UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS PROFESSORA CINOBELINA ELVAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS

THAÍS SANTIAGO DE SOUSA

NITROGÊNIO COMO MODULADOR DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS NO CRESCIMENTO INICIAL DA PITAIA

Bom Jesus - PI
2024

THAÍS SANTIAGO DE SOUSA

NITROGÊNIO COMO MODULADOR DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS NO CRESCIMENTO INICIAL DA PITAIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - PPGCA, Campus Professora Cinobelina Elvas - CPCE, da Universidade Federal do Piauí - UFPI, na área de concentração Produção Vegetal como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior

Bom Jesus - **PI**

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Campus Professora Cinobelina Elvas Serviço de Processamento Técnico

S725n Sousa, Thaís Santiago de.
Nitrogênio como modulador da eficiência nutricional e produção de ácidos orgânicos no crescimento inicial da pitaia./ Thaís Santiago de Sousa. – 2024.
40 f.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Campus Professora Cinobelina Elvas, Programa de Pós- graduação em Ciências Agrárias, Bom Jesus-PI, 2024.
Orientação: “Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior”.

1. Plantas-nutrição. 2. Pitaia-fruta. 3. Sintomatologia. 4. Ácidos orgânicos. I. Silva Júnior, Gabriel Barbosa da. II. Sousa, Thaís Santiago de. III. Título.

CDD 581.1335

Elaborado por Sérvulo Fernandes da Silva Neto – CRB-15/603

THAÍS SANTIAGO DE SOUSA

NITROGÊNIO COMO MODULADOR DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL E PRODUÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS NO CRESCIMENTO INICIAL DA PITAIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, do Campus Professora Cinobelina Elvas, da Universidade Federal do Piauí, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias.
Área de concentração: Produção Vegetal.
Linha de pesquisa: Propagação e manejo cultural de plantas

Aprovado em 23 de fevereiro 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br GABRIEL BARBOSA DA SILVA JUNIOR
Data: 10/05/2024 13:02:17-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____ _____

Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior (UFPI/CPCE)
Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br ELAINE MARTINS DA COSTA
Data: 10/05/2024 12:30:43-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Elaine Martins da costa (UFPI/CPCE)
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
gov.br RODRIGO FONSECA DA SILVA
Data: 10/05/2024 09:41:32-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Rodrigo Fonseca da Silva (UFPI/CPCE)
Examinador Interno

Documento assinado digitalmente
gov.br Alexson Filgueiras Dutra
Data: 10/05/2024 13:50:35-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr. Alexson Filgueiras Dutra (CAPA/IFTO)
Examinador Externo ao Programa

A Deus, sem o qual nada teria sentido.

Dedico esta dissertação a uma pessoa extraordinária, minha mãe, Sílvia Alves de Sousa. Expresso minha mais profunda gratidão pelo encorajamento constante que serviu como alicerce para sustentar meus sonhos. Nos momentos de dúvida, foi a sua força que me impulsionou a persistir, e nas conquistas, compartilhamos a alegria de cada vitória. Sua dedicação e amor foram fundamentais para o meu sucesso. Seu apoio incansável e fé inabalável moldaram o caminho que percorri até este momento. Cada linha escrita aqui reflete a força que você me ensinou a ter e a determinação que você sempre demonstrou diante dos desafios. Seus sábios conselhos foram as âncoras que me mantiveram firme durante esta jornada acadêmica. Este trabalho é uma homenagem ao seu sacrifício silencioso e à sua crença inabalável no meu potencial. Agradeço por ser a razão por trás das minhas conquistas. Mãe, este é o nosso sucesso compartilhado, e dedico cada conquista a você. Muito obrigada por ser minha maior inspiração e por estar sempre ao meu lado com seu amor incondicional. Com todo o meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desta jornada desafiadora, fui abençoada por contar com o apoio incondicional de pessoas especiais que desempenharam papéis cruciais em minha trajetória acadêmica e pessoal.

À minha irmã Tamires Ester Santiago, expresso minha sincera gratidão por ser minha fonte constante de inspiração e apoio. Seu amor se revelou como um pilar fundamental para o meu sucesso. Sou profundamente grata por tê-la como minha irmã, compartilhando comigo este caminho cheio de desafios e conquistas.

Agradeço igualmente aos meus queridos amigos Jenilton Gomes, Pedro Vítor Cerqueira e Kathully Torres. Sua amizade trouxe leveza aos dias mais desafiadores. A compreensão, paciência e incentivo de vocês foram essenciais para manter meu equilíbrio emocional durante esta jornada. Nos diálogos, risos e superações compartilhados, encontrei um suporte valioso que enriqueceu significativamente minha trajetória.

À minha irmã e aos meus amigos, meu profundo agradecimento por fazerem parte desta jornada, tornando-a não apenas significativa, mas também memorável. Vocês são, verdadeiramente, bênçãos em minha vida.

Ao CPCE/UFPI, pela excelência de ensino e oportunidade de curso o mestrado em Ciências agrárias/Propagação e Manejo Cultural de plantas.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo durante o curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Gabriel Barbosa da Silva Júnior, meu orientador desde 2022, que me ensinou não apenas lições acadêmicas. Aos professores do programa, que nesse curso de mestrado auxiliaram na construção do ensino, muito obrigado nesta jornada.

E a vocês, colegas Felipe Tote, Maria Beatriz Torres, Rômulo Pacheco pela excepcional condução do experimento.

E a todos, que de alguma forma contribuíram pela realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido para testar a hipótese de que a concentração adequada de N em solução nutritiva, promove incrementos na produção de ácidos orgânicos e eficiência nutricional no crescimento inicial de plantas de pitaia. Para isso, objetivou-se avaliar a interação entra a produção de ácidos orgânicos, a eficiência nutricional e a biomassa seca no crescimento inicial de Pitaia em diferentes concentrações de nitrogênio na solução nutritiva. Utilizou-se delineamento experimental de blocos casualizados, com cinco concentrações de nitrogênio (0; 5; 10; 20 e 30 mmol L-1) na espécie de pitaia *Hylocereus polyrhizus*. Os resultados demonstram que a ordem, decrescente, de acúmulo de macronutrientes observado nesse estudo na parte aérea foi Ca>N>Mg>K>P, e nas raízes, Ca>N>Mg>P>K. As limitações no crescimento das plantas ficaram evidenciadas, principalmente na ausência de N na solução, refletindo em um menor acúmulo de biomassa seca nas raízes e parte aérea. Em concentrações de 20 mmol L-1 de nitrogênio, há maior produção de massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e volume de parte aérea (VPA), sendo resultado da maior produção de ácidos orgânicos na fase inicial de crescimento da pitaia.

Palavras-chave: Plantas-nutrição, pitaia-fruta, sintomatologia, ácidos orgânicos.

ABSTRACT

This study was designed to test the hypothesis that the right concentration of N in the nutrient solution promotes increases in the production of organic acids and nutritional efficiency in the initial growth of pitahaya plants. The aim was to evaluate the interaction between organic acid production, nutritional efficiency and dry biomass in the initial growth of pitahaya at different nitrogen concentrations in the nutrient solution. A randomized block experimental design was used, with five nitrogen concentrations (0; 5; 10; 20 and 30 mmol L-1) in the *pitahaya* species *Hylocereus polyrhizus*. The results show that the decreasing order of macronutrient accumulation observed in this study in the aerial part was Ca>N>Mg>K>P, and in the roots, Ca>N>Mg>P>K. The limitations on plant growth were evident, especially in the absence of N in the solution, which resulted in a lower accumulation of dry biomass in the roots and aerial part. At concentrations of 20 mmol L-1 of nitrogen, there is greater production of shoot dry mass (MSPA), total dry mass (MST) and shoot volume (VPA), resulting from greater production of organic acids in the initial phase of dragon fruit growth.

