qualidade dos frutos" (Quali-F), foi composto pelas variáveis de sólidos solúveis, pH, acidez titulável, carboidratos, vitamina C, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante por DPPH, flavonoides, antocianinas e proteínas dos frutos. O grupo 3 foi chamado de "Morfologia dos frutos (Morfo-F)", composto por diâmetro longitudinal e transversal dos frutos. O grupo 4, denominado "Planta", foi formado pelas características morfológicas altura de planta (ALT-P), número de cladódios da planta (NCL-P) e número de frutos da planta (NFR-P).

Com as variáveis biométricas de comprimento, espessura e diâmetro do cladódio formou-se o grupo 5, designado "Morfologia do cladódio (Morfo-C)". Com a massa fresca fresco e a massa seca dos cladódios, formou-se o grupo 6, denominado "Biomassa do cladódio (Bioma-C)". O grupo 7, chamado de "Bioquímica do cladódio (Bioqui-C)", foi formado pelas variáveis de vitamina C, compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante por DPPH, clorofilas (a, b e totais), carotenoides, carboidratos, proteínas e enzimas (catalase, superóxido dismutase e ascorbato peroxidase) nos cladódios da pitaya. O último grupo, denominado "Fisiologia do cladódio (Fisio-C)", foi composto por Tleaf (temperatura foliar); Pn (taxa fotossintética líquida); E (transpiração); C (acúmulo de carbono); ETR (taxa de

transporte de elétrons); qP (*quenching* fotoquímico); NPQ (*quenching* não fotoquímico); Fv/Fm (eficiência do fotossistema II).

Os grupos “Produção” e “Qualidade” foram definidos como variáveis de resposta, ao passo que os demais grupos foram considerados variáveis explicativas.

### 3.3.2 Correlação de Pearson

A relação entre esses grupos foi avaliada por meio da matriz de correlação de Pearson. Para essa análise, utilizou-se o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) (Equação 9), o qual permite identificar a existência, a direção (positiva ou negativa) e a intensidade da associação entre as variáveis. Os valores de r variaram de -1 a +1, evidenciando correlação negativa ou positiva, respectivamente. A significância das correlações foi determinada pelo teste t de Student, adotando os níveis de 1% ($p < 0,01$) e 5% ($p < 0,05$) de probabilidade.

$$r_{(XY)} = \frac{Cov\,(X,Y)}{\sqrt{V(X)V(Y)}} = \frac{\sigma\,(X,Y)}{\sigma\,(X),\sigma\,(Y)} \quad (9)$$

Onde $r_{(XY)}$ é o coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis X (resposta) e Y (explicativa); σ (X, Y) é a covariância entre as variáveis X e Y e, σ (X) e σ (Y) é o desvio padrão das variáveis X e Y, respectivamente. Os coeficientes de correlação intermediários de Pearson foram classificados de acordo com a interpretação utilizada por Barbosa *et al*. (2018): de 0 a 0,19 = "muito fraco"; de 0,20 a 0,39 = "fraco"; 0,40 a 0,69 = "moderado"; 0,70 a 0,89 = "forte" e de 0,90 a 1,00 = "muito forte".

### 3.3.3 Análise de multicolinariedade

As variáveis de resposta que apresentaram correlação com ao menos uma variável explicativa foram submetidas ao teste de multicolinearidade. Nesse processo, foram eliminadas aquelas pertencentes ao mesmo grupo e que apresentaram forte multicolinearidade, caracterizada por um número de condição (NC) superior a 100 (Barbosa *et al*., 2018). Essa etapa é essencial, uma vez que a análise canônica pressupõe a ausência de multicolinearidade excessiva para garantir resultados consistentes (Alves *et al*., 2021). A identificação prévia de alta multicolinearidade contribui para evitar interpretações equivocadas sobre os efeitos reais dos grupos explicativos sobre os grupos “Qualidade” e “Produção”. As variáveis com NC inferior a 100, indicativas de baixa multicolinearidade, foram incluídas na análise de correlação canônica, utilizada para avaliar a associação entre os grupos de variáveis e obter a máxima correlação linear entre suas combinações.

### 3.3.4 Correlações canônicas

Os eixos canônicos foram definidos com base no número de variáveis do menor grupo. Quando presentes, as correlações canônicas foram submetidas ao teste de significância pelo método do qui-quadrado (λ), considerando o nível de 1% de probabilidade. Os coeficientes canônicos foram calculados conforme a Equação (10), conforme descrito por Barbosa *et al*. (2018).

$$P_{(U,V)} = Cov_{(U,V)} = \frac{X^T \sum 12\, Y}{\sqrt{X^T \sum 11X}\sqrt{Y^T \sum 22\, Y}} \quad (10)$$

Onde $X^T\sum_{12}Y$ é a covariância entre as variáveis canônicas U e V; $\sqrt{X^T \sum_{11}X}$ é o desvio padrão da variável canônica U e, $\sqrt{Y^T\sum_{22}Y}$ é o desvio padrão da variável canônica V.

### 3.3.5 Analise de trilha

Por meio da análise de trilha, foi desdobrado o coeficiente de correlação de Pearson (r), que permitiu determinar o grau e o efeito (ou seja, direto ou indireto) das variáveis dos grupos “Planta”, “Bioqui-C” e “Morfo-F” sobre as variáveis dos grupos “Qualidade” e “Produtividade”, com base no coeficiente de trilha (Silva *et al*., 2015). Nessa análise, foi calculado o coeficiente de correlação parcial entre duas variáveis (Equação 11), abstraindo-se das demais.

$$r_{(XiY,Z)} = \frac{r_{Xi} - r_{XiZ}\, r_{YZ}}{\sqrt{(1-r^2XiZ)(1-r^2YZ)}} \quad (11)$$

Em que **i** se refere a uma variável de resposta; rXiZ é o coeficiente de correlação entre uma variável de resposta e a enésima variável explicativa, e rYiZ é o coeficiente de correlação entre uma variável de resposta e a enésima variável explicativa.

Todos os procedimentos estatísticos e a análise dos dados deste estudo foram realizados utilizando o Programa GENES: estatística experimental e matrizes, desenvolvido por Cruz (2013).

### 3.3.6 Construção de *boxplots*

Além da análise canônica e de trilha, foi empregada a construção de *boxplots* para cada variável avaliada, com o objetivo de representar graficamente a distribuição dos dados, as tendências centrais, a variabilidade e a presença de valores extremos (outliers) dentro de cada combinação de tratamentos. Os *boxplots* foram elaborados a partir dos dados brutos,

respeitando a estrutura dos tratamentos fatoriais, considerando as variedades: pitaya vermelha (V) e branca (B); Doses de adubação: 0, 1, 2, 3 e 4; Tipo de sombreamento: com sombreamento (CS) e sem sombreamento (SS).

Para a construção dos *boxplots*, foram calculados os valores mínimo, primeiro quartil (Q1), mediana (Q2) e terceiro quartil (Q3) de cada variável. O primeiro quartil (Q1) representa o ponto abaixo do qual estão 25% dos dados, ao passo que o terceiro quartil (Q3) corresponde ao valor acima do qual também se encontram 25% dos dados. A diferença entre Q3 e Q1 constitui o Intervalo Interquartil (IQR), que representa a amplitude da caixa do *boxplot*, englobando os 50% dos dados centrais. A mediana (Q2) expressa a tendência central dos dados, identificando o ponto médio da distribuição. Os valores atípicos (*outliers*) foram identificados como aqueles localizados fora dos limites inferior ($Li = Q1 - 1{,}5 \times IQR$) e superior ($Ls = Q3 + 1{,}5 \times IQR$). Tais valores foram mantidos nas análises, uma vez que representam variações inerentes ao comportamento dos dados no experimento.

# 4 RESULTADOS

## 4.1 ANÁLISES DE CORRELAÇÕES CANÔNICAS ENTRE OS GRUPOS RESPOSTAS E OS GRUPOS EXPLICATIVOS

### 4.1.1 Correlações canônicas entre o grupo Produção dos frutos e os grupos: Morfologia da Planta, Morfologia do Fruto e Qualidade dos Frutos

As correlações canônicas apresentaram coeficientes canônicos acima de 0,80, sugerindo correlação extremamente forte entre os conjuntos de variáveis (Tabela 3). Na primeira seção, o rendimento dos frutos (Rend-F) é a variável de produção mais associada ao eixo e está positivamente relacionado com: Número de frutos por planta (NFR-P) e número de cladódios por planta (NCL-P). Plantas com maior número de frutos e maior número de cladódios tendem a apresentar maior rendimento, evidenciando relação positiva entre estrutura vegetativa e eficiência produtiva. No segundo eixo canônico (Tabela 3), embora não estatisticamente significativo (p = 0,20), pode indicar padrões secundários ou tendências que, apesar de não confirmadas, podem ser úteis para interpretação complementar ou futura investigação. A massa do fruto se destaca como a variável com maior carga canônica positiva, sugerindo que este eixo reflete variações associadas ao aumento da massa dos frutos, independentemente do rendimento. A massa fresca do fruto se destaca como a variável dominante neste eixo, associado positivamente à altura da planta e ao número de cladódios e negativamente relacionada ao número de frutos por planta. Ela evidencia possível compensação entre número e tamanho dos frutos; plantas com mais frutos tendem a produzir frutos menores (Tabela 3).

**Tabela 3:** Cargas canônicas entre o grupo Produção dos frutos e os grupos Morfologia da Planta, Morfologia do Fruto e Qualidade dos Frutos de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Grupos | Variável | 1° Eixo | 2° Eixo |
|---|---|---|---|
| Produção | PF-F | -0,016 | **1,182** |
| | Rend-F | **1,008** | -0,617 |
| Planta | ALT-P | -0,133 | **0,822** |
| | NFR-P | **0,678** | -1,368 |
| | NCL-P | **0,428** | **0,998** |
| | Coef. Canônico | 0,98 | 0,84 |
| | $\chi 2$ | 46,65 | 12,46 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Grau Liber. | 6 | 2 |
| | p-valor (%) | **0,00** | 0,20 |
| Produção | PF-F | **1,043** | |
| | Rend-F | -0,085 | |
| Morfologia Fruto | DT-F | -0,492 | |
| | DL-F | **1,460** | |
| | Coef. Canônico | 0,98 | |
| | $\chi 2$ | 35,69 | |
| | Grau Liber. | 4 | |
| | p-valor (%) | **0,00** | |
| Produção | PF-F | **0,961** | |
| | Rend-F | 0,070 | |
| Qualidade dos Frutos | Carb-F | 0,151 | |
| | VitC-F | **0,554** | |
| | CFT-F | **0,916** | |
| | Flavo-F | **-1,162** | |
| | Anto-F | 0,102 | |
| | Prot-F | 0,059 | |
| | Coef. Canônico | 0,965 | |
| | $\chi 2$ | 23,691 | |
| | Grau Liber. | 12,000 | |
| | p-valor (%) | 2,240 | |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). PF-F: Peso dos frutos; Rend-F: Rendimento dos frutos; ALT-P: Altura da planta; NFR-P: Número de frutos por planta; NCL-P: Número de cladódios por planta; DT-F: Diâmetro transversal dos frutos; DL-F: Diâmetro longitudinal dos frutos; Carb-F: Carboidratos dos frutos; VitC-F: Vitamina C dos frutos; CFT-F: Compostos fenólicos totais dos frutos; Flavo-F: Flavonoides dos frutos; Anto-F: Antocianinas dos frutos; Prot-F: Proteínas dos frutos.

Na segunda seção da tabela, o coeficiente canônico de 0,98 sugere associação muito forte entre os conjuntos de variáveis. A produção, neste modelo, é representada quase exclusivamente pela massa do fruto, ao passo que o rendimento tem peso desprezível na correlação canônica (Tabela 3). A morfologia mais fortemente relacionada à produção é o

diâmetro longitudinal. Frutos mais longos estão mais fortemente associados a frutos mais pesados. O diâmetro transversal tem peso negativo e menor, sugerindo que frutos mais arredondados não são os mais pesados. Na terceira e última seção da tabela, o coeficiente canônico (0,965) é extremamente alto, indicando forte correlação entre os conjuntos de variáveis (Tabela 3). A produção de frutos, nesse caso, é quase totalmente explicada pela massa do fruto.

### 4.1.2 Correlações canônicas entre o grupo Qualidade dos frutos e os grupos: Morfologia dos cladódios e Bioquímica dos cladódios

As correlações canônicas apresentaram coeficientes canônicos acima de 0,94, sugerindo correlação extremamente forte entre os dois conjuntos de variáveis (Tabela 4). Na primeira seção da tabela 2, o 1º eixo é significativo (p = 0,005), indicando relação estatística forte entre as variáveis dos dois grupos. No primeiro eixo, frutos com maior diâmetro longitudinal estão associados a maior teor de compostos fenólicos, maior teor de vitamina C e menor teor de flavonoides (Tabela 4). O segundo eixo, apesar de ter coeficiente alto (0,946), não é estatisticamente significativo (p = 0,174). Porém, os valores sugerem que frutos com maior diâmetro transversal (frutos mais arredondados) tendem a apresentar mais flavonoides, mas sem significância estatística para afirmar essa relação com segurança (Tabela 4).

**Tabela 4:** Cargas canônicas entre o grupo Qualidade dos frutos e os grupos Morfologia dos cladódios e bioquímica dos cladódios de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Grupos | Variável | 1° Eixo | 2° Eixo |
|---|---|---|---|
| Qualidade dos Frutos | Carb-F | **0,358** | -0,096 |
| | VitC-F | **0,480** | -0,014 |
| | CFT-F | **0,663** | -0,016 |
| | Flavo-F | **-1,232** | **0,822** |
| | Anto-F | 0,038 | 0,137 |
| | Prot-F | 0,161 | 0,267 |
| Morfologia dos Frutos | DT-F | -1,07 | **3,26** |
| | DL-F | **1,98** | -2,80 |
| | Coef. Canônico | 0,960 | 0,946 |
| | $\chi 2$ | 40,799 | 19,226 |
| | Grau Liber. | 12 | 5 |
| | p-valor (%) | **0,005** | 0,174 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Qualidade dos Frutos | Carb-F | **1,194** | **0,616** |
| | VitC-F | -0,499 | -0,999 |
| | CFT-F | -0,653 | -0,004 |
| | Flavo-F | -1,011 | **1,840** |
| | Anto-F | **1,019** | -0,746 |
| | Prot-F | -0,267 | -0,211 |
| Bioquímica dos Cladódios | VitC-C | -0,464 | **0,738** |
| | CFT-C | **0,776** | -0,990 |
| | DPPH-C | -0,228 | **0,481** |
| | ClorB-C | -0,539 | 0,099 |
| | Prot-C | 0,086 | -0,077 |
| | Carb-C | -0,140 | **0,377** |
| | APX-C | **0,584** | -0,199 |
| | CAT-C | **0,957** | 0,086 |
| | SOD-C | -0,163 | -0,095 |
| | Coef. Canônico | 1,000 | 1,000 |
| | $\chi 2$ | 168,595 | 99,517 |
| | Grau Liber. | 54 | 40 |
| | p-valor (%) | **0,000** | **0,000** |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Carb-F: carboidratos dos frutos; VitC-F: vitamina C dos frutos; CFT-F: compostos fenólicos totais dos frutos; Flavo-F: flavonoides dos frutos; Anto-F: antocianinas dos frutos; Prot-F: proteínas dos frutos; DT-F: diâmetro transversal dos frutos; DL-F: diâmetro longitudinal dos frutos; VitC-C: vitamina C dos cladódios; CFT-C: compostos fenólicos totais dos cladódios; DPPH-C: capacidade antioxidante dos cladódios (método DPPH); ClorB-C: clorofila b dos cladódios; Prot-C: proteínas dos cladódios; Carb-C: carboidratos dos cladódios; APX-C: enzima ascorbato peroxidase nos cladódios; CAT-C: enzima catalase nos cladódios; SOD-C: enzima superóxido dismutase nos cladódios.

Na segunda seção da tabela, ambos os eixos são altamente significativos ($p < 0.001$), indicando que as correlações entre os conjuntos são estatisticamente muito fortes (Tabela 4). Isso valida a interpretação dos eixos. No 1º eixo, a maior qualidade dos frutos (carboidratos e antocianinas elevados) está positivamente associada a altos níveis de catalase e compostos fenólicos nos cladódios, ascorbato peroxidase também contribui positivamente. Isso mostra que cladódios com maiores ativações das enzimas antioxidantes produzem frutos com mais carboidratos e antocianinas. No segundo eixo, a qualidade dos frutos (altas concentrações de flavonoides e carboidratos) está associada às altas concentrações de vitamina C, atividade antioxidante (DPPH) e carboidratos nos cladódios (Tabela 4).

### 4.1.3 Correlação canônica entre o grupo Qualidade dos frutos e o grupo Morfologia da planta

A correlação canônica apresentou coeficiente canônico 0,988, indicando correlação extremamente forte entre os dois conjuntos de variáveis (qualidade dos frutos e características da planta) no primeiro eixo canônico (Tabela 5). O p-valor de 0,164 sugere que não há evidência estatística forte para rejeitar a hipótese nula de que a correlação canônica seja zero. Tecnicamente, o resultado não é estatisticamente significativo ao nível de 5% ($p < 0,05$). Contudo, a magnitude da correlação (0,988) ainda pode ser considerada relevante do ponto de vista biológico ou prático, dependendo do contexto. Dessa forma, o eixo canônico mostra que plantas mais altas e com maior número de cladódios estão positivamente associadas a um maior conteúdo de antocianinas, compostos fenólicos totais e vitamina C nos frutos. Por outro lado, essas mesmas plantas estão associadas a menores teores de flavonoides nos frutos, dado o peso negativo forte dessa variável no eixo (Tabela 5).

**Tabela 5:** Cargas canônicas entre o grupo Qualidade dos frutos e o grupo Morfologia da planta de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Grupos | Variável | 1° Eixo |
|---|---|---|
| Qualidade dos Frutos | Carb-F | -0,210 |
| | VitC-F | **0,730** |
| | CFT-F | **0,833** |
| | Flavo-F | **-1,921** |
| | Anto-F | **0,886** |
| | Prot-F | 0,249 |
| Planta | ALT-P | **0,881** |
| | NFR-P | 0,466 |
| | NCL-P | **0,765** |
| | Coef. Canônico | 0,988 |
| | $\chi 2$ | 40,756 |
| | Grau Liber. | 18 |
| | p-valor (%) | 0,164 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Carb-F: carboidratos dos frutos; VitC-F: vitamina C dos frutos; CFT-F: compostos fenólicos totais dos frutos; Flavo-F: flavonoides dos frutos; Anto-F: antocianinas dos frutos; Prot-F: proteínas dos frutos; ALT-P: altura da planta; NFR-P: número de frutos por planta; NCL-P: número de cladódios por planta.

## 4.2 ANÁLISES DE TRILHA ENTRE OS GRUPOS CORRELACIONADOS DOS EIXOS CANÔNICOS

### 4.2.1 Análise de trilha entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Morfologia da planta

A altura da planta tem efeito positivo direto (0,524) na produção (Tabela 6). Já na segunda seção, o número de frutos aparece com efeito direto negativo (-0,637), e por fim o número de cladódios (0,938) tem altíssimo efeito direto positivo. Pode-se observar que a altura da planta e o número de cladódios têm os principais efeitos positivos diretos sobre a massa do fruto, enquanto o número de frutos na planta se apresenta de forma negativa, tendo efeito indireto (Tabela 6).

**Tabela 6:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Morfologia da planta de pitaya (*Hylocereus* spp.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Produção vs Planta | | |
|---|---|---|
| Peso do Fruto | | |
| Efeito Direto | ALT-P | **0,524** |
| Efeito Indireto | NFR-P | -0,337 |
| Efeito Indireto | NCL-P | **0,593** |
| Total | | 0,780 |
| Efeito Direto | NFR-P | **-0,637** |
| Efeito Indireto | ALT-P | 0,277 |
| Efeito Indireto | NCL-P | **0,822** |
| Total | | 0,462 |
| Efeito Direto | NCL-P | **0,938** |
| Efeito Indireto | ALT-P | 0,331 |
| Efeito Indireto | NFR-P | **-0,558** |
| Total | | 0,711 |
| R2 | | 0,782 |
| Resíduo | | 0,467 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). ALT-P: altura da planta; NFR-P: número de frutos por planta; NCL-P: número de cladódios por planta.

### 4.2.2 Análise de trilha entre o grupo Produção dos frutos (massa fresca) e o grupo Morfologia do fruto

O diâmetro transversal tem efeito direto negativo (-0,456) sobre a produção, e o longitudinal tem efeito indireto fortemente positivo (1,346) (Tabela 7). Na segunda seção,

acontece a mesma coisa, porém com diâmetro longitudinal tendo seu forte efeito positivo (1,407) de forma direta sobre o peso do fruto. Dessa maneira, o diâmetro longitudinal do fruto é a variável mais influente e o modelo é altamente explicativo ($R^2$ = 96,1%), o que mostra que a morfologia do fruto é uma excelente preditora da produção (Tabela 7).

**Tabela 7:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Produção dos frutos (massa) e o grupo Morfologia do fruto de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Produção vs Morfologia do Fruto | | |
|---|---|---|
| Peso do Fruto | | |
| Efeito Direto | DT-F | **-0,456** |
| Efeito Indireto | DL-F | 1,346 |
| Total | | 0,890 |
| Efeito Direto | DL-F | **1,407** |
| Efeito Indireto | DT-F | -0,436 |
| Total | | 0,971 |
| R2 | | 0,961 |
| Resíduo | | 0,197 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). DT-F: diâmetro transversal dos frutos; DL-F: diâmetro longitudinal dos frutos.

### 4.2.3 Análise de trilha entre o grupo Produção dos frutos (massa fresca) e o grupo Qualidade do fruto

Os carboidratos influenciam positivamente a produção (+0,167), com contribuição importante dos compostos fenólicos (+0,653), este último de via indireta (Tabela 8). Os flavonoides também apresentaram forte influência indireta, entretanto de forma negativa (-0,623). A vitamina C do fruto tem forte efeito total, principalmente direto (0,514). Os compostos fenólicos totais com valor de +0,876 (mais alto entre todas as variáveis) atuam de forma direta sobre o peso dos frutos, enquanto os flavonoides permanecem fortemente atuando de forma negativa (Tabela 8).

Os flavonoides exercem efeito global negativo sobre a produção, o que pode indicar antagonismo ou excesso relacionado à menor produtividade. As antocianinas têm efeito positivo moderado, mais por efeitos indiretos (Tabela 8). Por fim, as proteínas dos frutos, mesmo com efeito direto modesto (+0,061) e efeitos indiretos via fenólicos, explicam a alta influência sobre produção.

A partir da tabela acima, é possível, portanto, concluir que CFT-F são os maiores preditores positivos da produção, ao passo que Flavo-F aparece como um possível fator negativo, talvez por antagonismo fisiológico. O modelo mostra que a qualidade do fruto influencia fortemente a produção, com efeitos complexos e bem distribuídos (Tabela 8).

**Tabela 8:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Produção dos frutos (peso) e o grupo Qualidade do fruto de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Produção vs Qualidade do Fruto | | |
|---|---|---|
| Peso do Fruto | | |
| Efeito Direto | Carb-F | **0,167** |
| Efeito Indireto | VitC-F | 0,337 |
| Efeito Indireto | CFT-F | **0,665** |
| Efeito Indireto | Flavo-F | **-0,623** |
| Efeito Indireto | Anto-F | 0,050 |
| Efeito Indireto | Prot-F | 0,040 |
| Total | | 0,636 |
| | | |
| Efeito Direto | VitC-F | **0,514** |
| Efeito Indireto | Carb-F | 0,109 |
| Efeito Indireto | CFT-F | **0,692** |
| Efeito Indireto | Flavo-F | **-0,835** |
| Efeito Indireto | Anto-F | 0,066 |
| Efeito Indireto | Prot-F | 0,035 |
| Total | | 0,582 |
| | | |
| Efeito Direto | CFT-F | **0,876** |
| Efeito Indireto | Carb-F | 0,127 |
| Efeito Indireto | VitC-F | 0,406 |
| Efeito Indireto | Flavo-F | **-0,827** |
| Efeito Indireto | Anto-F | 0,063 |
| Efeito Indireto | Prot-F | 0,040 |
| Total | | 0,684 |
| | | |
| Efeito Direto | Flavo-F | **-1,126** |
| Efeito Indireto | Carb-F | 0,092 |
| Efeito Indireto | VitC-F | 0,381 |
| Efeito Indireto | CFT-F | **0,643** |
| Efeito Indireto | Anto-F | 0,093 |
| Efeito Indireto | Prot-F | 0,024 |
| Total | | 0,108 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | Anto-F | **0,102** |
| Efeito Indireto | Carb-F | 0,082 |
| Efeito Indireto | VitC-F | 0,332 |
| Efeito Indireto | CFT-F | **0,536** |
| Efeito Indireto | Flavo-F | **-1,018** |
| Efeito Indireto | Prot-F | 0,023 |
| Total | | 0,058 |
| | | |
| Efeito Direto | Prot-F | **0,061** |
| Efeito Indireto | Carb-F | 0,109 |
| Efeito Indireto | VitC-F | 0,295 |
| Efeito Indireto | CFT-F | **0,575** |
| Efeito Indireto | Flavo-F | **-0,447** |
| Efeito Indireto | Anto-F | 0,039 |
| Total | | 0,632 |
| | | |
| R2 | | 0,928 |
| Resíduo | | 0,269 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). Carb-F: Carboidratos totais da fruta; VitC-F: Vitamina C da fruta; CFT-F: Compostos fenólicos totais da fruta; Flavo-F: Flavonoides totais da fruta; Anto-F: Antocianinas totais da fruta; Prot-F: Proteína total da fruta.

### 4.2.4 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (carboidratos) e Bioquímica do cladódio

A variável com maior efeito direto sobre o teor de carboidratos do fruto foi a proteína do cladódio (+0,603) (Tabela 9), porém existiram outras variáveis com efeitos diretos pequenos, tais como: VitC-C (+0,024), DPPH-C (–0,112), CFT-C (+0,052) e ClorB-C (–0,028). O modelo mostra que o acúmulo de carboidratos no fruto é influenciado principalmente por efeitos indiretos de variáveis bioquímicas do cladódio. As variáveis relacionadas à atividade antioxidante e ao metabolismo fotossintético no cladódio (como SOD, clorofilas, fenóis e proteínas) têm papel mediador importante na regulação dos carboidratos do fruto (Tabela 9).