Keywords: Plants-nutrition, pitaya-fruit, symptomatology, malic acid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Umidade relativa do ar média, temperatura máxima, mínima e média registradas na estufa durante o cultivo de plantas de pitaia sob solução nutritiva..... 20

Figura 2 - Acúmulo de N (a), P (b), K (c), Ca (d) e Mg (e) na parte aérea de plantas de pitaia em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva..... 29

Figura 3 - Acúmulo de N (a), P (b), Ca (c) e Mg (d) em raízes de plantas de pitaia em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva..... 29

Figura 4 - Eficiência de utilização de N (a), K (b), Ca (c)e Mg (d) em função das concentrações de nitrogênio em solução nutritiva..... 31

Figura 5 - Ácido málico (a), cítrico (b) e succínico (c) de plantas de pitaia em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva..... 33

Figura 6 - Crescimento de cladódio e raízes de plantas de pitaia em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva..... 34

Figura 7 - Massa seca da parte aérea (a), massa seca de raiz (b), massa seca total (c), volume da parte aérea (d) e comprimento dos cladódios (e) de plantas de pitaia, em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva..... 35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Composição da solução nutritiva, de acordo com as concentrações de nitrogênio..... 22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ca	Cálcio
CAM	Metabolismo ácido das crassuláceas
CCA	Centro de ciências ágrarias
EUN	Eficiência de utilização
Frutagro	Grupo de pesquisa em fruticultura
HPLC	Cromatógrafo líquido de alto desempenho
K	Potássio
Mg	Magnésio
N	Nitrogênio
P	Fósforo
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana de Açúcar
PPGCA	Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias
RIDESA	Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético
UFPI	Universidade Federal do Piauí

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO..... 12
2 REVISÃO DE LITERATURA..... 14
2.1 Aspectos gerais da cultura..... 14
2.2 Exigências nutricionais..... 15
2.3 Metabolismo CAM e as estratégias para o uso eficiente dos nutrientes..... 17
2.4 Adubação nitrogenada para a cultura da pitaia..... 18
3 MATERIAL E MÉTODOS..... 20
3.1 Delineamento experimental..... 21
3.2 Condições de crescimento das mudas..... 21
3.3 Preparo da solução nutritiva..... 22
3.4 Variáveis analisadas..... 23
3.4.1 Crescimento 23
3.4.2 Volume dos cladódios e raízes..... 23
3.4.3 Parâmetros nutricionais..... 23
3.4.4 Ácidos orgânicos..... 24
3.5 Análise estatística..... 25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 26
4.1 Acúmulo de macronutrientes..... 26
4.2 Eficiência de utilização dos macronutrientes em função das concentrações de nitrogênio..... 30
4.3 Ácidos orgânicos..... 32
4.4 Crescimento inicial e conteúdo da biomassa das plantas..... 34
5 CONCLUSÃO..... 36
REFERÊNCIAS..... 37

1 INTRODUÇÃO

As pitaias são um tipo de fruta mundialmente conhecida como Frutas-do-Dragão, e pertencem à família Cactaceae, que inclui cerca de 100 gêneros e 1.500 espécies nativas das Américas (Santos *et al*., 2022). A cultura é uma atividade agrícola que tem ganhado popularidade em diversas regiões devido à crescente demanda por frutas exóticas e saudáveis. Desse modo tem sido uma opção interessante para agricultores que buscam diversificar sua produção e explorar nichos de mercado em constante crescimento.

O crescimento inicial desta cultura é um período crucial que influencia diretamente o desenvolvimento subsequente da planta e a produção final de frutas, portanto para assegurar o êxito no estabelecimento de pomares, é fundamental abordar cuidadosamente o processo de propagação das plantas, podendo ser executado através da semeadura direta ou pela produção de mudas (Modolo, 2015). A obtenção de plantas saudáveis irá assegurar o pleno desenvolvimento, resultando em colheitas produtivas e de elevada qualidade. No contexto da pitaia, a propagação por estaquia destaca-se como uma prática comum e eficaz.

Para atender às exigências do mercado, é necessário monitorar o estado nutricional das plantas durante o cultivo, principalmente em relação aos macronutrientes, pois em concentrações adequadas podem aprimorar a qualidade visual, nutricional e gustativa dos frutos (Cavalcante *et al*., 2019). Porém, a falta de informações sobre o manejo nutricional das plantas é um dos desafios enfrentados (Costa *et al*., 2015).

A produção agrícola em larga escala depende amplamente do uso de fertilizantes minerais (Ogino *et al*., 2021). Todavia, o excesso de fertilizantes pode ser um entrave uma vez que podem aumentar os custos de produção, causar toxicidade, reduzir a produtividade e contribuir para danos ambientais. Por outro lado, a deficiência de macronutrientes pode afetar os processos fisiológicos das plantas, como a absorção e o transporte de nutrientes (Campos *et al*., 2021).

Mais especificamente, em estudo desenvolvido por Pontes (2022) acerca da Sintomatologia e desenvolvimento da pitaia em função da omissão de macronutrientes observou que a omissão de nitrogênio e enxofre causa clorose nos cladódios da base e do ápice de plantas de pitaia vermelha (*H. polyhizus*), respectivamente, sendo

indicativos da deficiência desses nutrientes. A omissão de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg) e enxofre (S) diminuiu o crescimento dos cladódios secundários das plantas de pitaia, refletindo na menor altura de plantas, sendo a deficiência de N a mais severa, pois inibiu o surgimento de novas brotações.

Tais reflexos negativos estão ligados ao papel que o N desempenha no metabolismo, como: absorção ativa de outros nutrientes, participando como componente de enzimas e transportadores nas membranas celulares das raízes. Relacionado isso o N está intimamente ligado à formação de ácidos orgânicos, que desempenham importante papel no metabolismo celular, regulação do pH, armazenamento de energia e fornecimento de compostos intermediários para outras vias metabólicas (Shah *et al*. 2017).

Além de sua função como nutriente, o nitrogênio também influencia a produção de ácidos orgânicos, como ácido cítrico e ácido málico, que são essenciais para conferir sabor e qualidade à fruta. a disponibilidade de nitrogênio pode afetar diretamente a síntese desses ácidos durante o crescimento inicial da pitaia, impactando a disponibilidade e a absorção de nutrientes.

Nesse sentido, a quantidade ideal de N para a cultura da pitaia ainda é pouco conhecida, e os estudos estão voltados basicamente para condições de cultivo em campo e estágios finais do ciclo produção. Por exemplo, Alves *et al*. (2021) observaram que a fertilização nitrogenada pode aumentar a produtividade e a qualidade das frutas em diferentes espécies de pitaia. Em adição, para a espécie *S. megalanthus*, são recomendados 300 g de N por planta para maximizar a produtividade, enquanto para *H. undatus e H. polyrhizus*, as doses variam de 170 a 190 g de N por planta. Logo, dados concretos obtidos pela investigação do uso de solução nutritiva na etapa de crescimento inicial das plantas de pitaia, ainda são incipientes e são particularmente necessários.

Portanto, o presente estudo foi desenvolvido para testar a hipótese de que a concentração adequada de N em solução nutritiva, promove incrementos na produção de ácidos orgânicos e eficiência nutricional no crescimento inicial de plantas de pitaia. Para isso, objetivou-se avaliar a interação entra a produção de ácidos orgânicos, a eficiência nutricional e a biomassa seca no crescimento inicial de pitaia em diferentes concentrações de nitrogênio na solução nutritiva.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura

As pitaias é um tipo de fruta mundialmente conhecida como Dragon Fruits (Frutas-do-Dragão em uma tradução livre). É uma planta do gênero *Hylocereus,* que possuem flores brancas cremosas de hábito liana com rápido crescimento, cujas raízes são, finas e ramificadas com desenvolvimento superficial. Seu caule produz brotos com três costelas (formato triangular) com muitas aréolas contendo 2–5 espinhos curtos (1 - 3 cm) dispostos nas bordas recortadas (Le Bellec; Vaillant; Imbert, 2006), e é morfologicamente classificado como cladódio e tem como características ser suculentos, capazes de realizar fotossíntese e armazenar água e nutrientes. Esses aspectos permitem que a planta sobreviva em condições de baixa pluviosidade, dadas as suas características adaptativas que reduzem a perda de água (Gomes, 2014).

No Brasil, a pitaia é considerada uma fruta exótica, e é altamente valorizada e comercializada em mercados exigentes devido à sua aparência exuberante e ao seu alto valor comercial (Faleiro *et al*., 2021). A pitaia é uma fruta que apresenta diversas propriedades nutracêuticas benéficas para a saúde, como a presença de flavonoides, alto teor de vitaminas do complexo B, fibras, potássio, cálcio, ferro, manganês e zinco (Cordeiro *et al*., 2015). Além disso, é rica em fibras solúveis, que aumentam a sensação de saciedade, melhoram o trânsito intestinal e ajudam a reduzir o colesterol. Com baixo índice glicêmico, 100g da fruta contém apenas 50 calorias (Pio *et al*., 2020).

A fruta é muito valorizada no mercado interno brasileiro, com preços de comercialização elevados, que variam de acordo com as regiões e épocas do ano, alta renda por área cultivada e produção precoce, o que incentiva o cultivo por fruticultores em todo o país. Atualmente, a produção de pitaia está concentrada principalmente na região Sudeste do Brasil, representando cerca de 54,42% da produção nacional, seguida pela região Sul com 33,62% e a região Norte com 10,52%. A planta de pitaia se adapta bem às condições edafoclimáticas da região Sudeste do país, o que a torna a principal produtora de pitaia no Brasil (IBGE, 2017).

Apesar da maior produção de pitaia está concentrada na região Sudeste e Sul do país, o nordeste do Brasil também possui grande potencial para produção de pitaia.