**Tabela 9:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (carboidratos) e Bioquímica do cladódio de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Qualidade do Frutos vs Bioquímica do Cladódio |
|---|
| Carboidratos |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | VitC-C | **0,024** |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,039 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,092 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | **0,144** |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,026 |
| Efeito Indireto | Carb-C | **0,303** |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,027 |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,013 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,179 |
| Total | | 0,582 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | CFT-C | **0,052** |
| Efeito Indireto | VitC-C | 0,018 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,067 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | 0,057 |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,057 |
| Efeito Indireto | Carb-C | **0,333** |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,019 |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,005 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,040 |
| Total | | 0,465 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | DPPH-C | **-0,112** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **0,020** |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,031 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | **0,134** |
| Efeito Indireto | Prot-C | -0,059 |
| Efeito Indireto | Carb-C | **0,300** |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,010 |
| Efeito Indireto | CAT-C | 0,006 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,092 |
| Total | | 0,402 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | ClorB-C | **-0,283** |
| Efeito Indireto | VitC-C | -0,012 |
| Efeito Indireto | CFT-C | -0,010 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | 0,053 |
| Efeito Indireto | Prot-C | **0,333** |
| Efeito Indireto | Carb-C | **-0,236** |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,013 |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,037 |
| Efeito Direto | SOD-C | -0,160 |
| Total | | -0,366 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | Prot-C | **0,603** |
| Efeito Indireto | VitC-C | 0,001 |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,005 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | 0,011 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | **-0,156** |
| Efeito Indireto | Carb-C | -0,068 |
| Efeito Indireto | APX-C | **-0,122** |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,079 |
| Efeito Direto | SOD-C | -0,007 |
| Total | | 0,187 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | Carb-C | **0,523** |
| Efeito Indireto | VitC-C | 0,014 |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,033 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,064 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | **0,128** |
| Efeito Indireto | Prot-C | -0,078 |
| Efeito Indireto | APX-C | 0,069 |
| Efeito Indireto | CAT-C | 0,041 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,088 |
| Total | | 0,755 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | APX-C | **-0,237** |
| Efeito Indireto | VitC-C | 0,003 |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,004 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,005 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | -0,016 |
| Efeito Indireto | Prot-C | **0,312** |
| Efeito Indireto | Carb-C | -0,153 |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,073 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,047 |
| Total | | -0,118 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | CAT-C | **0,118** |
| Efeito Indireto | VitC-C | -0,003 |
| Efeito Indireto | CFT-C | -0,002 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,006 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | 0,090 |
| Efeito Indireto | Prot-C | **-0,403** |
| Efeito Indireto | Carb-C | 0,184 |
| Efeito Indireto | APX-C | 0,148 |
| Efeito Direto | SOD-C | -0,117 |
| Total | | 0,008 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | SOD-C | **-0,433** |
| Efeito Indireto | VitC-C | -0,010 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Indireto | CFT-C | -0,005 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | 0,024 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | **-0,104** |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,010 |
| Efeito Indireto | Carb-C | **-0,107** |
| Efeito Indireto | APX-C | 0,026 |
| Efeito Direto | CAT-C | 0,032 |
| Total | | -0,567 |
| | | |
| R2 | | 0,879 |
| Resíduo | | 0,348 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). SOD-C**:** enzima superóxido dismutase nos cladódios; VitC-C: Vitamina C nos cladódios; CFT-C: Compostos fenólicos totais nos cladódios; DPPH-C**:** Capacidade antioxidante dos cladódios (método DPPH) ClorB-C**:** Clorofila total nos cladódios; Prot-C**:** Proteína total nos cladódios; Carb-C**:** Carboidratos totais nos cladódios; APX-C**:** enzima ascorbato peroxidase nos cladódios; CAT-C**:** enzima catalase nos cladódios.

### 4.2.5 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Morfologia do fruto

O diâmetro transversal do fruto tem forte efeito direto positivo sobre o teor de flavonoides (+3,107) (Tabela 10). No entanto, esse efeito é parcialmente compensado por um efeito indireto negativo via diâmetro longitudinal (–2,648). Mesmo assim, o efeito total é positivo, sugerindo que frutos mais arredondados tendem a ter maior concentração de flavonoides, apesar da interferência do comprimento, o que sugere que frutos mais longos isoladamente tenderiam a ter menor concentração de flavonoides (Tabela 10). O modelo possui boa explicação ($R^2$ = 0,862), ou seja, as variáveis morfológicas explicam 86,2% da variação nos flavonoides dos frutos. A relação entre forma do fruto e concentração de flavonoides é mais associada à largura (espessura) do que ao comprimento.

**Tabela 10:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Morfologia do fruto de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Qualidade dos Frutos vs Morfologia do Fruto | | |
|---|---|---|
| Flavonoides | | |
| Efeito Direto | DT-F | **3,107** |
| Efeito Indireto | DL-F | **-2,648** |
| Total | | 0,459 |
| Efeito Direto | DL-F | **-2,768** |
| Efeito Indireto | DT-F | **2,972** |
| Total | | 0,204 |
| R2 | | 0,862 |
| Resíduo | | 0,372 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). DT-F: diâmetro dos frutos; DL-F: diâmetro longitudinal dos frutos.

### 4.2.6 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Bioquímica do cladódio

Vitamina C e os carboidratos solúveis do cladódio apresentaram o efeito direto positivo mais forte sobre os flavonoides no fruto (Tabela 11). Enzimas antioxidantes, como a superóxido dismutase (SOD-C) e a catalase (CAT-C), apresentaram efeitos diretos negativos.

Vitamina C e os carboidratos do cladódio influenciam positivamente a produção de flavonoides no fruto. Por outro lado, os compostos fenólicos do cladódio e enzimas antioxidantes como a catalase e SOD exercem efeito direto negativo. CFT-C tem forte efeito indireto negativo via VitC-C (–0,706), o que reforça que essa via pode estar sendo desviada. VitC-C aparece frequentemente como importante mediador indireto de carboidratos, DPPH e compostos fenólicos totais do fruto, com efeito positivo em várias trilhas, além de exercer papel central na regulação da biossíntese de flavonoides. Carb-C tem efeito indireto positivo em muitos casos, especialmente via VitC-C e CFT-C (Tabela 11).

A Vitamina C é a variável mais positivamente associada aos flavonoides no fruto, tanto diretamente quanto indiretamente (Tabela 11). Os carboidratos também são importantes, sugerindo relação metabólica entre energia/disponibilidade de carbono e síntese de flavonoides. Algumas enzimas antioxidantes (como SOD-C e CAT-C) têm efeitos negativos

diretos. O alto valor negativo para CFT-C indica um desbalanceamento ou competição nas rotas de produção fenólica entre cladódio e fruto (Tabela 11).

**Tabela 11:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Bioquímica do cladódio de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Qualidade do Frutos vs Bioquímica do Cladódio | | |
|---|---|---|
| Flavonoides | | |
| Efeito Direto | VitC-C | **0,943** |
| Efeito Indireto | CFT-C | **-0,829** |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,045 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | -0,025 |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,003 |
| Efeito Indireto | Carb-C | 0,211 |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,030 |
| Efeito Indireto | CAT-C | 0,036 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,119 |
| Total | | 0,384 |
| | | |
| Efeito Direto | CFT-C | **-1,106** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **0,706** |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,033 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | -0,010 |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,007 |
| Efeito Indireto | Carb-C | 0,231 |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,021 |
| Efeito Indireto | CAT-C | 0,014 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,027 |
| Total | | -0,184 |
| | | |
| Efeito Direto | DPPH-C | **-0,055** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **0,776** |
| Efeito Indireto | CFT-C | **-0,661** |
| Efeito Indireto | ClorB-C | -0,024 |
| Efeito Indireto | Prot-C | -0,007 |
| Efeito Indireto | Carb-C | 0,209 |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,011 |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,016 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,061 |
| Total | | 0,274 |
| | | |
| Efeito Direto | ClorB-C | **0,050** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **-0,479** |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Indireto | CFT-C | **0,221** |
| Efeito Indireto | DPPH-C | 0,026 |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,041 |
| Efeito Indireto | Carb-C | -0,164 |
| Efeito Indireto | APX-C | -0,014 |
| Efeito Indireto | CAT-C | 0,103 |
| Efeito Direto | SOD-C | -0,107 |
| Total | | 0,274 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | Prot-C | **0,074** |
| Efeito Indireto | VitC-C | 0,041 |
| Efeito Indireto | CFT-C | **-0,104** |
| Efeito Indireto | DPPH-C | 0,005 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | 0,027 |
| Efeito Indireto | Carb-C | -0,047 |
| Efeito Indireto | APX-C | **-0,134** |
| Efeito Indireto | CAT-C | **0,218** |
| Efeito Direto | SOD-C | -0,005 |
| Total | | 0,075 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | Carb-C | **0,364** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **0,546** |
| Efeito Indireto | CFT-C | **-0,703** |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,031 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | -0,022 |
| Efeito Indireto | Prot-C | -0,010 |
| Efeito Indireto | APX-C | 0,076 |
| Efeito Indireto | CAT-C | -0,114 |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,059 |
| Total | | 0,164 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | APX-C | **-0,260** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **0,108** |
| Efeito Indireto | CFT-C | -0,089 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,002 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | 0,003 |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,038 |
| Efeito Indireto | Carb-C | -0,107 |
| Efeito Indireto | CAT-C | **0,203** |
| Efeito Direto | SOD-C | 0,031 |
| Total | | -0,075 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Direto | CAT-C | **-0,325** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **-0,105** |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,049 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | -0,003 |

| | | |
|---|---|---|
| Efeito Indireto | ClorB-C | -0,016 |
| Efeito Indireto | Prot-C | -0,049 |
| Efeito Indireto | Carb-C | **0,128** |
| Efeito Indireto | APX-C | **0,162** |
| Efeito Direto | SOD-C | -0,078 |
| Total | | -0,237 |
| | | |
| Efeito Direto | SOD-C | **-0,290** |
| Efeito Indireto | VitC-C | **-0,389** |
| Efeito Indireto | CFT-C | 0,103 |
| Efeito Indireto | DPPH-C | 0,012 |
| Efeito Indireto | ClorB-C | 0,018 |
| Efeito Indireto | Prot-C | 0,001 |
| Efeito Indireto | Carb-C | -0,074 |
| Efeito Indireto | APX-C | 0,028 |
| Efeito Direto | CAT-C | -0,088 |
| Total | | -0,678 |
| | | |
| R2 | | 0,893 |
| Resíduo | | 0,328 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). VitC-C: vitamina C nos cladódios; CFT-C: compostos fenólicos totais nos cladódios; DPPH-C: capacidade antioxidante dos cladódios (método DPPH); ClorB-C: clorofila total nos cladódios; Prot-C: proteína total nos cladódios; Carb-C: carboidratos totais nos cladódios; APX-C: atividade da enzima ascorbato peroxidase nos cladódios; CAT-C: atividade da enzima catalase nos cladódios; SOD-C: atividade da enzima superóxido dismutase nos cladódios.

### 4.2.7 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (proteínas) e Morfologia do fruto

O diâmetro transversal do fruto tem efeito direto positivo (1,093), exercendo forte efeito direto positivo sobre o teor de proteína (Tabela 12). Isso indica que frutos com maior espessura lateral tendem a apresentar maior conteúdo de proteínas. O diâmetro longitudinal do fruto tem feito direto negativo (-0,305) sobre a proteína. Isso sugere que frutos mais alongados tendem a ter um conteúdo menor de proteínas. O diâmetro longitudinal influencia indiretamente a proteína via diâmetro transversal, de forma negativa (-0,292). O diâmetro transversal influencia indiretamente a proteína via diâmetro longitudinal, de forma positiva (1,046), compensando o efeito direto negativo do comprimento (Tabela 12).

**Tabela 12:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (proteínas) e Morfologia do fruto de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Qualidade dos Frutos vs Morfologia do Fruto | | |
|---|---|---|
| Proteína | | |
| Efeito Direto | DT-F | **1,093** |
| Efeito Indireto | DL-F | **-0,292** |
| Total | | 0,802 |
| Efeito Direto | DL-F | **-0,305** |
| Efeito Indireto | DT-F | **1,046** |
| Total | | 0,741 |
| R2 | | 0,651 |
| Resíduo | | 0,591 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). DT-F: diâmetro dos frutos; DL-F: diâmetro longitudinal dos frutos.

### 4.2.8 Análise de trilha entre o grupo Qualidade do fruto (proteínas) e Morfologia da planta

A altura da planta exerce efeito total levemente positivo sobre os flavonoides, graças ao NFR-P (Tabela 13). O número de cladódios interfere negativamente. No bloco dois, NFR-P é o maior contribuinte direto para o teor de flavonoides. Ainda assim, o efeito indireto negativo via NCL-P reduz a contribuição total. Em relação ao número de cladódios por planta no bloco três, apesar do efeito direto negativo, os efeitos indiretos são positivos, o que reduz o impacto negativo final, mostrando uma relação complexa entre crescimento vegetativo e qualidade do fruto (Tabela 13).

A qualidade do fruto (flavonoides) é afetada principalmente pelo número de frutos por planta, mas a complexidade estrutural da planta (via NCL-P) reduz esse ganho (Tabela 13). A altura da planta contribui positivamente, mas de forma fraca. O modelo explica pouco da variação total dos flavonoides ($R^2$ = 0,226), sugerindo que características fisiológicas ou ambientais também são importantes (Tabela 13).

**Tabela 13:** Análise de trilha (efeitos diretos e indiretos) entre o grupo Qualidade do fruto (flavonoides) e Morfologia da planta de pitaya (*Hylocereus spp*.) sob condições de cultivo com adubação de esterco bovino.

| Qualidade dos Frutos vs Planta | | |
|---|---|---|
| Flavonoides | | |
| Efeito Direto | ALT-P | 0,204 |
| Efeito Indireto | NFR-P | 0,473 |
| Efeito Indireto | NCL-P | -0,481 |
| Total | | 0,196 |
| Efeito Direto | NFR-P | 0,896 |
| Efeito Indireto | ALT-P | 0,108 |
| Efeito Indireto | NCL-P | -0,666 |
| Total | | 0,337 |
| Efeito Direto | NCL-P | -0,761 |
| Efeito Indireto | ALT-P | 0,129 |
| Efeito Indireto | NFR-P | 0,784 |
| Total | | 0,152 |
| R2 | | 0,226 |
| Resíduo | | 0,880 |

Fonte: Dados da pesquisa (2025). ALT-P: altura da planta; NFR-P: número de frutos por planta; NCL-P: número de cladódios por planta.

## 4.3 DISTRIBUIÇÃO E COMPORTAMENTO DOS DADOS EM FUNÇÃO DO SOMBREAMENTO, DOSES DE ADUBAÇÃO E CULTIVARES DE PITAYA

### 4.3.1 Características biométricas da pitaya sob diferentes doses de adubação e sombreamento

Observou-se que os números de frutos e de cladódios aumentaram significativamente com a adubação, especialmente nas plantas vermelhas sem sombreamento (V3SS e V4SS)**,** que apresentaram os maiores valores médios (Figura 4). Em contraste, nas plantas sem adubação e sob sombreamento (V0CS e V0SS) os valores foram próximos de zero, indicando forte limitação ao desenvolvimento (Figura 4).

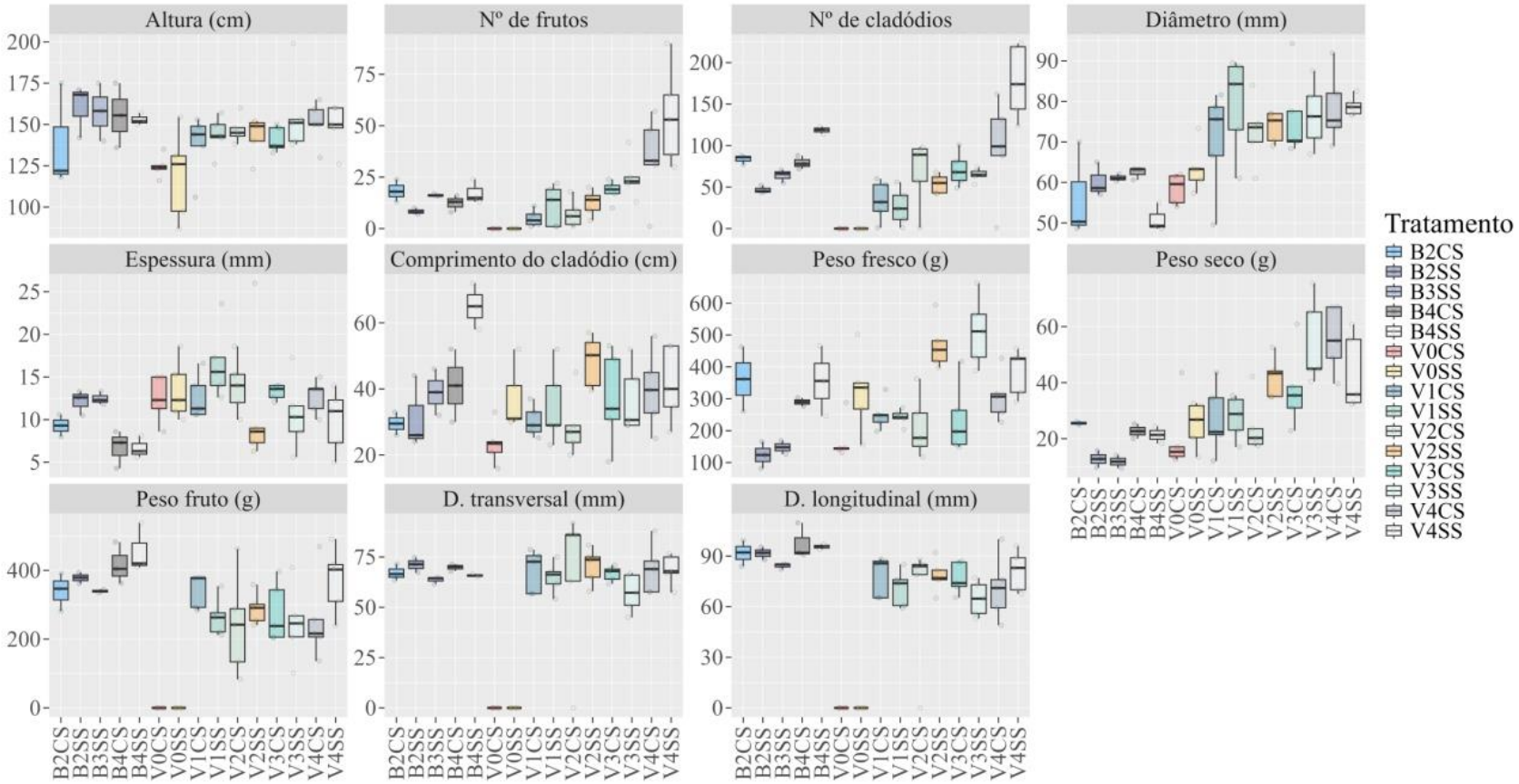



**Figura 4:** Distribuição das variáveis biométricas de pitayas vermelha (V) e branca (B), sob diferentes doses de adubação (0–4) e sombreamento (CS e SS). As variáveis avaliadas foram: altura da planta (mm), número de frutos, número de cladódios, diâmetro (mm), espessura e comprimento dos cladódios (mm), massa fresca (g) e seca do cladódio, massa fresca do fruto (g), e diâmetros transversal e longitudinal dos frutos (mm). Cada *boxplot* representa o intervalo interquartil (IQR), a mediana (linha central) e os valores extremos (círculos). Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A altura das plantas foi superior nas pitayas brancas, sobretudo nos tratamentos B2SS, B3SS e B4CS**,** sugerindo maior crescimento vegetativo dessa variedade, independentemente da condição de sombreamento (Figura 4). Em contraponto, a variedade vermelha respondeu melhor em termos de produção de biomassa (peso fresco e seco), especialmente em V3SS e V4SS. Em relação às dimensões dos cladódios, tanto comprimento quanto espessura aumentaram com a dose de adubação, sendo os maiores valores observados nos tratamentos V3SS, V4SS e V4CS (Figura 4). Quanto às características dos frutos, os maiores pesos e diâmetros foram observados nos tratamentos V4SS e V4CS, indicando que a alta adubação e a radiação solar direta promovem maior desenvolvimento e qualidade dos frutos. Os tratamentos com plantas brancas, embora tenham apresentado boa altura, mostraram frutos menores e menor produção, revelando diferenças varietais importantes no acúmulo de biomassa reprodutiva (Figura 4).

### 4.3.2 Composição química em cladódios e frutos de pitaya

Constatou-se que os teores de vitamina C nos frutos e cladódios aumentaram progressivamente com as doses de adubação, com destaque para os tratamentos V4SS e V4CS (Figura 5). O sombreamento, de modo geral, reduziu os teores de vitamina C, principalmente nas menores doses. O mesmo padrão foi observado para os sólidos solúveis totais (SST), um indicador importante da qualidade dos frutos, que se apresentaram mais elevados nos tratamentos V3SS e V4SS (Figura 5).

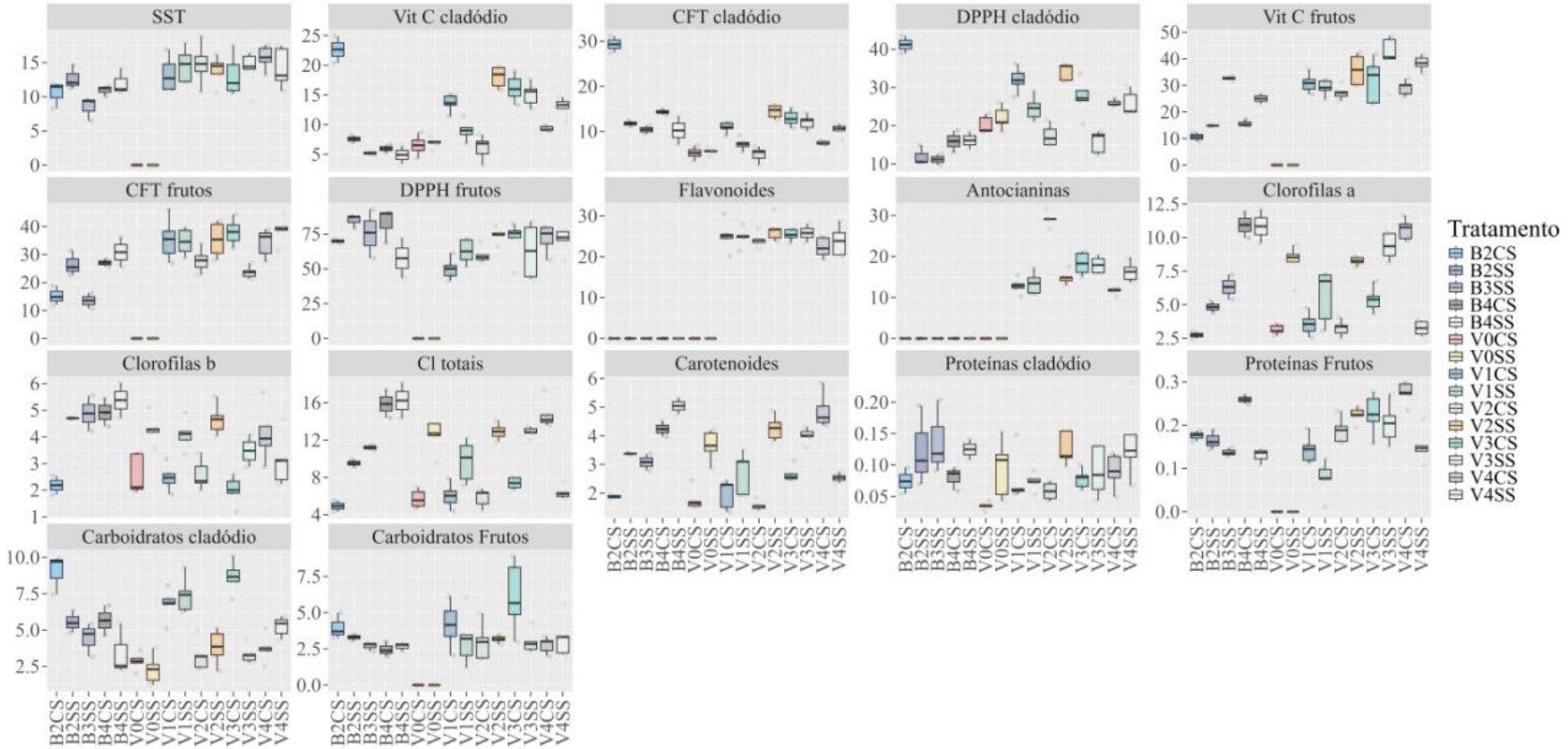



**Figura 5:** Cladódios e frutos de pitayas vermelha (V) e branca (B), sob diferentes doses de adubação (0–4) e sombreamento (CS e SS). Estão representados sólidos solúveis totais (SST), vitamina C, compostos fenólicos totais (CFT), DPPH, flavonoides, antocianinas, clorofilas a e b, clorofilas totais, carotenoides, carboidratos e proteínas em cladódios e frutos. Cada *boxplot* representa o intervalo interquartil (IQR), a mediana (linha central) e os valores extremos (círculos). Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A atividade antioxidante, avaliada pelo ensaio DPPH, foi superior nos frutos e cladódios dos tratamentos com maiores adubação e ausência de sombreamento, sendo V4SS o mais expressivo (Figura 5). Os teores de compostos fenólicos totais (CFT), flavonoides e antocianinas seguiram tendência semelhante, sendo mais abundantes em plantas vermelhas bem nutridas sob luz plena. Nos cladódios, os teores de clorofilas a, b e totais, assim como os carotenoides, foram favorecidos pelas doses intermediárias e altas de adubação. As plantas vermelhas nos tratamentos V3SS e V4SS concentraram os maiores teores desses pigmentos fotossintéticos (Figura 5). Por sua vez, o sombreamento reduziu parcialmente esses pigmentos, sobretudo nas doses mais baixas de adubação.

O acúmulo de carboidratos e proteínas em cladódios e frutos também foi intensificado com o aumento da adubação, sendo os tratamentos V3SS e V4SS novamente os mais destacados (Figura 5). Em relação à qualidade dos frutos, o pH aumentou e a acidez reduziu-se nos tratamentos com maior adubação e radiação solar (V3SS, V4SS e V4CS). Esses resultados, associados aos altos teores de SST, carboidratos e vitamina C (Figura 5), confirmam a superioridade desses tratamentos para fins comerciais e nutricionais.

### 4.3.3 Parâmetros fisiológicos e fotossintéticos da pitaya

As atividades das enzimas antioxidantes APX, CAT e SOD foram mais elevadas nas pitayas vermelhas tratadas com altas doses de adubação, especialmente sem sombreamento (V3SS, V4SS e V4CS) (Figura 6). As trocas gasosas, em especial a taxa fotossintética líquida (Pn), foram positivamente influenciadas pela adubação e pela luz plena. O tratamento V4SS apresentou os maiores valores de Pn, seguido de V3SS, indicando alta atividade fotossintética e eficiência no uso da luz. A condutância estomática e a transpiração (E) também aumentaram com as doses de adubação, demonstrando maior abertura estomática e regulação eficiente da troca de gases. Em contraste, as plantas com baixa adubação e sob sombreamento (como V0CS e V1CS) apresentaram os menores valores para todas essas variáveis (Figura 6).