Por ser uma cactácea, apresenta uma característica fisiológica peculiar, o metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que permite a captura do CO_2 durante a noite e mantém os estômatos fechados durante o dia, reduzindo a perda de água por transpiração e garantindo a sobrevivência da planta em regiões quentes e climas severos característicos desta região (Taiz; Zeiger, 2017).

2.2 Exigências nutricionais

O estado nutricional das plantas é função de vários fatores, tais como disponibilidade de água e de nutrientes. A disponibilidade dos nutrientes em quantidade adequados é fundamental para que a planta possa absorver os elementos de maneira equilibrada, atendendo suas demandas naturais (Lima, 2021).

Os elementos químicos essenciais são requeridos pelas plantas, sem os quais as mesmas não conseguem completar seu ciclo de vida. Esse é um dos critérios para caracterizar se esse elemento é um nutriente vegetal, e o outro critério é baseado na exigência, se estar diretamente envolvido no metabolismo da planta e, o terceiro critério, refere-se à função específica, não podendo ser substituído por nenhum outro (Prado, 2020). É fundamental fornecimento adequado dos nutrientes nos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas para que estas expressem seu máximo potencial genético (Lima, 2020).

Dentre as funções desempenhadas pelos macronutrientes, Epstein e Bloom (2006) propuseram uma classificação detalhada quanto as funções dos macronutrientes sendo eles: elementos integrais de compostos orgânicos, como N e S; empregados na aquisição e utilização de energia e para o genoma, como P; estruturalmente associados a parede celular como Ca; compostos integrais de enzimas e outras entidades essenciais do metabolismo como Mg, além daqueles que envolvidos na ativação ou controle das atividade de enzimas como K, Mg e Ca (Prado, 2020).

A produção da pitaia pode ser negativamente afetada por distúrbios nutricionais resultantes da aplicação inadequada. Portanto identificar os sintomas decorrentes da deficiência nutricional pode ajudar a determinar seu efeito no metabolismo da planta, bem como sua interação com outros nutrientes. Isso pode afetar a eficiência de

absorção, uso e transporte desses pela planta, o que pode deixar claro quais nutrientes são mais limitantes para o crescimento da pitaia (Silva *et al*., 2021; Teixeira *et al*., 2021).

Neste sentido, Alves *et al*. (2021) identificaram que a fertilização nitrogenada pode aumentar a produtividade, a qualidade das frutas e o teor de nutrientes dos cladódios de diferentes espécies de pitaia. Estes autores concluíram que a espécie *Selenicereus megalanthus* (pitaia amarela) requer 300 g por planta de N para obter a maior produtividade, enquanto *Hylocereus undatus* e *H. polyrhizus* precisam de 170 a 190 g por planta de N.

Em estudos desenvolvidos com *Hylocereus* foi possível observar que os elementos que mais limitam o desenvolvimento, em ordem de importância: N, P, K e Ca que fazem parte da formação de cladódios e frutos da pitaia (Rodriguez, 2000; Hernandez, 2000).

Em relação a ordem de acúmulo de nutrientes nas raízes da pitaia, Moreira *et al*. (2016) observaram a sequência de nutrientes que é mais requerido em cada parte da planta. Dentre os nutrientes mais acumulados pela cultura, o nitrogênio promove o desenvolvimento de caules e no estímulo do florescimento das plantas, com maior pegamento de frutos.

No estudo realizado por Fernandes *et al*. (2018) foi observado que doses de K_2O entre 106 e 133,3 g por planta no primeiro ano e 200 g por planta no segundo e terceiro anos após o plantio foram eficazes para aumentar a produção e melhorar a qualidade dos frutos de pitaia em condições de campo.

Em relação à interação entre nutrientes, Corrêa *et al*. (2014) estudaram a relação fósforo-zinco no crescimento inicial da pitaia e descobriram que o rendimento máximo da planta ocorreu quando foram aplicados de 60 a 75 mg dm^{-3} de P e de 3,0 a 4,0 mg dm^{-3} de Zn no substrato. Para os teores nutricionais, os valores ideais foram de 4,5 a 6,0 g kg^{-1} de P e 150 mg kg^{-1} de Zn na parte aérea.

Já Moreira *et al*. (2020), avaliando o efeito da adubação fosfatada na pitaia vermelha, constataram que a aplicação de 180 mg dm^{-3} de P_2O_5 promoveu o maior crescimento e incremento dos teores de nutrientes nos cladódios da frutífera.

2.3 Metabolismo CAM e as estratégias para o uso eficiente dos nutrientes

A pitaia é uma fruta pertencente à família Cactaceae que morfologicamente apresentam cutícula grossa, baixa relação superfície-volume, grandes células, vacúolos com maior capacidade de armazenamento de água (suculência) e tamanho estomático reduzido e fisiologicamente, caracterizam-se por apresentarem um tipo específico de metabolismo denominado ácido das crassuláceas, ou simplesmente CAM (Gomes, 2014). O termo ácido se caracteriza por um acúmulo de ácidos orgânicos a noite e consumos destes durante o dia, isto é, as plantas CAM usam a via C_4, porém de forma distinta, pois faz-se uma separação temporal dos eventos (Taiz; Zeiger, 2017)

Os indicadores de eficiência nutricional são utilizados para avaliar a capacidade das plantas em absorver, transportar e utilizar os nutrientes disponíveis (Rozane, 2011). A eficiência de uso se refere à capacidade da planta em utilizar os nutrientes absorvidos e transportados para produzir biomassa. Essa eficiência é influenciada por diversos fatores, como a concentração de nutrientes nas folhas, a eficiência fotossintética da planta, entre outros (Fageria; Baligar, 2005; Prado, 2020)

As plantas com metabolismo CAM frequentemente desenvolvem adaptações para otimizar a absorção de nutrientes em condições de estresse hídrico, como sistemas radiculares mais profundos ou simbiose com microrganismos do solo que facilitam a absorção de nutrientes. a eficiência de uso dos nutrientes e a formação de ácidos orgânicos são aspectos interrelacionados e fundamentais para o crescimento das plantas com metabolismo CAM. Essas adaptações permitem que essas plantas prosperem em ambientes áridos e secos, otimizando a utilização de recursos limitados e mantendo o equilíbrio entre a fotossíntese e a economia de água.

Plantas com alta eficiência de uso são capazes de produzir mais biomassa com a mesma quantidade de nutrientes, o que pode ser importante para a produção de alimentos e para a sustentabilidade da agricultura (Fageria; Baligar, 2005; Prado, 2020). Neste sentido, a partir do estudo de Matos (2021) foi constatado que as plantas de pitaia da espécie *H. polyrhizus* apresentaram maior eficiência na utilização dos macronutrientes N, P, K, Ca, Mg e S em comparação à *H. megalanthus*, com valores que oscilaram de 80% para o P a 91,6% para o S.

2.4 Adubação nitrogenada para a cultura da pitaia

A adição de nutriente ao sistema de produção pode ocorrer por meio da realização de adubações, sendo necessário a adição de adubos quando o solo (reservatório) não conseguir suprir as exigências da cultura, pois os níveis de nutrientes estão inferiores a demanda que a cultura necessita para completar o seu ciclo, com objetivo de se garantir colheitas rentáveis de produtos com qualidade nutritiva ou industrial, com o menor impacto possível ao meio ambiente (Faquin, 2005).

De acordo Marschner (2005) e Malavolta (2006) o conhecimento da dinâmica nutricional da planta, é necessário para compreender o crescimento vegetal e as funções que os nutrientes desempenham no desenvolvimento. O nitrogênio é fundamental para o desenvolvimento e crescimento das plantas. Ele está presente nos aminoácidos, proteínas, vitaminas e clorofilas (Prado, 2020).

A ação do Nitrogênio é estimular a emissão de raízes e brotos mais vigorosos, sendo a maior necessidade de absorção no período de crescimento vegetativo até o pré florescimento da pitaia. Em espécies de pitaia, a deficiência de N, tem sido associada com a susceptibilidade a doenças com agravamento dos sintomas ocasionados por fitopatógenos (Alves, 2018).

Com a realização de um planejamento de adubação adequado para o cultivo, é possível se obter a melhor eficiência da aplicação de N, por meio da sincronização do requerimento de N no período ideal com a realizações de aplicações periódicas de N a cultura durante o período de cultivo, assim, o que é possível pela adubação no plantio e em cobertura, de forma parcelada conforme as necessidades do nutriente no decorrer do ciclo, de acordo com a avaliação do estado de N na planta (Moreira *et al*., 2011).