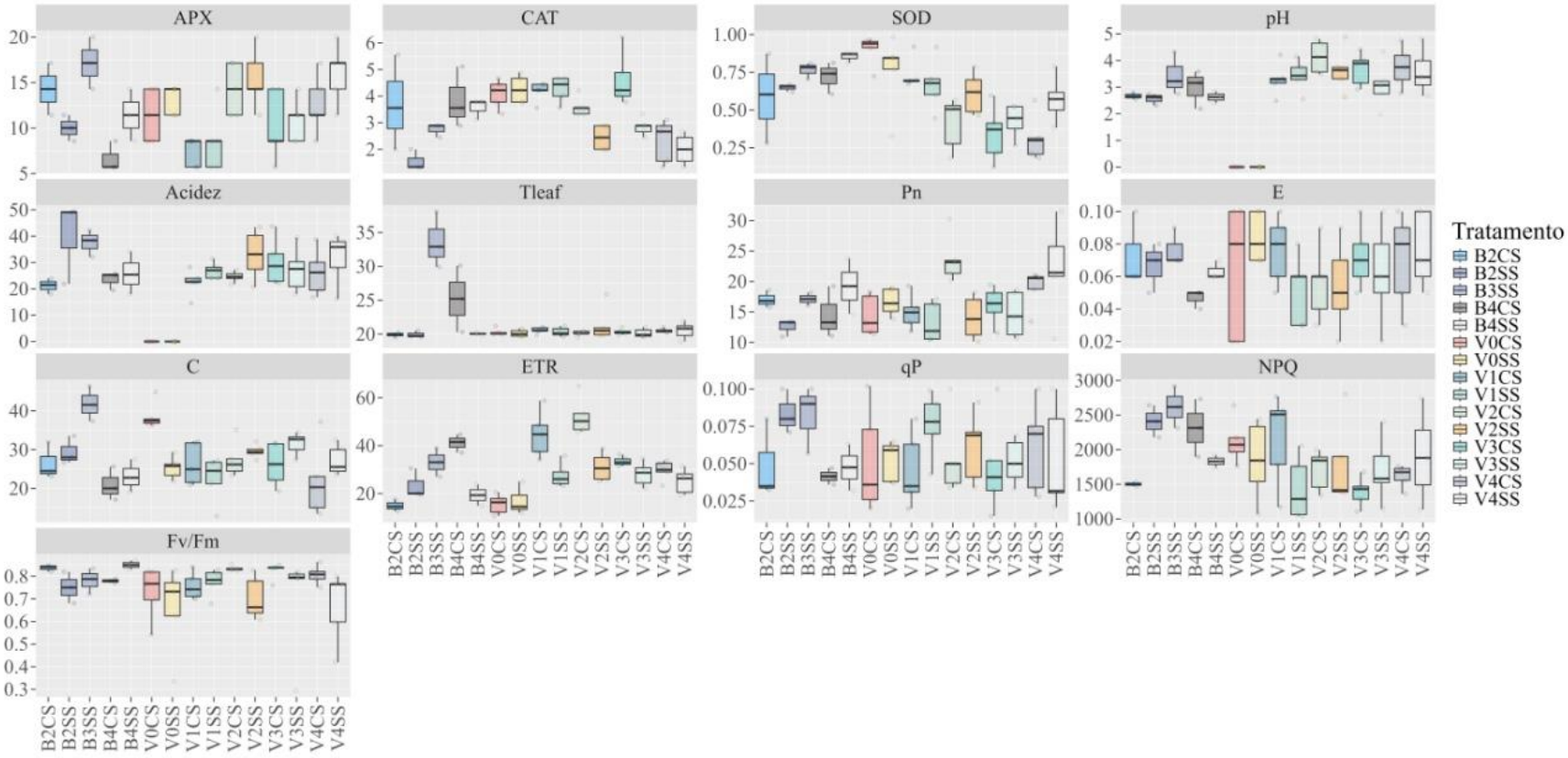



**Figura 6:** Pitayas vermelha (V) e branca (B), sob diferentes doses de adubação (0–4) e níveis de sombreamento (CS e SS). Estão representados APX, CAT, SOD; Tleaf (temperatura foliar); Pn (taxa fotossintética líquida); E (transpiração); C (acúmulo de carbono); ETR (taxa de transporte de elétrons); qP (*quenching* fotoquímico); NPQ (*quenching* não fotoquímico); Fv/Fm (eficiência do fotossistema II); acidez e pH dos frutos. Cada *boxplot* representa o intervalo interquartil (IQR), a mediana (linha central) e os valores extremos (círculos). Fonte: Dados da pesquisa (2025).

A eficiência fotoquímica do fotossistema II, representada por Fv/Fm, foi mantida próxima de valores ideais (≈0,8) na maioria dos tratamentos, mas foi reduzida em V4SS, o que pode indicar início de fotoinibição devido ao excesso de luz sem sombreamento (Figura 6). Ainda assim, as mesmas plantas apresentaram elevados valores de qP (*quenching* fotoquímico) e baixos valores de NPQ (*quenching* não fotoquímico), sugerindo que conseguem dissipar eficientemente a energia luminosa para fotossíntese, minimizando perdas por calor (Figura 6). A temperatura foliar (Tleaf) foi menor nos tratamentos sombreados, como esperado, especialmente nas plantas brancas (B2CS), confirmando o efeito do sombreamento sobre o microclima da planta (Figura 6). Por outro lado, o acúmulo de carbono (C) foi maior nas plantas bem nutridas sob sol pleno, indicando alta assimilação fotossintética e formação de biomassa.

## 5 DISCUSSÃO

A análise multivariada revelou forte associação entre o rendimento e duas variáveis-chave, o número de frutos por planta e o número de cladódios, ambas exercendo efeitos diretos positivos. Esse padrão reforça que a expansão da estrutura vegetativa, representada pelo aumento do número de cladódios, contribui para maior capacidade fotossintética e, consequentemente, maior produção de fotoassimilados destinados ao enchimento dos frutos (Tabelas 3 e 4). Resultados semelhantes foram relatados por Lucena *et al*. (2021) em *Nopalea cochenillifera*, que identificaram relações positivas entre biomassa vegetativa e produtividade em cactáceas forrageiras. Em *Hylocereus undatus*, Silva *et al*. (2021) também concluíram que o aumento da ramificação vegetativa melhora a interceptação da luz e a eficiência no uso da água, fatores decisivos para a formação e retenção dos frutos. Adicionalmente, observou-se um possível *trade-off* entre o número de frutos e o peso individual dos frutos (Tabela 3). O efeito negativo do número de frutos (-0,637) sugere competição por recursos assimilados entre os frutos em uma mesma planta, sugerindo limitação no suprimento de fotoassimilados sob altas cargas produtivas, o que compromete o desenvolvimento individual (Tabela 5). Plantas com maior número de frutos tenderam a produzir frutos menores, um fenômeno recorrente em frutíferas tropicais, incluindo cactáceas (Sales *et al*., 2022). Menezes *et al*. (2020) reforçam essa observação ao relatarem que o aumento excessivo da frutificação em *Hylocereus spp.* leva à redução do tamanho e do peso médio dos frutos, em razão da intensa competição e da remobilização de fotoassimilados. Essas respostas produtivas também refletiram os efeitos da interação entre luz, adubação e características varietais (Figura 4).

Observou-se que a adubação orgânica associada à exposição ao pleno sol promoveu aumentos significativos do número de frutos e de cladódios, bem como das características biométricas das plantas, sobretudo na variedade vermelha (V3SS e V4SS), evidenciando seu melhor desempenho produtivo. Esses resultados reforçam o papel central da nutrição orgânica no fornecimento equilibrado de nutrientes e na ativação de processos fisiológicos fundamentais para o crescimento e a frutificação da pitaya. Tais achados corroboram os resultados de Silva *et al.* (2022), que reportaram aumentos substanciais do crescimento e produtividade em pitayas devidamente nutridas (Figura 4). Além disso, a influência da cobertura com capim-elefante sobre o desempenho das plantas revelou-se dependente da interação com o nível de adubação.

A ausência de adubação, aliada ao sombreamento (V0CS e V0SS), limitou drasticamente o desenvolvimento das plantas, o que evidencia que, em condições de menor

incidência luminosa, a deficiência nutricional pode agravar os efeitos da limitação fotossintética. Esse comportamento está de acordo com os relatos de Almeida *et al*. (2018), que observaram reduções significativas da fotossíntese e do crescimento em cactáceas submetidas a baixos níveis de radiação. Assim, os resultados sugerem que a cobertura vegetal, embora possa reduzir estresses térmicos e hídricos, requer associação com práticas de adubação adequadas para que não haja prejuízo ao desempenho agronômico da cultura. Esses dados, portanto, evidenciam a importância da interação entre luz e nutrição orgânica, reafirmando o objetivo do presente estudo de avaliar os efeitos combinados desses fatores sobre o crescimento e a produtividade da pitaya.

A relação positiva entre o peso dos frutos, o diâmetro longitudinal dos frutos e a altura da planta, associada à correlação negativa com o número de frutos, sugere que plantas mais robustas e menos carregadas priorizam o crescimento de frutos maiores, especialmente em comprimento (Tabelas 3 e 6). Tal resultado é relevante, considerando que em pitayas o mercado tende a valorizar frutos mais alongados e de maior peso (Oliveira *et al*., 2022). Este padrão também foi observado por Santos-Pelaez *et al*. (2024), que, ao avaliarem atributos fenotípicos de diferentes genótipos de *Hylocereus* spp., constataram que o comprimento do fruto é um dos principais determinantes para peso e rendimento de polpa, sendo um critério relevante em programas de seleção. De acordo com Tel-Zur *et al*. (2017), essa relação pode ser explicada pela dinâmica de crescimento dos frutos em cactáceas, em que o alongamento longitudinal permite melhor distribuição de assimilados e menor restrição física ao acúmulo de reservas.

Adicionalmente, o resultado negativo do diâmetro transversal na função canônica (-0,456) indica que frutos mais curtos, porém com maior diâmetro, não são os mais produtivos em peso (Tabela 6). Isso pode estar associado a limitações no enchimento de frutos muito largos, possivelmente devido a restrições fisiológicas, como transporte de assimilados da fonte ao dreno pode ser uma “consequência” da baixa capacidade do dreno e também com a limitação do crescimento do fruto em tamanho longitudinal, ou estruturais, como resistência da casca e capacidade de sustentação dos cladódios (Sibut, 2023; Morillo-Coronado *et al*., 2021). Características estruturais dos frutos de pitaya estão diretamente relacionadas à eficiência fisiológica e ao potencial produtivo, sobretudo em condições de ambientes limitantes, como ocorre nas regiões semiáridas.

Maior diâmetro e massa fresca de frutos foram observados nos tratamentos V3SS e V4SS (Figura 4), evidenciando que altas doses de adubação orgânica, quando associadas à exposição ao pleno sol, favorecem significativamente o desenvolvimento e a qualidade dos

frutos de pitaya. Esses resultados demonstram que o fornecimento adequado de matéria orgânica potencializa os processos fisiológicos da planta, otimizando a absorção de nutrientes, a síntese de metabólitos e, consequentemente, a formação de frutos mais robustos. Trabalhos prévios de Lucena *et al*. (2021) e Jesus *et al*. (2020) reforçam essa evidência ao destacarem que tanto o manejo nutricional quanto a radiação solar direta exercem influência positiva na formação de frutos mais pesados, doces e nutritivos.

Contudo, é importante destacar que os resultados também evidenciam a relevância da interação entre adubação e condição de luminosidade, em consonância com os objetivos deste estudo. A ausência de sombreamento natural (sem capim-elefante) parece ter criado um microclima mais favorável à fotossíntese e ao acúmulo de biomassa, especialmente quando combinada com doses elevadas de adubo orgânico. Estudos recentes, como os de Almeida *et al*. (2018), demonstram que o sombreamento pode ser benéfico em condições de estresse térmico, mas seu efeito pode ser neutro ou até prejudicial quando a radiação não é um fator limitante, como em regiões semiáridas com alta incidência solar. Além disso, Mendes-Rabelo *et al*. (2020) evidenciaram que a adubação orgânica, além de favorecer o crescimento e metabolismo da pitaya, atua como mediadora em situações de estresse abiótico, o que reforça sua importância em sistemas sustentáveis de produção.

Frutos com maior massa fresca apresentaram maiores teores de compostos fenólicos totais e vitamina C. Os compostos fenólicos totais se destacam como os principais preditores positivos da produção, apresentando efeito direto (+0,876) e participação indireta relevante, enquanto que a vitamina C apresentou efeito total significativo, principalmente direto (+0,514) (Tabelas 3 e 7). Essa correlação positiva é altamente relevante, uma vez que tais compostos estão diretamente associados às propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e à capacidade de agregar valor funcional e comercial aos frutos (Huang *et al*., 2024). Maiores acúmulos de biomassa nos frutos podem favorecer o aumento da síntese ou do armazenamento de compostos bioativos, especialmente quando a expansão do fruto não compromete a densidade de tecidos metabolicamente ativos (Rocha *et al*., 2020). Livera-Muñoz *et al*. (2023) citam que vitamina C promove eficiência fisiológica e acumulação de biomassa nos frutos de cactáceas, contribuindo para frutos mais pesados. Conforme observado por Sarmento *et al*. (2025), a concentração desse ácido orgânico durante o armazenamento resulta de um balanço entre síntese e degradação, mediado por diferentes vias metabólicas associadas à maturação e senescência. Em frutos maiores, essas vias podem ser mais intensamente ativadas, sobretudo pela degradação da parede celular e maior demanda antioxidante, o que pode explicar o aumento dos teores de ácido ascórbico. Em contraste, os

flavonoides revelaram forte efeito negativo ininterrupto (-0,623), sugerindo possível antagonismo fisiológico (Tabela 7).

A redução dos teores de flavonoides observada em frutos de maior peso sugere possível efeito dilucional, frequentemente relatado na literatura para frutos que apresentam rápido crescimento ou incremento acentuado de massa (Silva *et al*., 2022). Ao analisar três cultivares de *Hylocereus* com distintos tamanhos de fruto, Xue *et al.* (2020) observaram que os cultivares de frutos maiores acumulam mais metabólitos primários (ex.: carboidratos) e apresentam correspondentes menores níveis de metabólitos secundários, incluindo flavonoides, em relação aos frutos menores. Esse fenômeno pode estar relacionado à priorização metabólica para compostos primários voltados ao crescimento, em detrimento da biossíntese de metabólitos secundários, como os flavonoides (Zitha *et al*., 2022).