Entre os primeiros trabalhos com a fertilização mineral nas espécies *H. polyrhizus* e *H. undatus*, nas condições brasileiras, os resultados foram promissores. Para a espécie *H. undatus*, a produtividade alcançada foi de 8,7 t ha^{-1} e, para *H. polyrhizus*, de 7 t ha^{-1}, com a aplicação de 100 g de N, associados a 200 g de K_2O por planta, no terceiro ciclo de produção do pomar (Fernandes *et al*., 2018). Em relação à fertilização nitrogenada, foi observado, na espécie *H. undatus*, que o N tem efeito limitante sobre o crescimento das plantas, influenciando a produção de matéria seca

dos cladódios e das raízes, bem como a emissão de novos cladódios e o comprimento dos cladódios formados (Almeida *et al*., 2014).

De acordo com dados relatados sobre plantas de *H. undatus* cultivadas em Latossolo e adubadas fontes orgânicas, os teores considerados satisfatórios para a produção variaram de 16 g kg^{-1} a 7,6 g kg^{-1} de N e a produtividade de 2,9 t ha^{-1} a 9,4 t ha^{-1} (Moreira *et al*., 2012; Costa *et al*., 2015). As diferenças observadas nestes resultados podem ser relacionadas à idade do pomar, avaliações realizadas no terceiro e no quinto ano após a implantação, destacando-se os teores de N, que estavam menores 7,6 g kg^{-1}, com a maior produtividade alcançada, 9,4 t ha^{-1} (Alves, 2018)

No estudo realizado por Almeida *et al*. (2014), no crescimento inicial da espécie *H. undatus* os rendimentos satisfatórios ocorreram quando os teores de N estavam entre 20 e 25 g kg^{-1} nos cladódios, com a fertilização das plantas com 3 a 4,5 g de N, associados a 1,50 a 2,25 g de K no substrato de cultivo. No trabalho de Fernandes *et al.* (2016), os teores de N variaram de 11,5 g kg^{-1} a 18,7 g kg^{-1} de N, nos cladódios das espécies *H. undatus* e *H. polyzrizus* cultivadas em Latossolo e com produtividade entre 7 t ha^{-1} e 8,7 t ha^{-1}.

Para as espécies de pitaia não existe um padrão que possa ser utilizado para avaliar o estado nutricional no Brasil. Os teores de nutrientes avaliados nos cladódios de plantas adubadas com fontes orgânicas e minerais são variáveis, assim como os dados de produtividade, por falta de uma recomendação de fertilização para o cultivo (Alves, 2018)**.**

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em estufa, na área experimental do Programa de Melhoramento Genético da Cana de Açúcar (PMGCA), ligado à Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) do Centro de Ciências Agrárias/Universidade Federal do Piauí (CCA/UFPI), em Teresina - PI (5º05'21''S e 42º48'07", 72 m de altitude), no período de 150 dias. O clima do município, de acordo com Koppen é classificado como tropical, com temperatura média anual de 28,1 °C (Bastos; Andrade Júnior, 2016).

O estudo foi realizado com a espécie de pitaia vermelha (*Hylocereus polyrhizus*), cultivada em vasos com capacidade de 3 L, preenchidos com areia, fornecendo-se solução nutritiva. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa máxima, média e mínima do ar foram coletados a cada três dias, durante o período experimental utilizando um termohigrômetro digital (Instrutemp®) instalado dentro da estufa (Figura 1). A primeira coleta de dados das plantas foi realizada no momento do plantio, a partir desta, foram realizadas, a cada 15 dias, até completar os 150 dias após o transplantio (DAT).

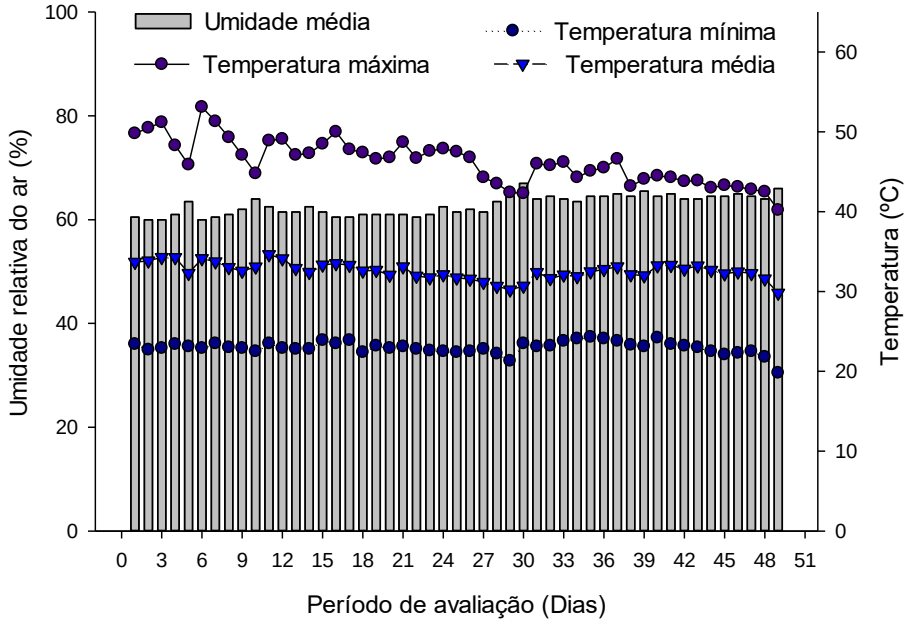


Figura 1 - Umidade relativa do ar média, temperatura máxima, mínima e média registradas na estufa durante o cultivo de plantas de pitaia sob solução nutritiva.

3.1 Delineamento experimental

Utilizou-se do delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, e cinco concentrações de nitrogênio (0; 5; 10; 20 e 30 mmol L^{-1}) na espécie de pitaia *Hylocereus polyrhizus*, sendo que em cada unidade experimental foi composta por duas estacas cultivadas individualmente, totalizando 40 plantas.

3.2 Condições de crescimento das mudas

As mudas da espécie de pitaia vermelha (*H. polyrhizus*) foram produzidas por propagação via assexuada por meio de cladódios de um ano de idade e 30 cm de comprimento que foram retiradas de plantas matrizes do viveiro pertencente ao Frutagro. Os cladódios foram selecionados e padronizados quanto ao tamanho e qualidades fitotécnicas, como aspectos visuais de nutrição e fitossanidade. Posteriormente, foram deixadas durante 8 dias à sombra para que ocorresse a cicatrização dos cortes. Para o crescimento, utilizou-se areia de granulometria média como substrato. Inicialmente, peneirou-se 0,25 m^3 de areia submetida ao processo de lavagem, para remoção do excesso de nutrientes. A areia foi colocada em caixa d'agua de 500 litros, que foi preenchida com água de torneira até a borda. Durante 8 dias, após agitação da areia, a água era renovada até não apresentar mais turbidez ou sujeira. Após esta etapa, a areia foi retirada e distribuída sobre um plástico de polietileno para secagem ao Sol. Posteriormente, foi feito o preenchimento de 40 vasos de polietileno com capacidade de 4,5 L, utilizando a areia previamente lavada, para o plantio dos cladódios na profundidade de 1/3 do tamanho. Logo após o plantio dos cladódios, estas foram irrigadas com a solução nutritiva, conforme os tratamentos (Tabela 1).

3.3 Preparo da solução nutritiva

O preparo das soluções nutritivas adaptadas de Hoagland e Arnon (1950) conforme a Tabela 1. Na composição da solução foi aplicada a fonte de micronutrientes e a fonte de ferro Fe-EDDHMA para redução das interações desse elemento com os demais componentes da solução. Com a solução estoque pronta, foi feita a diluição de acordo com a capacidade dos reservatórios disponíveis, neste caso, foram utilizados galões de polipropileno (20 L), previamente lavados com água e detergente neutro e enxaguados com água deionizada.

Tabela 1 - Composição da solução nutritiva adaptada de Hoagland e Arnon (1950), de acordo com as concentrações de nitrogênio.

Concentração de N (mmol L^{-1})	Fontes dos fertilizantes						
	$Ca(NO_3)_2$	$CaCl_2$	KH_2PO_4	$MgSO_4$	KCl	Micros	Fe-EDDHMA
	---------- mmol L^{-1} ----------						
0	0	30	1	2	5	1	1
5	5	25	1	2	5	1	1
10	10	20	1	2	5	1	1
20	20	10	1	2	5	1	1
30	30	0	1	2	5	1	1

*Micronutrientes utilizados (g L^{-1}): H_3BO_3 = 2,86; $MnCl_2.4H_2O$ = 1,81; $ZnCl_2$ = 0,10; $CuCl_2$ = 0,04; $H_2MoO_4H_2O$ = 0,02 e Fe-EDDHMA = 40,0. ∑ [Ca] = 30 mmol L^{-1}. Adaptado de Hoagland e Arnon (1950).