Essas respostas produtivas e qualitativas também refletem os efeitos integrados da radiação, da adubação e das características varietais. Altas doses de adubação orgânica, quando associadas ao pleno sol, favoreceram significativamente os teores de vitamina C, compostos fenólicos totais, sólidos solúveis totais e a atividade antioxidante dos frutos, especialmente nos tratamentos V3SS e V4SS (Figura 5). Esses resultados indicam que a disponibilidade adequada de nutrientes, aliada à maior incidência de radiação solar, pode intensificar rotas metabólicas secundárias responsáveis pela biossíntese de compostos bioativos, como fenóis e flavonoides, fundamentais para a qualidade funcional dos frutos.

Esse comportamento corrobora o papel da nutrição orgânica e da radiação na indução de compostos antioxidantes, como descrito por Silva *et al*. (2022), que relataram melhorias expressivas da qualidade funcional de frutos de pitaya submetidos a manejo nutricional adequado. Além disso, estudos recentes apontam que a radiação solar estimula a produção de espécies reativas de oxigênio (ROS), que por sua vez ativam mecanismos antioxidantes endógenos, levando ao acúmulo de vitamina C e compostos fenólicos (Zuo *et al*., 2019; Wang *et al*., 2021). Isso reforça a hipótese de que a interação entre alta disponibilidade de nutrientes e exposição à luz intensa atua como fator chave para a intensificação do metabolismo secundário e da qualidade funcional dos frutos, atendendo ao objetivo do presente estudo de avaliar o efeito combinado da adubação e do ambiente luminoso sobre atributos bioquímicos da pitaya.

A correlação canônica que aponta que frutos com maior diâmetro longitudinal e menor diâmetro transversal estão associados a maiores teores de compostos fenólicos e vitamina C, além de menores concentrações de flavonoides (Tabelas 5, 10 e 12). Este comportamento sugere que a morfologia do fruto exerce influência direta sobre sua qualidade bioquímica,

possivelmente em virtude de mecanismos fisiológicos relacionados à alocação de fotoassimilados e compostos secundários, como descrito por Huang *et al*. (2021). O acúmulo relativo de compostos bioativos nos frutos de pitaya pode variar conforme seu estágio de desenvolvimento e tamanho. Frutos maiores tendem a apresentar maior concentração de compostos fenólicos totais, como resultado de uma ativação mais ampla das rotas iniciais (produção de fenólicos simples), em detrimento específico da biossíntese de flavonas (Sarmento *et al*., 2025). No entanto, os padrões observados indicam que frutos com maior diâmetro transversal (arredondado) tendem a apresentar maiores concentrações de flavonoides e proteínas (Tabelas 2, 9 e 11).

Esse padrão pôde ser observado por Guiné *et al*. (2014), que, ao avaliarem cultivares de blueberry (*Vaccinium* spp.), verificaram que frutos menores apresentaram maiores concentrações de flavonoides totais, enquanto o aumento do peso esteve associado a uma redução proporcional destes compostos. Os resultados aqui indicam que há uma priorização metabólica na formação de biomassa em detrimento da síntese de metabólitos secundários. Pesquisas com outras espécies de frutas, como o de Sapelli *et al*. (2020) em pêssegos reforçam que frutos com maior diâmetro transversal tendem a ter maior proporção de tecidos com alta densidade celular, o que favorece o acúmulo de proteínas e outros metabólitos. Por outro lado, o efeito direto negativo do diâmetro longitudinal (-0,305) sobre o teor de proteínas sugere que frutos mais alongados, embora possam apresentar maior comprimento, não possuem proporcional aumento da densidade dos tecidos, o que leva a uma possível diluição do conteúdo proteico. A relação carbono:nitrogênio (C:N) também exerce papel central no balanço entre crescimento e assimilação de proteínas em plantas. Em *Citrus sinenses*, Huang *et al*. (2022) observaram que a deficiência de N resultou em redução de sua concentração em tecidos vegetais e consequente aumento da relação C:N em folhas, caules e raízes. Esse fenômeno, chamado de diluição do nitrogênio, representa uma maior eficiência do uso de N, pois a planta produz mais biomassa de carbono sem incremento correspondente de N. Esse mecanismo metabólico pode explicar o desempenho de cactáceas e frutos, com maiores acúmulos de carboidratos (C) e menor concentração proporcional de N proteico, mantendo adequadamente o crescimento, especialmente em condições de disponibilidade limitada de N.

Com base nos dados observados, os tratamentos V3SS e V4SS promoveram frutos com maior diâmetro longitudinal, caracterizando frutos mais alongados. Essa morfologia é indicativa de um desenvolvimento celular mais eficiente ao longo do eixo principal do fruto, favorecido pela alta disponibilidade de nutrientes fornecida pelas doses elevadas de adubação orgânica e pela exposição plena à radiação solar. A ausência de sombreamento nesses

tratamentos potencializa a atividade fotossintética, fornecendo energia para o metabolismo secundário e para os processos de expansão e divisão celular, especialmente em tecidos de rápido crescimento, como os frutos em formação.

Estudos como o de Silva *et al*. (2022) reforçam que a adubação orgânica adequada, quando associada à radiação solar direta, promove frutos com maior massa, comprimento e qualidade nutricional. Esses autores relatam que a interação entre nutrientes essenciais (como N, P e K) e a radiação regula positivamente o crescimento e a qualidade dos frutos de pitaya, influenciando inclusive características morfológicas, como a relação comprimento/largura.

Em contrapartida, tratamentos sob sombreamento e com baixa adubação (como V0CS e V0SS) apresentaram frutos mais curtos e menos desenvolvidos, o que sugere que a redução da intensidade luminosa, combinada com limitação nutricional, compromete o crescimento longitudinal dos frutos, possivelmente por restringir a fotossíntese líquida e o acúmulo de assimilados. Embora o sombreamento possa ter efeitos benéficos em situações de estresse térmico, como observado por Sousa *et al*. (2021), neste caso específico ele atuou de forma limitante devido à ausência de estresse ambiental severo e à menor oferta de nutrientes.

Plantas mais altas e com maior número de cladódios estão positivamente associadas a frutos com maiores teores de antocianinas, compostos fenólicos totais e vitamina C (Tabelas 4 e 8). O aumento dos teores de compostos fenólicos e vitamina C em frutos provenientes de plantas mais vigorosas também pode ser interpretado como uma resposta adaptativa, uma vez que esses compostos estão fortemente associados à defesa antioxidante, tanto no tecido vegetativo quanto no reprodutivo. Trabalhos como o de Jiang *et al*. (2021) apontam que a integração entre metabolismo primário (crescimento vegetativo) e secundário (síntese de antioxidantes) é crucial para a qualidade funcional dos frutos em ambientes com estresse hídrico e térmico, comum no semiárido, região produtora promissora no cultivo de pitaya. Por outro lado, o peso negativo da variável flavonoides no eixo reflete que plantas mais altas e ramificadas produzem frutos com menores teores desse grupo de compostos. Esse padrão foi observado por Martínez-Lüscher *et al*. (2019) em uvas de vinho, onde vinhedos com maior ramificação e altura apresentaram níveis significativamente reduzidos de flavonóis nas cascas. Esses resultados sugerem que a arquitetura da planta interfere no microclima (como exposição solar e sombreamento), bem como na alocação de recursos metabólicos entre crescimento estrutural e síntese de metabólitos secundários como flavonoides.

Plantas mais altas e com maior número de cladódios, observadas nos tratamentos com adubações mais elevadas (especialmente V3SS e V4SS), apresentaram frutos com teores superiores de antocianinas, compostos fenólicos totais e vitamina C, conforme

evidenciado nos *boxplots* da (Figura 5). Por outro lado, o teor de flavonoides nos frutos mostrou tendência inversa: foi menor nos tratamentos com maior desenvolvimento vegetativo, conforme mostrado na Figura 5. Em contrapartida, os *boxplots* evidenciam que os tratamentos com menor adubação (V0CS e V0SS) e/ou com sombreamento parcial apresentam menor acúmulo desses compostos.

Esses resultados sugerem que, nas condições testadas, a limitação tanto nutricional quanto luminosa comprometeu a ativação de rotas metabólicas envolvidas na biossíntese de compostos funcionais. A carência de nutrientes essenciais, em especial nitrogênio, fósforo e potássio, pode restringir processos bioquímicos fundamentais, como a produção de precursores fenólicos, reduzindo o aporte necessário à formação de flavonoides, taninos e antocianinas (Coelho *et al*., 2024). Simultaneamente, a restrição luminosa em ambientes sombreados pode atenuar a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS), que atuam como sinalizadores da expressão de genes relacionados à produção de antioxidantes (Ortiz*et al*., 2020). Assim, ambientes menos irradiados podem reduzir o estresse oxidativo e, dessa forma, a necessidade de resposta antioxidante endógena, culminando em menor acúmulo desses compostos nos frutos. Vale destacar que, embora o sombreamento moderado possa ser benéfico sob condições de radiação excessiva ou temperaturas extremas, sua eficácia depende do equilíbrio com a disponibilidade nutricional e do estágio fenológico da planta (Huang *et al*., 2024). Dessa forma, os resultados obtidos indicam que, para maximizar a síntese de metabólitos bioativos na pitaya, é necessário um manejo que promova crescimento vigoroso sem comprometer a exposição solar em níveis críticos. O uso de adubação orgânica equilibrada, associada a técnicas de sombreamento leve e estratégico, pode proporcionar um microclima favorável, otimizando a fotossíntese, o metabolismo secundário e, consequentemente, a qualidade funcional dos frutos.

Frutos com maior teor de carboidratos estão positivamente correlacionados com altos níveis de catalase (CAT) e conteúdo de compostos fenólicos totais nos cladódios, além de participação da ascorbato peroxidase (APX; Tabela 11). Este padrão sugere uma estreita relação entre o estado redox dos cladódios e a qualidade metabólica dos frutos, como observado em estudos de Joshi *et al*. (2020), que apontaram que mecanismos antioxidantes foliares podem modular a qualidade dos frutos em cactáceas. Estudos em *Feijoa sellowiana* revelaram que níveis elevados de antioxidantes enzimáticos como catalase (CAT) e ascorbato peroxidase (APX) estão fortemente associados a maiores concentrações de compostos fenólicos totais. Embora não tenham sido mensurados diretamente em frutas, esses dados

confirmam que tecidos vegetais com maior conteúdo de carbono (especialmente sob a forma de carboidratos) ativam de forma coordenada tanto os sistemas antioxidantes enzimáticos quanto a produção de fenólicos, o que pode ser extrapolado para frutos de cactáceas, como pitaya, especialmente em cladódios que armazenam carboidratos (Wang *et al*., 2024). Frutos caracterizados com maiores concentrações de flavonoides estão associados a níveis mais baixos dessas enzimas antioxidantes nos cladódios (Tabela 11).

A aplicação combinada de altas doses de adubação com radiação plena, especialmente nos tratamentos V2SS, V3SS e V4SS, resultou em elevação significativa da atividade das enzimas antioxidantes APX, CAT e SOD nos cladódios da pitaya. Esse comportamento indica uma resposta eficiente dos mecanismos bioquímicos de defesa ao estresse oxidativo originado pela intensa irradiância. Em condições de alta luminosidade, a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS) estimula a expressão de genes codificadores dessas enzimas, as quais desempenham papel essencial na proteção contra danos oxidativos, convertendo o radical superóxido em $H_2O_2$ (pela SOD) e, posteriormente, em água (pela CAT e APX), conforme relatado por Rocha *et al*. (2020) e corroborado por Wang *et al*. (2024). Em culturas tropicais, como a pitaya, o sombreamento parcial tem sido apontado como alternativa eficaz para reduzir o estresse térmico e a fotoinibição, atenuando a produção de ROS e, por consequência, diminuindo a necessidade de respostas enzimáticas intensas (Morillo-Coronado *et al*., 2020). Por outro lado, quando a planta é exposta à radiação plena em combinação com elevada disponibilidade de nutrientes, ocorre intensificação da atividade metabólica e fotossintética, gerando um ambiente altamente propício à formação de ROS e exigindo um sistema antioxidante mais ativo para manter o equilíbrio redox (Coelho *et al*., 2024). Além disso, a adubação orgânica pode modular positivamente a atividade de enzimas antioxidantes por meio da melhoria do estado nutricional e do equilíbrio fisiológico da planta (Chen *et al*., 2022).

No entanto, práticas integradas de manejo, que aliem adubação orgânica balanceada a sombreamento moderado, podem promover um ambiente mais estável fisiologicamente, favorecendo tanto a expressão controlada das enzimas antioxidantes quanto a acumulação de compostos bioativos nos frutos, otimizando a resiliência da pitaya às condições de estresse ambiental. Apesar dessas respostas fisiológicas serem elevadas nos tratamentos sob alta irradiância e adubação, as correlações canônicas indicaram que Pn, E, ETR, qP, NPQ e Fv/Fm não foram diretamente preditores da produtividade ou da qualidade funcional dos frutos neste estudo. Isso sugere que mecanismos antioxidativos enzimáticos, ativados sob estresse luminoso com nutrição eficiente (APX, CAT e SOD) exercem maior influência sobre o

desempenho bioquímico.

A adubação orgânica combinada com radiação plena, especialmente nos tratamentos V3SS e V4SS (Figura 6), promoveu elevados valores de taxa fotossintética líquida (Pn), condutância estomática, transpiração (E), fotossíntese efetiva (ETR), além de altos valores de *quenching* fotoquímico (qP) e baixos de *quenching* não fotoquímico (NPQ), apesar de haver uma ligeira redução do Fv/Fm no V4SS, sugerindo leve efeito de fotoinibição iniciando (Figura 6). Esses achados estão em consonância com Ma *et al*. (2022), que verificaram em pitaya que a combinação de disponibilidade adequada de nutrientes com alta irradiância aumenta significativamente a Pn, gs e a eficiência fotossintética geral.

Em contraste, o sombreamento reduziu a temperatura foliar (Tleaf) e mitigou o estresse térmico, conforme Ferreira *et al*. (2023), mas podem reduzir Pn e ETR quando comparados com pleno sol. Experimentações com pitaya-vermelha sob sombra de 35 % revelaram melhor eficiência no uso da água e crescimento vegetativo, embora sombreamento de 50 % já limite Pn e assimilação de $CO_2$, reduzindo queimaduras e favorecendo a pigmentação (Almeida *et al*., 2018). Além disso, Shah *et al*. (2023) destacam que a adubação orgânica em pitaya enfatiza acúmulo de compostos fenólicos e betalaínas, associados à capacidade antioxidante. Por outro lado, condições de sombreamento moderado com nutrição equilibrada tendem a reduzir a geração de espécies reativas de oxigênio (ROS) pela menor intensidade luminosa, o que diminui a ativação de mecanismos antioxidantes enzimáticos, mas favorece o acúmulo de compostos antioxidantes não enzimáticos como betalaínas, antocianinas e vitamina C, contribuindo para a qualidade funcional dos frutos (Trindade *et al*., 2023). Logo, os dados revelam que a interação entre adubação orgânica e radiação plena maximiza a assimilação de $CO_2$ e a produção de biomassa sob forte demanda antioxidante enzimática e risco moderado de fotoinibição, ao passo que o sombreamento leve aliado à nutrição adequada proporciona microclimas mais amenos, menor estresse térmico e acúmulo de compostos bioativos sem perda drástica de produtividade. Esses achados indicam que, no cultivo da pitaya, estratégias integradas que harmonizem radiação controlada e nutrição orgânica eficiente são essenciais para maximizar o uso desses mecanismos fisiológicos: promove-se eficiência fotossintética e defesa redox por enzimas antioxidantes sob plena luz ou estimula-se a acumulação de compostos funcionais sob sombreamento leve.

Maiores teores de carboidratos nos frutos estão positivamente associados ao aumento dos carboidratos e proteínas nos cladódios (Tabelas 5 e 10). Os cladódios atuam como importantes órgãos de reserva e reguladores metabólicos no desenvolvimento dos frutos. Silva *et al*. (2014) evidenciaram que maiores teores de carboidratos nos frutos de palma forrageira

estão positivamente associados ao aumento dos carboidratos e proteínas nos cladódios, ressaltando a função dos cladódios como fonte de assimilados essenciais. Mendes-Rabelo *et al*. (2020) destacaram que os cladódios mobilizam reservas metabólicas para sustentar o crescimento e a maturação dos frutos em plantas de cactáceas. Além disso, Salles (2022) destacou a importância do transporte eficiente de carboidratos dos órgãos de reserva para o desenvolvimento frutífero, consolidando o papel central dos cladódios nesse processo. Segundo Menezez *et al*. (2020), além de fornecerem energia, os cladódios atuam na regulação da síntese de açúcares nos frutos por meio da ativação do fator de transcrição HpWRKY3, que regula genes essenciais no metabolismo da sacarose (HpINV2 e HpSuSy1), o que favorece o acúmulo de sacarose, glicose e frutose na polpa. Além disso, os carboidratos e proteínas nos cladódios aumentaram proporcionalmente à adubação, impactando positivamente a qualidade dos frutos, sendo os tratamentos V3SS e V4SS os mais promissores. Em suculentas como *Opuntia*, magnésio (Mg) advindo da adubação orgânica se mantém constante nos cladódios e é exportado para os frutos, sinalizando sua relevância na mobilização de assimilados (Carmo *et al*., 2022). Jesus *et al*. (2020) demonstram que o boro, por meio do fortalecimento das paredes celulares e regulação de transportadores específicos, melhora o transporte de nutrientes, favorecendo a alocação de biomassa em órgãos-alvo como frutos, reforçando o papel dos cladódios como fonte de assimilados. Isso se reflete na melhoria dos parâmetros físico-químicos, como aumento do pH, redução da acidez e elevação dos SST, indicadores fundamentais de qualidade sensorial e comercial, como já relatado em outros trabalhos recentes com pitaya (Mamphogoro *et al*., 2023).

## 6 CONCLUSÕES

Fatores morfológicos da planta como a altura, número de frutos e de cladódios são os principais determinantes da produtividade em relação à massa fresca dos frutos. Plantas com menor quantidade de frutos priorizam o crescimento de frutos maiores, especialmente em comprimento, característica valorizada comercialmente. Frutos mais alongados e com maior volume de massa fresca apresentaram maiores concentrações de compostos fenólicos totais e vitamina C, sendo o teor de compostos antioxidantes um critério importante para seleção varietal. Frutos arredondados, por outro lado, apresentaram maior densidade celular e maior concentração de flavonoides e proteínas.

Cladódios com grandes quantidades de carboidratos e proteínas e com alta atividade de enzimas antioxidantes (CAT, SOD e APX) deram origem a frutos com maior volume de carboidratos. Embora variáveis como trocas gasosas e fluorescência da clorofila contribuam para o desempenho fotossintético, elas não foram preditoras diretas da produtividade ou qualidade bioquímica dos frutos neste estudo, ressaltando o protagonismo da nutrição e do microclima na modulação metabólica da cultura.

Os tratamentos que combinaram doses mais elevadas de adubação orgânica com radiação plena (B4SS, V3SS e V4SS) resultaram em plantas com maior vigor vegetativo, atividade antioxidante intensificada nos cladódios e frutos com teores superiores de compostos bioativos. Por outro lado, condições de sombreamento excessivo fornecido pelo capim elefante BRS Capiaçú e adubação insuficiente comprometeram a síntese de antioxidantes e o acúmulo de carbono, evidenciando limitação da eficiência metabólica em ambientes menos favoráveis.

Os achados deste trabalho demonstram que a sinergia entre adubação orgânica eficiente e níveis controlados de exposição solar não apenas potencializa o rendimento e a qualidade da pitaya, como também contribui para um modelo de produção mais sustentável. Ao agregarem valor nutricional e funcional à cadeia produtiva, tais estratégias fortalecem a viabilidade econômica e ecológica do cultivo da pitaya no semiárido, incentivando práticas agrícolas que conciliem produtividade, saúde do solo e conservação ambiental.

# REFERÊNCIAS


AGROMAIS. **Oeste da Bahia se destaca na colheita de pitaya com até 15 toneladas por safra**. Agromais, 2024. Disponível em: https://agromais.com.br (https://agromais.com.br). Acesso em: 29 jul. 2025.

ALI, S. *et al*. Effects of rhizospheric microbes, growth regulators and biochar in modulating antioxidant machinery of plants under stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 215, p. 105229, 2024.

ALMEIDA, E. I. B. *et al*. Growth and gas exchanges of red pitaya under different shading conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 3, p. 1-8, 2018.

ALVES, D. A. *et al*. Productive potential and quality of pitaya with nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e01882, 2021.

A NOTÍCIA DO VALE. **Produção de pitaya avança em Juazeiro e atrai novos mercados**. A Notícia do Vale, Juazeiro, 2025. Disponível em: [https://anoticiadovale.com.br](https://anoticiadovale.com.br). Acesso em: 29 jul. 2025.

ARAÚJO JÚNIOR, G. do N. *et al*. The association between morphological characteristics and yield in forage cactus clones varies according to water regimes: a principal component analysis. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 24, p. 83-95, dez. 2022.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. *et al*. Productivity, chemical composition and economic benefits of the use of irrigation in forage cactus under regulated deficit irrigation in a semiarid environment. **Bragantia**, v. 80, e1221, 2021.

ARIVALAGAN, M. *et al*. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). **Food Chemistry**, v. 353, p. 1-11, 2021.

BARBOSA, M. L. *et al*. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 9, p. 600–605, 2017a.

BARBOSA, M. L. *et al*. Meteorological variables and morphological characteristics influencing the evapotranspiration of forage cactus. **Revista Ceres**, v. 64, p. 465–475, 2017b.

BARBOSA, M. L. *et al*. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 180–190, 2018.

BEZERRA, A. C. *et al*. Monitoramento espaço-temporal da detecção de mudanças em vegetação de Caatinga por sensoriamento remoto no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 286-301, 2020.

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**, New York, v. 72, p. 248, 254, 1976.

BRAND-WILLIAMS, Wendy; CUVELIER, Marie-Elisabeth; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food science and Technology**, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.

CARMO, E. P. *et al*. Influence of organic fertilization on the initial growth of red pitaya (*Hylocereus monacanthus*). **Acta Horticulturae**, v. 1343, p. 245–250, 2022.

CHANDNI, V. M. *et al*. Dragon fruit (Kamalam): An excellent exotic fruit crop of India. **The Pharma Innovation**, v. 12, n. 1, p. 115–123, 2023.

CHÁVEZ-ALEJO, N. *et al*. Shade improves growth, photosynthetic performance, production and postharvest quality in red pitahaya (*Hylocereus costaricensis*). **Scientia Horticulturae**, v. 288, p. 110396, 2021.

CHEN, L. *et al*. Co-application of biochar and organic fertilizer promotes the yield and quality of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) by improving soil properties. **Chemosphere**, v. 294, 2022.

CHIEN, Y. C.; CHANG, J. C. Net houses effects on microclimate, production, and plant protection of white-fleshed pitaya. **American Society for Horticultural Science**, v. 54, n. 4, p. 692–700, 2019.

COELHO, Vinicius Serafim *et al*. The Profile of Phenolic Compounds Identified in Pitaya Fruits, Health Effects, and Food Applications: An Integrative Review. **Plants**, v. 13, n. 21, p. 3020, 2024.

CONECTA REGIONAL. **Produção de pitaya cresce no Nordeste e se consolida como alternativa de renda para pequenos produtores**. Conecta Regional, 2025. Disponível em: [https://conectaregional.com.br](https://conectaregional.com.br). Acesso em: 29 jul. 2025.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 35, n. 3, p. 271, 276, 2013.

CRUZ, G. M. da *et al*. Morfofisiologia e produção do capim BRS Tamani em sistema silvipastoril. **Agroforestry Systems**, v. 98, 2024.

DEV, R. *et al*. Genetic variability, characters association and principal component study for morphological and fodder quality of *Opuntia* and *Nopalea* sp. in India. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 71, p. 2297–2310, 2024.

DUARTE, M. H. *et al*. Quality of pitaya (*Hylocereus undatus*) submitted to organic fertilization and stored under refrigeration. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 20, p. 1–11, 2017.

DUBOIS, M. *et al*. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, 1956.

EHRENBERGEROVÁ, L. *et al*. Does shade impact coffee yield, tree trunk, and soil moisture on *Coffea canephora* plantations in Mondulkiri, Cambodia? **Sustainability**, v. 13, n. 24, p. 1–17, 2021.

ELDEEN, I. S. *et al*. Regulation of pro-inflammatory enzymes by the dragon fruits from *Hylocereus undatus* (Haworth) and squalene – its major volatile constituents. **Pharmacognosy Magazine**, supl., v. 16, ed. 68, p. 81–86, 2020.

EMBRAPA. BRS Capiaçu e BRS Kurumi: cultivo e uso. PEREIRA, A. V. *et al*. (Autores). Brasília, DF: Embrapa, 2021b.

EMBRAPA. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): sistema produtivo de cactos trepadeiras. QUEIROGA, V. de P. *et al*. (org.). 1. ed. Campina Grande: AREPB, 2021a.

EMBRAPA. Pitaya: uma alternativa frutífera. SANTOS, D. N.; PIO, L. A. S.; FALEIRO, F. G. (Editores técnicos). Brasília: ProImpress, 2022.

FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V. **Pitayas**: atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação na Embrapa Cerrados. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 72 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 374).

FERNÁNDEZ, V., BROWN, P. H. From plant surface to plant metabolism: The regulation and function of boron transporters. **Plant Science**, 205-206, 78-85, 2013.

FERNANDES, M. R**.** *et al*. Effects of fertilization on soil ecological stoichiometry and fruit quality in pitaya. **Scientific Reports**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 1–13, 2024.

FERREIRA, Vanessa Cosme *et al*. An updated review of recent applications and future perspectives on the sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) by-products. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, v. 33, p. 101070, 2023.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (org.). **Anthocyanins as food colors**. New York: Academic Press, 1982. p. 181–207.

FREIRE, J. L. *et al*. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3893–3900, 2018.

FRÓES JÚNIOR, P. S. M.; CARDOSO, N. R. P.; REBELLO, F. K.; HOMMA, A. K. O.; LOPES, M. L. B. Aspectos da produção, comercialização e desenvolvimento da cultura da pitaya no estado do Pará. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 16, n. 29, p. 264–279, 2019.

GARCIA-CRUZ, L. *et al*. Shelf life of pitaya *Stenocereus pruinosus* Otto ex Pfeiff) Buxb. fruit affected by temperature and guar gum, beeswax, oleic acid, and thyme essential oil coatings. **Acta Agrícola y Pecuaria**, v. 7, n. 1, p. 1–12, 2021.

GONÇALVES, D. V. M.; ROCHA, S. M.; SANTOS, G. R. *et al*. Organic fertilization improves soil microbial activity and enhances fruit quality in tropical crops. **Brazilian Journal of Biology**, 83, e247831, 2023.

GUIMARÃES, R. R. C.; BARRADAS, J. O.; SILVA, R. T. L.; MOREIRA, W. K. O.; SOUZA, S. K. A. Growth of pitaya seedlings according to the type of substrate and the frequency of irrigation. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 68, n. 4, p. 276-284, 2021.

GUINÉ, R P.F; SOUTINHO, S; GONÇALVES, F. J. Phenolic compounds and antioxidant activity in red fruits produced in organic farming. **Croatian Journal of Food Science and Technology**, v. 6, n. 1, p. 15-26, 2014.

HASSAN, S. *et al*. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy**, v. 105, p. 104–110, 2019.