Posteriormente, os galões foram preenchidos com água deionizada até atingir volume de 15 litros, com base nesse volume, foi adicionado as soluções estoques correspondentes para cada tratamento, de acordo com o indicado na Tabela 1. Ao final, foi feita a medição do pH e para que se mantivesse na faixa ideal de 5,5 a 6,0. Nos casos de divergência dessa faixa, foi adicionado HCl 0,1 N quando o pH estava maior que 6,0 ou NaOH 0,1 N quando o pH estava abaixo de 5,5. Após isso, os galões foram protegidos da luminosidade com sacos pretos de polietileno, para evitar a formação de algas em seu interior, sendo aberto apenas nos momentos de irrigação.

A solução nutritiva começou a ser aplicada no dia 01/03/2022 e as aplicações ocorreram com intervalo de três dias, com volume de 200 mL, até os 30 dias após o transplantio (DAT), 250 mL de 31 até 60 DAT, 300 mL de 61 até 90 DAT, e de 350 mL de 91 até 150 dias, de acordo com o desenvolvimento das plantas, determinado por meio de testes preliminares, conforme Matos (2021).

3.4 Variáveis analisadas

3.4.1 Crescimento

As plantas de pitaia foram monitoradas diariamente quanto a sintomatologia de deficiência nutricional, sendo cultivadas até o aparecimento dos sintomas visuais de deficiência de N. A cada 15 dias foram medidos os comprimentos (cm) dos cladódios (média de todos). O comprimento foi determinado por meio de trena milimétrica, no sentido longitudinal de cada cladódio, a partir da região de inserção da extremidade terminal da estaca.

3.4.2 Volume dos cladódios e raízes

Aos 150 dias do plantio, eliminou-se o substrato do sistema radicular, por meio de água corrente e foi realizada a separação das raízes e da parte aérea das plantas com o uso de tesoura de poda, e em seguida, foram lavados com água da torneira; água com detergente neutro (1,0 mL L^{-1}); ácido clorídrico (3,5 mL L^{-1}) e água destilada, respectivamente.

De forma separada, a parte aérea e raízes foram colocadas em uma proveta, com volume previamente definido. O volume do cladódio e de raízes foi determinado pelo deslocamento da coluna de água. Foi determinado a altura de plantas com auxílio de régua milimetrada.

3.4.3 Parâmetros nutricionais

O material vegetal fresco (parte aérea e raízes) foi seco em estufa de circulação e renovação de ar (Modelo SL – 102) a 65 ± 5 °C, até peso constante, para obtenção

da massa seca da parte aérea e radicular por meio de balança analítica de precisão (Modelo M214Ai, 0,01 g).

O material seco foi moído em moinho tipo Willey e determinado os teores dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), de acordo com a metodologia proposta por Bataglia *et al*. (1983).

Baseado no teor e na massa seca da parte aérea e raízes, foi determinado o acúmulo de cada macronutriente na parte aérea e nas raízes das plantas de pitaia, pelo produto da massa de cada órgão da planta e o teor foliar de cada nutriente. Com esses dados, foi calculadas as eficiências de utilização (EUN) de N, P, K, Ca e Mg, em função das concentrações de N na planta, desenvolvida por Fageria e Baligar (2005): EUN (g^2 mg^2) = (matéria seca total produzida)^2 / (conteúdo total do nutriente na planta)

3.4.4 Ácidos orgânicos

O material vegetal para determinação dos teores de ácidos orgânicos, foi coletado entre as 8 e 10 horas da manhã, selecionando o primeiro cladódio emitido. As amostras foram envoltas em papel alumínio, etiquetadas e armazenadas em câmara fria para evitar a degradação dos ácidos orgânicos. Em seguida o material foi levado para a etapa de liofilização.

No laboratório, as amostras foram maceradas e tomadas 10 g de amostra para 90 mL de água destilada. Foram filtrados 10 mL dessa mistura e adicionado 50 ul de ácido sulfúrico a 50% em tubos. Foram pipetados 2,0 mL da solução e acrescentado 1,0 mL de solução de ácido metafosfórico (20%). Foi colocado em eppendorf, centrifugado na rotação máxima (13.000 rpm) por 15 minutos, filtrado em filtro de seringa PVDF, poro 0,22 µm e colocado a solução da fase móvel em Vial de 1,5.

Após o processamento das amostras, a leitura dos ácidos foi realizada em um Cromatógrafo Líquido de Alto Desempenho (HPLC), modelo SPD-10A VP acoplado ao Detector Ultravioleta (UV) utilizando-se um comprimento de ondas: 210 nm.

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para a normalidade dos resíduos da ANOVA. Atendida a pressuposição da estatística, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), empregando-se o teste F a 5% de probabilidade, e as concentrações de N foram analisadas por meio de regressão polinomial, considerando o valor de R^2 e o nível de significância. Para a análise de dados e para a elaboração das figuras, foi utilizado o software R 4.3.1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Acúmulo de macronutrientes

De acordo com a análise de variância foi observado efeito significativo ($p<0,05$) das concentrações de nitrogênio sobre o acúmulo dos macronutrientes em plantas de pitaia. O acúmulo de macronutrientes na parte aérea e raiz (g por planta) considerando uma ordem decrescente, o acúmulo de macronutrientes observado nesse estudo na parte aérea foi Ca>N>Mg>K>P e nas raízes Ca>N>Mg>P>K diferiu da observada por Moreira *et al*. (2016), que relataram a seguinte ordem na raiz: N > K > Ca > S > P > Mg > Fe > Mn > Zn > B > Cu e, na parte aérea: K > N > Ca > S > Mg > P Mn > Fe > Zn > B > Cu. De acordo com Rozane *et al*. (2011), variações no acúmulo de nutrientes podem ocorrer quando se empregam materiais genéticos e meios de cultivo distintos com variações nos elementos.

Os resultados demonstram que na parte área das plantas de pitaia o acúmulo de N, P, K, Ca e Mg foi justado ao modelo quadrático de regressão (Figura 2). Para o N, a resposta máxima foi de 458,93 g por planta na concentração de 21,55 mmol L^{-1} de N (Figura 2a). De acordo com Luders e Mc Mahon (2006), o nitrogênio é requerido pela pitaia durante toda a fase de crescimento vegetativo, sendo responsável pela emissão de novas gemas do cladódio. Almeida *et al*. (2014) descobriram que o aumento no acúmulo de N em cladódios de pitaia (*Hylocereus undatus*) é induzido pelo aumento das taxas de aplicação de N.

Neste estudo, de maneira geral, a faixa de concentração máxima de N, para promover melhores respostas de acúmulo dos macronutrientes na parte aérea, esteve entre 13 e 21 mmol L^{-1}, valores estes superiores ao recomendado por Hoagland e Arnon (1950), que é 10 mmol L^{-1}. A absorção de N afeta absorção e distribuição de outros elementos e determina o conteúdo dos elementos em diferentes órgãos das plantas (Taiz *et al*., 2017)

O Ca foi nutriente mais acumulado pelos cladódios obtendo uma resposta máxima de 835,35 g por planta na concentração de 17,23 mmol L^{-1}. E em estudo desenvolvido por Lima et. al (2019) avaliando o crescimento e o acúmulo de nutrientes em brotos de pitaia de polpa vermelha e descobriram que os teores de Ca tendem a

aumentar à medida que as plantas envelhecem. O fato de o Ca ter sido o nutriente mais acumulado nos cladódios, atingindo uma resposta máxima em uma concentração específica de nitrogênio, indica sua importância para a fisiologia e a estrutura desses órgãos vegetais.

O P apresentou acúmulo máximo de 1,33 g por planta sob a concentração de 17,34 mmol L^{-1} (Figura 2b); já o máximo acúmulo de K, Ca e Mg se deram nas concentrações de 14,40; 17,23 e 13,69 mmol L^{-1} de N, com respostas máximas de 53,44; 835,45 e 230,23 g por planta (Figura 2c, d, e), demonstrando que o P foi o nutriente menos acumulado, este resultado difere de Lima et. al (2021) em que o P foi o quarto nutriente mais acumulado pelas plantas de pitaia, com taxa máxima de acúmulo de 0,011 g planta $^{-1}$ dia $^{-1}$ aos 300 e 360 DAP.

Entretanto semelhante aos resultados encontrados por Moreira et.al (2016) que encontraram menor acúmulo de P na parte aérea de plantas de polpa branca (0,16 g planta $^{-1}$). Essas diferenças nos padrões de acúmulo de nutrientes entre estudos anteriores e os resultados observados neste estudo sugerem a complexidade da resposta das plantas de pitaia à disponibilidade de nutrientes e às condições de crescimento. Aspectos morfológicos e fisiológicos específicos da espécie, bem como a quantidade de nutrientes disponíveis no solo, podem influenciar significativamente o acúmulo de nutrientes nas plantas.

O nitrogênio pode afetar a proporção relativa de P, K, Ca e Mg nas plantas, influenciando sua disponibilidade e distribuição nos tecidos vegetais. Em que em altas concentrações de nitrogênio podem levar a uma redução na proporção de Ca e Mg em relação ao N. Todavia no presente estudo o acúmulo de Ca e P se deu de maneira mais contrastante, a concentração máxima para promover tais respostas, foi observada na faixa de 17 mmol L^{-1} de N para ambos os nutrientes, demonstrando um efeito claro das exigências da cultura.

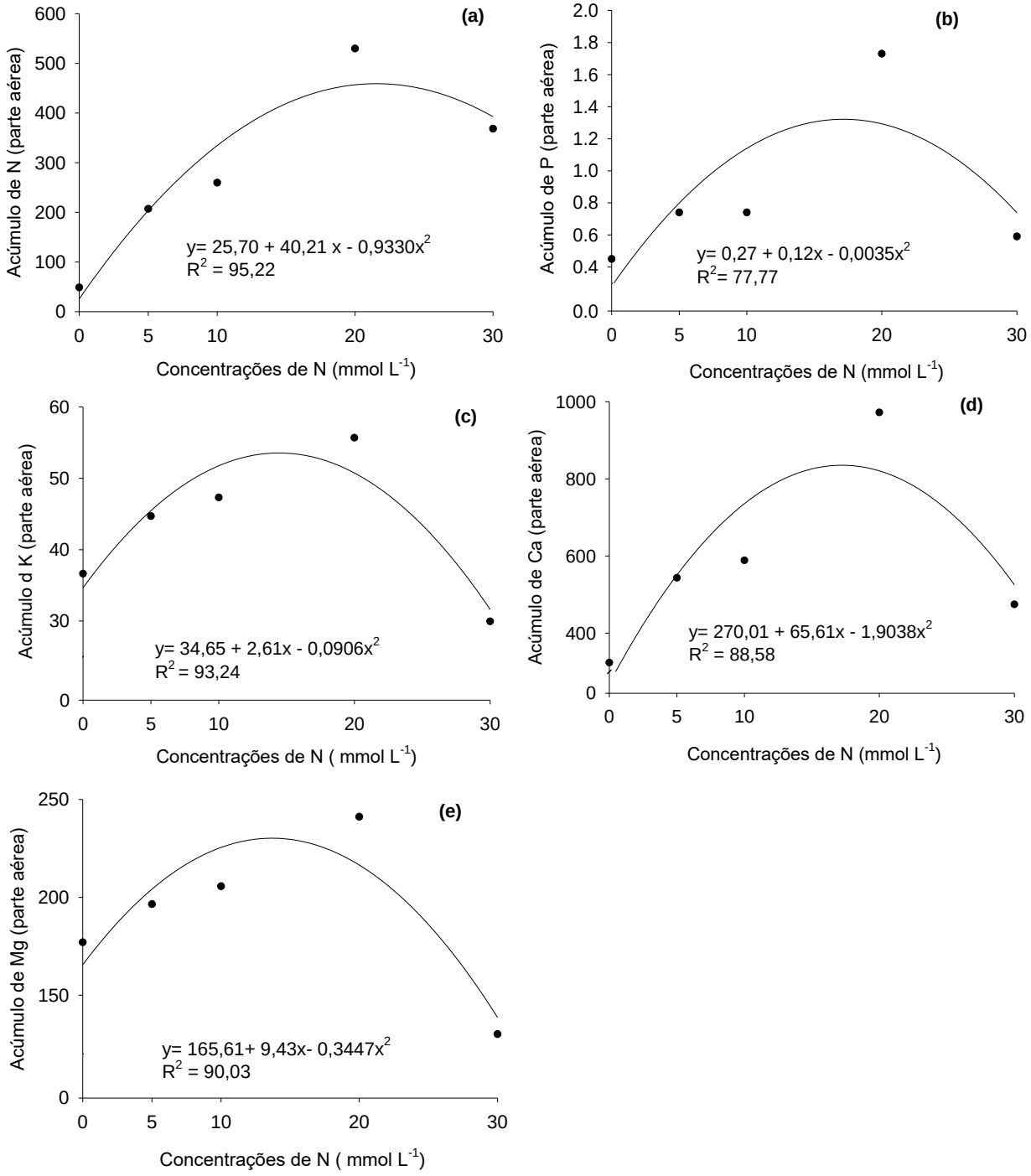


Figura 2 - Acúmulo de N (a), P (b), K (c), Ca (d) e Mg (e) parte aérea de plantas de pitaia, em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva.

Nas raízes das plantas de pitaia, as concentrações de N também exerceram efeito significativo sobre o acúmulo de macronutrientes. Assim como na parte aérea, nas raízes foi observado que o Ca foi o nutriente requerido em maior quantidade tendo um acúmulo de 50,09 g por planta sob concentração de 21,91 mmol L^{-1}. O acúmulo

de N foi de 15,87 mmol L^{-1} com resposta máxima de 43,32 g por planta (Figura 3a), enquanto P e Mg apresentaram acúmulo de 4,27 e 8,42 g por planta nas concentrações de 20,31 e 15,34 mmol L^{-1} de N, respectivamente (Figura 3b, d).

Do modo similar ao ocorrido na parte aérea, as concentrações de N que permitiram maior acúmulo dos macronutrientes nas raízes (Figura 3), foram acima de 10 mmol L^{-1}, um resultado importante para a cadeia produtiva da pitaia, no qual possui formação de mudas via nutrição com solução nutritiva, ainda na fase de viveiro. Tal prática leva a formação de mudas mais robustas, com maior equilíbrio nutricional, e capazes de se adaptarem mais rapidamente as condições de campo.

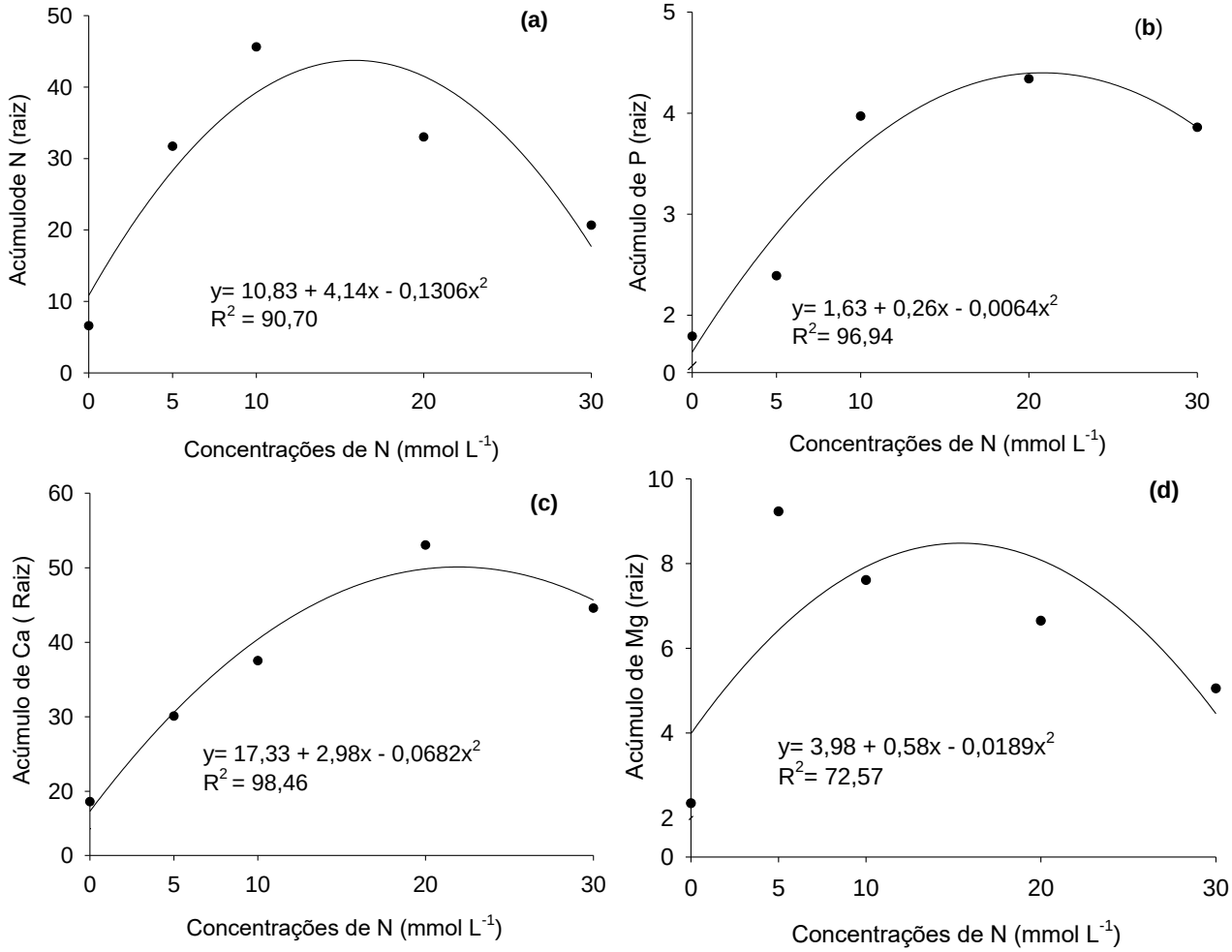


Figura 3 - Acúmulo de N (a), P (b), Ca (c) e Mg (d) nas raízes de plantas de pitaia, em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva.