HAVIR, E. A.; McHALE, N. A. Biochemical and Developmental Characterization of Multiple Forms of Catalase in Tobacco Leaves. **Plant Physiology**, v. 84, p. 450-455, 1987.

HERAWATI, N. *et al*. Organic fertilizers increase yield of dragon fruit in Western Lombok, Indonesia. **Advances in Biological Sciences Research**, v. 13, p. 314–317, 2021.

HUANG, W. T.; ZHENG, Z. C.; HUA, D.; CHEN, X. F.; ZHANG, J.; CHEN, H. H.; YE, X.; GUO, J.-X.; YANG, L. T.; CHEN, L. S. Adaptive responses of carbon and nitrogen metabolisms to nitrogen-deficiency in *Citrus sinensis* seedlings. **BMC Plant Biology**, [S.l.], v. 22, p. 370, 2022.

HUANG, Miao; ZHAO, Jin. Recent advances in postharvest storage and preservation technology of pitaya (dragon fruit). **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 99, n. 2, p. 115-129, 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

JESUS, L. M. de *et al*. Effect of mixed organic and inorganic fertilizers on growth, leaf macronutrient contents and yield of pitaya (*Hylocereus undatus*) under field conditions. **Colloquium Agrariae**, v. 16, n. 2, p. 52–61, 2020.

JESUS, L. M. de *et al*. Effect of mixed organic and inorganic fertilizers on growth, leaf macronutrient contents and yield of pitaya (*Hylocereus undatus*) under field conditions. **Colloquium Agrariae**, v. 17, n. 6, p. 22–36, 2021.

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

JIANG, Haitao *et al*. Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (Hylocereus spp.) peels: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 199-217, 2021.

JOSHI, Monica; PRABHAKAR, Bala. Phytoconstituents and pharmaco-therapeutic benefits of pitaya: A wonder fruit. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 7, p. e13260, 2020.

KUMAR, S. B.; ISSAC, R.; PRABHA, M. L. Functional and health promoting bioactivities of Dragon fruit. **Drug Invention Today**, v. 10, n. 3, p. 3307–3310, 2018.

LAZCANO, C.; ZHU-BARKER, X.; DECOCK, C. Effects of Organic Fertilizers on the Soil Microorganisms Responsible for $N_2O$ Emissions: A Review. **Microorganisms**, Basel, v. 9, n. 5, p. 1-18, 2021.

LICHTHENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In: PACKER, L.; DOUCE, R. (org.). **Meth. Enzimol.**, 148, 350-382, 1987.

LIVERA-MUÑOZ, Manuel *et al*. Parthenocarpic cactus pears (*Opuntia* spp.) with edible sweet peel and long shelf life. **Horticulturae**, v. 10, n. 1, p. 39, 2023.

LONE, A. B. *et al*. Shading levels in the development of dragon fruit (pitaya) nurseries. **Agronomy Science and Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 8–13, 2018.

LOPES, J. C. *et al.* Accumulation and export of nutrients in cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*) under different managements in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 47, 2018.

LUCENA, L. R. R. de *et al*. Characterization of *Nopalea cochenillifera* clones using linear dimensions and multivariate analysis. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 43, n. 1, 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.

MA, Q.; LIU, S.; WANG, H.; FENG, X. Effect of light intensity and nitrogen fertilization on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activity in *Hylocereus undatus*. **Scientia Horticulturae**, 298, 111012, 2022.

MAGRI, A.; ADILETTA, G.; PETRICCIONE, M. Evaluation of antioxidant systems and ascorbate-glutathione cycle in feijoa edible flowers at different flowering stages. **Foods**, [S. l.], v. 9, n. 1, p. 95, 2020.

MAMPHOGORO, M. *et al*. Phenotypic diversity of morphological traits of pitahaya (*Hylocereus* spp.) and its agronomic potential in the Amazonas region, Peru. **Agronomy**, v. 14, n. 11, p. 1968, 2023.

MANJA, K.; AOUN, M. The use of nets for tree fruit crops and their impact on the production: a review. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 110–122, 2019.

MARTÍNEZ-LÜSCHER, J. *et al*. Flavonol profile is a reliable indicator to assess canopy architecture and the exposure of red wine grapes to solar radiation. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, p. 10–15, 2019.

MATOS, L. V. *et al*. Soil attributes and the quality and yield of 'Gigante' cactus pear in agroecosystems of the semiarid region of Bahia. **Journal of Arid Environments**, v. 185, 104325, 2020.

MENDES-RABELO, J. *et al*. Potassium fertilization in the quality improvement and centesimal composition of pitaya. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, n. 9, p. 658–665, 2020.

MENEZES, D. J. C. *et al*. Partição de assimilados e crescimento de frutos em pitaya. **Acta Horticulturae**, v. 1290, p. 127–134, 2020.

MDITSHWA, A.; MAGWAZA, L. S.; TESFAY, S. Z. Shade netting on subtropical fruit: effect on environmental conditions, tree physiology and fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 256, p. 1–13, 2019.

MOHAWESH, O. *et al*. Effect of colored shading nets on the growth and water use efficiency of sweet pepper grown under semi-arid conditions. **HortTechnology**, v. 32, n. 1, p. 21–27, 2022.

MORALES-CASTELLANOS, R. *et al*. *Effect of light regimes on physiological responses and secondary metabolites in dragon fruit (Hylocereus spp.)*. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 240, p. 112653, 2023.

MOREIRA, R. A. *et al*. Produtividade e teores de nutrientes em cladódios de pitaya vermelha utilizando-se adubação orgânica e granulado bioclástico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, p. 714–719, 2012a.

MORILLO-CORONADO, A. C. *et al*. Phenotypic diversity of morphological characteristics of pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) germplasm in Colombia. **Plants**, v. 10, n. 11, art. 2255, 2021.

MUAS, I. *et al*. Pengaruh pemberian pupuk organik terhadap pertumbuhan dan produksi buah naga. **Jurnal Hortikultura Indonesia**, v. 30, n. 1, p. 21–28, 2020.

MUNIZ, J. P. O. *et al*. Complementary bee pollination maximizes yield and fruit quality in two species of selfpollinating pitaya. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, p. e20207106, 2020.

NAKANO, Y.; ASADA, K.Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v. 22, p. 867-880, 1981.

NEDER, D. G. *et al*. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 203–207, 2013.

NIE, Q. *et al*. Physiological and molecular analysis of pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) reveal up-regulation of secondary metabolites, nitric oxide, antioxidant defense system, and expression of responsive genes under low-temperature stress by the pre-treatment of hydrogen peroxide. **Plant Physiology and Biochemistry**, 2024.

OLIVEIRA, L. A., SILVA, M. E., PEREIRA, A. A. C., *et al*. Photosynthetic performance and stress indicators in pitaya under different light intensities. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 43, n. 1, e-149, 2021.

OLIVEIRA, M. M. T. de *et al*. Performance of *Hylocereus* (*Cactaceae*) species and interspecific hybrids under high-temperature stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 153, p. 30–39, 2021b.

OLIVEIRA, M. M. T. de *et al*. Grafting in *Hylocereus* (*Cactaceae*) as a tool for strengthening tolerance to high temperature stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 160, p. 94–105, 2021c.

OLIVEIRA, M. M. T.; TEL-ZUR, N. Cactus pear and pitaya: fruit production and orchard management. **Acta Horticulturae**, v. 1343, p. 343–354, 2022.

RAMOS, J. A. *et al*. Stability of bioactive compounds in minimally processed beet according to the cooking methods. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 643–646, 2017.

RAVEH, E. *et al*. Shade improves growth, photosynthetic performance, production and fruit quality of red pitaya (*Hylocereus costaricensis*). **Scientia Horticulturae**, v. 281, 2021.

REZA, A. *et al*. Growth and yield of dragon fruit in Aonla based multistoried fruit production model. **European Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 4, n. 5, p. 134–141, 2022.

ROCHA, L. J. F. G. *et al*. 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.

RODRIGUES, L. G. *et al*. Influência da sombra e do sombreamento natural sobre o capim Mombaça em sistemas silvipastoris. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, v. 10, n. 1, p. 45–55, 2024.

RODRÍGUEZ-FÉLIX, A. *et al*. Pitaya (*Hylocereus* spp.): A short review on its physiology, cultivation, health benefits, and potential for the food industry. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 8, p. 2051–2059, 2019.

SALES, M. F. L. *et al*. Physiological changes in pitayas subjected to different fruiting intensities. **Scientia Horticulturae**, v. 292, 2022.

SÁNCHEZ-RANGEL, Juan Carlos *et al*. The Folin–Ciocalteu assay revisited: improvement of its specificity for total phenolic content determination. **Analytical methods**, v. 5, n. 21, p. 5990-5999, 2013.

SANTOS, M. V. F. dos *et al*. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 100–108, 2014.

SANTOS-PELAEZ, J. C. *et al*. Phenotypic diversity of morphological traits of pitahaya (*Hylocereus* spp.) and its agronomic potential in the Amazonas region, Peru. **Agriculture**, v. 14, n. 11, p. 1968, 2024.

SAPELLI, Karla Siebert; *et al*. Conservação pós-colheita de pêssegos com aplicação de revestimentos aditivados de extrato de erva-mate. **Revista Brasileira de Tecnologia de Alimentos**, v. 23, p. e2019044, 2020.

SHAH, S. Z. A., ALI, S., MURTAZA, G., *et al*. Potential of Organic Fertilizers to Enhance Nutritional Quality and Antioxidant Defense in *Hylocereus* spp.: A Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 18, 13986, 2023.

SARMENTO, J. D. A. *et al*. Comportamento pós-colheita e compostos bioativos da pitaia vermelha (*Hylocereus polyrhizus*) sob conservação ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 7, e-289648, jul. 2025.

SIBUT, L. *et al*. Yield capacity of six superior pitaya genotypes under edaphoclimatic conditions of the Federal District. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 45, e-025, 2023.

SILVA, N.H. *et al*. Estudo dos carboidratos presentes nos cladódios de Opuntia ficus-indica (palma forrageira), de acordo com sua idade e sazonalidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 933-939, 2014.

SILVA, A. S. *et al*. Trail analysis under multicollinearity of *Nopalea cochenillifera* in annual and biennial harvest. **Agrarian Journal**, v. 14, n. 52, p. 256–263, 2021.

SILVA, A. R. *et al*. Correlations and track analysis for morphoagronomic descriptors in pedigree and parental lines of castor bean. **Ciência Rural**, v. 47, p. 1–7, 2017.

SILVA, A. R. *et al*. Organic fertilization enhances antioxidant defense and quality of dragon fruit under abiotic stress. **Scientia Agricola**, v. 80, e20220091, 2023.

SILVA, J. G. P. da *et al*. Propagation technology of pitaya cultivars through cuttings. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 16, p. 1–9, 2022.

SILVA, G. F.; OLIVEIRA, J. R.; SANTOS, M. F. Mineral composition of *Opuntia atropes* at different phenological stages. **Acta Horticulturae**, 2022.

SILVA, T. G. F. *et al*. Growth and productivity of cactus forage clones in semiarid and relationship with meteorological variables. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 10–18, 2015.

SOUSA, G. G. de *et al*. Effect of saline water and shading on dragon fruit ('Pitaya') seedling growth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental – Agriambi**, v. 25, n. 8, p. 547–552, 2021.

TEL-ZUR, N. Vine cacti (*Hylocereus* species): an emerging fruit crop. **Italus Hortus**, v. 24, n. 2, p. 19–24, 2017.

TRINDADE, Ana Rita *et al*. Pitaya as a new alternative crop for iberian peninsula: biology and edaphoclimatic requirements. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3212, 2023.

TORRES, J. A. *et al*. Optimal areas and climate change effects on dragon fruit (*Hylocereus* spp.) cultivation in Mesoamerica. **The Journal of Agricultural Science**, v. 161, e30, 2023.

TRIVELLINI, A. *et al*. Pitaya, an attractive alternative crop for Mediterranean region. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1–19, 2020.

WANG, J. *et al*. Enzymatic antioxidant response in plants under abiotic stress: A review. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 806627, 2022.

WANG, Xiaogang *et al*. Advances in the understanding of postharvest physiological changes and the storage and preservation of pitaya. **Foods**, v. 13, n. 9, p. 1307, 2024.

XUE, J. *et al*. Contribution of anthocyanin pathways to fruit flesh coloration in pitayas. **BMC Plant Biology**, [S.l.], v. 20, n. 1, p. 1–15, 2020.

YAHIA, E. M. *et al*. Preharvest factors affecting postharvest quality. In: YAHIA, E. M. (org.). **Postharvest technology of perishable horticultural commodities**. Elsevier, 2019. p. 99–128.

YUAN, Y. *et al*. Integrated transcriptome and metabolome analyses reveal the role of phenylpropanoid biosynthesis in dragon fruit (Hylocereus undatus) under nitrogen deficiency. **BMC Plant Biology**, v. 23, n. 1, p. 1-17, 2023.

YU-CHUN, C.; CHANG, J. C. High temperature suppresses fruit/seed set and weight, and cladode regreening in red-fleshed 'Da Hong' pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) under controlled conditions. **HortScience**, v. 55, n. 8, p. 1259–1264, 2020.

ZHANG, X. *et al*. Vermicompost application enhances soil health and plant physiological and antioxidant defense to conferring heavy metals tolerance in fragrant rice. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [S.l.], v. 8, p. 1418554, 2024.

ZHENG, X. *et al*. Light-regulated biosynthesis of flavonoids and anthocyanins in horticultural crops: Signaling pathways and transcriptional regulation. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 186, p. 10–22, 2022.

ZITHA, M. *et al*. Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 295, p. 110841, 2022.

ZHOU, Y., LIU, L., CHEN, S., *et al*. Shading reduces heat stress and improves fruit quality in dragon fruit *(Hylocereus spp.)* under high-temperature conditions. **Horticultural Plant Journal**, v. 7, n. 5, p. 399–408, 2021.