Em adição, para o Mg foi o terceiro nutriente mais acumulado, com acúmulo máximo de 8,48 g por planta sob dose de 15,43 mmol L^{-1}, este tem um papel

importante específico na ativação de enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese (Taiz *et al*., 2017).

Ao avaliarem o estado nutricional de plantas de pitaia submetidas a diferentes doses de N e K, Almeida *et al*. (2016), observaram a alta exigência dessa espécie por K, demandando em torno de duas vezes mais K do que N. Em contraposição do presente estudo em que o K não houve diferença significativa em função das concentrações de N.

o aumento do acúmulo de macronutrientes na parte aérea e nas raízes das plantas em função das concentrações de nitrogênio é inicialmente impulsionado pelo estímulo ao crescimento vegetativo e pela melhoria na absorção e translocação de nutrientes. No entanto, em concentrações muito elevadas, o efeito tóxico do nitrogênio pode superar esses benefícios, resultando em uma redução no acúmulo de macronutrientes e limitando o crescimento das plantas.

4.2 Eficiência de utilização dos macronutrientes em função das concentrações de nitrogênio

A relação entre a eficiência de uso do nitrogênio e a concentração de nitrogênio não é linear (Figura 4a). Em vez disso, à medida que a concentração de nitrogênio aumenta, a eficiência de uso do nitrogênio diminui, seguindo um padrão exponencial decrescente. Esse padrão reflete a ideia da lei dos incrementos decrescente, onde o aumento na concentração de nitrogênio resulta em ganhos menores de eficiência de uso em comparação com aumentos anteriores (Silva *et al*., 2018). Isso pode ocorrer devido a fatores como a saturação dos sistemas de absorção da planta ou à alocação desproporcional de recursos para outras funções metabólicas em resposta aos níveis mais altos de nitrogênio.

A eficiência nutricional indica a capacidade da planta em extrair nutrientes do meio de cultivo e convertê-los em matéria seca como consequente desenvolvimento da planta. Os mecanismos que governam a eficiência de absorção, que resumidamente, indica a capacidade da planta em converter o nutriente absorvido em matéria seca (Bhatla; Lal, 2018). A eficiência de utilização dos nutrientes pode ser afetada à medida que a concentração de um determinado nutriente está elevada,

podendo interferir no uso dos demais nutrientes criando um desequilíbrio (Taiz; Zeiger, 2004).

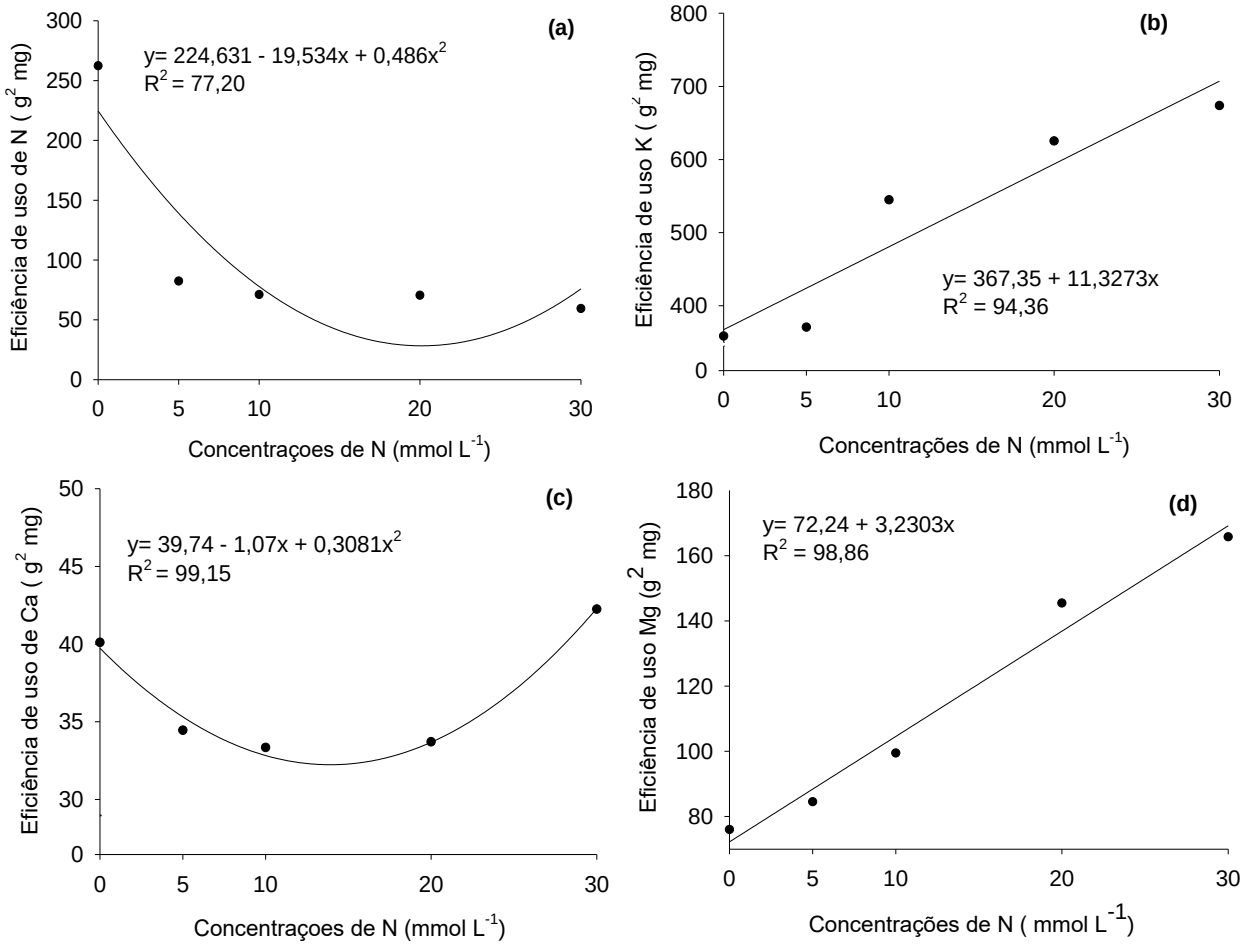


Figura 4 - Eficiência de utilização de N (a), K (b), Ca (c) e Mg (d) em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva.

O ajuste ao modelo exponencial decrescente sugere que há um ponto de saturação onde aumentos adicionais na concentração de N não proporcionam aumentos significativos na eficiência de uso, e podem até levar a reduções. Isso ressalta a importância de considerar as concentrações ideais de nitrogênio para otimizar a eficiência de uso nas práticas agrícolas.

Rozane *et al*. (2011) em seu estudo sobre a eficiência de utilização de macronutrientes em soluções nutritivas não apresentaram diferenças significativas à eficiência de absorção de N e de Mg, quando submetidas às diferentes soluções nutritivas. No entanto nesse estudo a eficiência de uso de Mg, foi afetada positivamente pelo aumento das doses de N, indicando que a eficiência de uso do magnésio aumenta de forma proporcional. O Mg atua como um cofator para muitas

enzimas envolvidas em processos metabólicos dentro da planta. Sua presença é crucial para a ativação enzimática, que desempenham papéis essenciais em diversas vias metabólicas (Prado, 2020).

O ajuste da eficiência de uso do Ca a um modelo polinomial inverso indica uma relação não linear entre a eficiência de uso do cálcio e as concentrações N aplicado em solução nutritiva. Indicando que doses mais altas de nitrogênio desfavorece a eficiência de uso do cálcio corroborando com (Rozane, 2011) que no seu estudo concluiu que o uso da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) resultou em menor eficiência de utilização de Ca e Mg pelos porta-enxertos.

A eficiência de uso de Ca em plantas está relacionada à capacidade da planta de absorver, transportar e utilizar o Ca de maneira eficiente para suportar seu crescimento e funções fisiológicas. A disponibilidade de N pode afetar a absorção, transporte e utilização do Ca pelas plantas, influenciando a eficiência de uso de Ca (Taiz *et al*, 2017).

A eficiência de utilização de K demonstrou uma relação linear positiva em função das concentrações de nitrogênio N. Para Prado (2020) o K desempenha um papel crucial em diversas funções fisiológicas nas plantas, incluindo regulação osmótica, que é fundamental para a homeostase hídrica nas células vegetais. Além disso, o potássio atua como cofator para diversas enzimas envolvidas em processos metabólicos, contribuindo para ativação de enzimas para ativação de enzimas e transporte de nutrientes.

4.3 Ácidos orgânicos

Verificou-se efeito significativo ($p<0,05$) entre a concentração de N e os níveis de ácidos orgânicos ajustando-se a regressão linear (Figura 5).

Os ácidos orgânicos são produzidos dentro de ciclos e vias metabólicas e representam formas transitórias ou armazenadas de carbono fixo (Igamberdiev, Eprintsev, 2016). No ciclo do ácido cítrico, participam o malato (Figura 5a), citrato (Figura 5b) e succinato (Figura 5c). O malato é inicialmente acumulado durante as trocas gasosas e atua como intermediário no ciclo do ácido cítrico, também conhecido como ciclo de Krebs. Este ciclo ocorre nas mitocôndrias das células e está envolvido

na oxidação de compostos orgânicos para a produção de energia, sendo formado durante a fixação noturna de dióxido de carbono (CO_2).

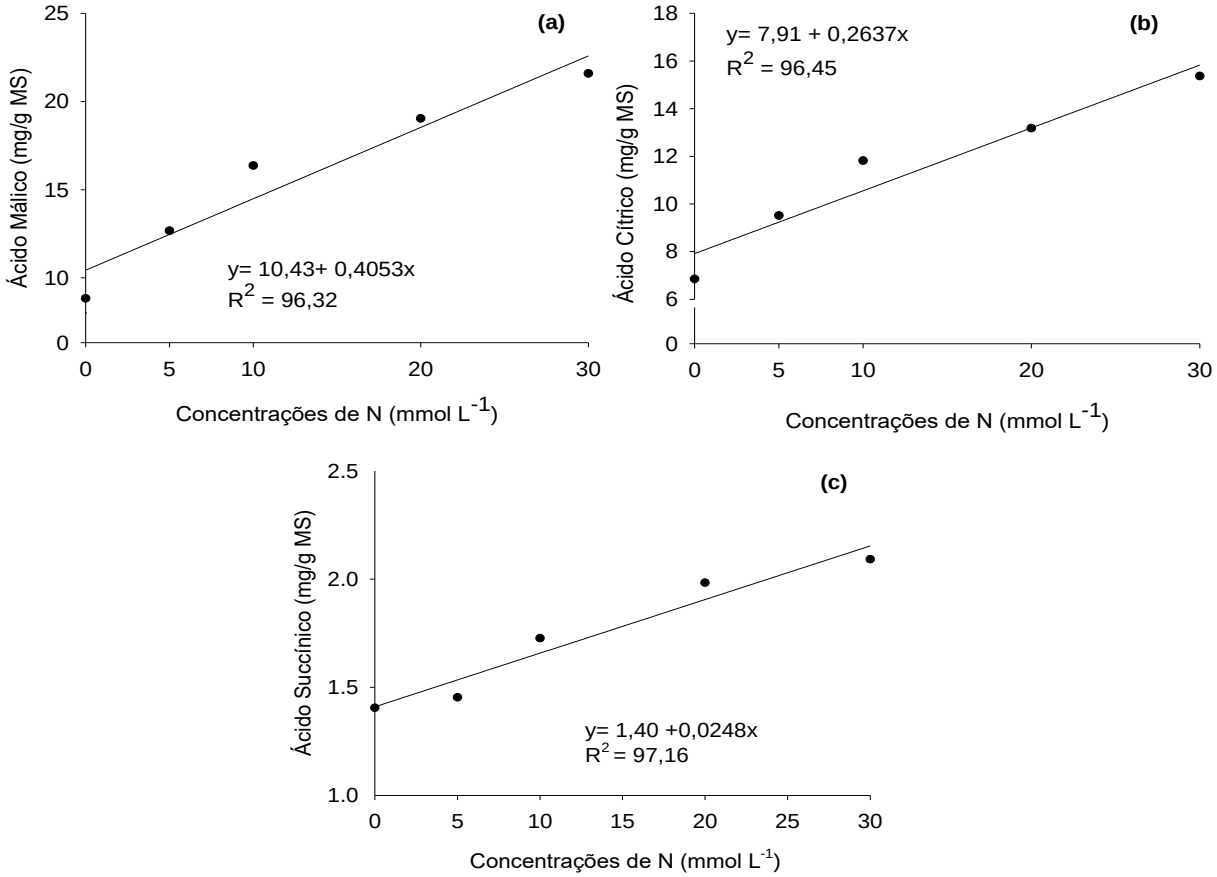


Figura 5 - Ácido málico (a), cítrico (b) e succínico (c) de plantas de pitaia em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva.

Em um estudo sobre os ácidos orgânicos como reservatórios de carbono fixo e seu papel na regulação redox e no balanço energético em plantas superiores (Igamberdiev, Eprintsev, 2016), concluiu-se que os ácidos orgânicos se acumulam principalmente nas plantas como resultado da oxidação incompleta dos produtos fotossintéticos. Eles representam reservatórios armazenados de carbono fixo devido aos diferentes tempos transitórios de conversão de compostos de carbono nas vias metabólicas. No entanto, a intensidade das reações ligadas à conversão desses compostos pode levar à acumulação preferencial de outros ácidos orgânicos.

Um estudo específico sobre os efeitos de diferentes fontes de nitrogênio e déficit hídrico no desenvolvimento e modulação do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) em plantas atmosféricas de *Guzmania monostachia* (Coutinho Neto, 2022) revelou o acúmulo noturno de ácidos orgânicos, destacando a preferência pelo ácido málico no armazenamento. Entre os ácidos orgânicos, o succínico destaca-

se por sua menos frequente presença no contexto do CAM, embora seja um intermediário no ciclo do ácido cítrico durante a respiração celular. Estudos indicam que a produção de ácido succínico é favorecida por uma atmosfera rica em CO2 (Lee, 2003; Song, 2006). No entanto, segundo Igamberdiev e Eprintsev (2016) formam os reservatórios adicionais de carbono fixo e estabilizam o ciclo do ácido tricarboxílico (TCA).

4.4 Crescimento inicial e conteúdo da biomassa das plantas

Observou-se efeito significativo (p≤0,05) para as concentrações de N e as variáveis de crescimento avaliadas. No crescimento inicial, foi possível observar a influência das diferentes concentrações de N na arquitetura radicular e altura das plantas de pitaia (Figura 6). No presente estudo em mudas da espécie *Hylocerus polyrhysus* observou-se um aumento no comprimento dos cladódios (CC) com a crescente concentrações de N, porém para comprimento de raízes foram observados uma redução (Figura 6). Segundo Corrêa *et al*. (2014) o P limita o desempenho no crescimento radicular da *H. undatus*.

Dentre os nutrientes Alves *et al*. (2021) destaca que o nitrogênio apresenta uma importante função para estimular a “emissão de raízes e cladódios mais vigorosos”, porém, quando as concentrações deste no solo ultrapassam os valores adequados, a planta pode apresentar menor desenvolvimento.

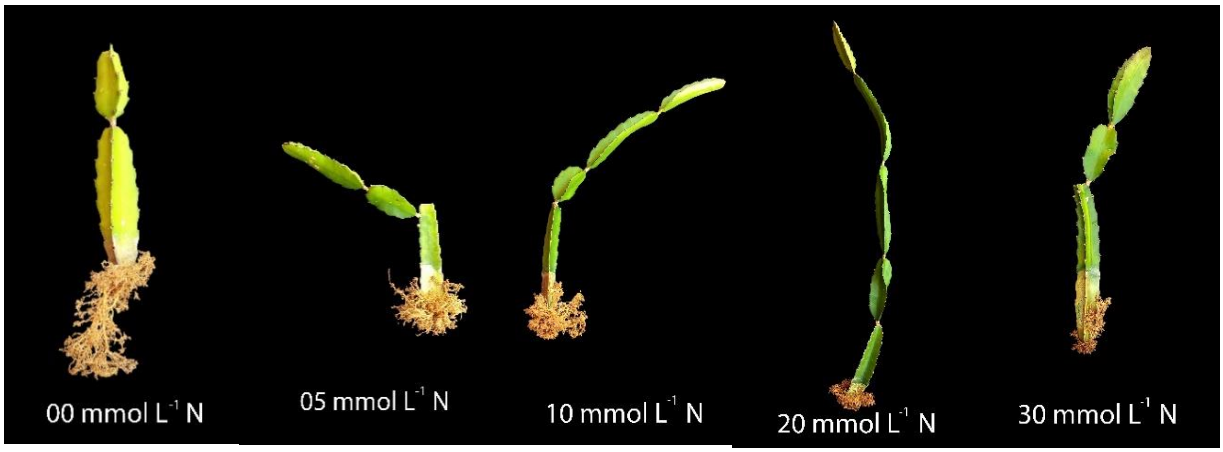


Figura 6 - Crescimento de cladódio e raízes de plantas de pitaia em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva.

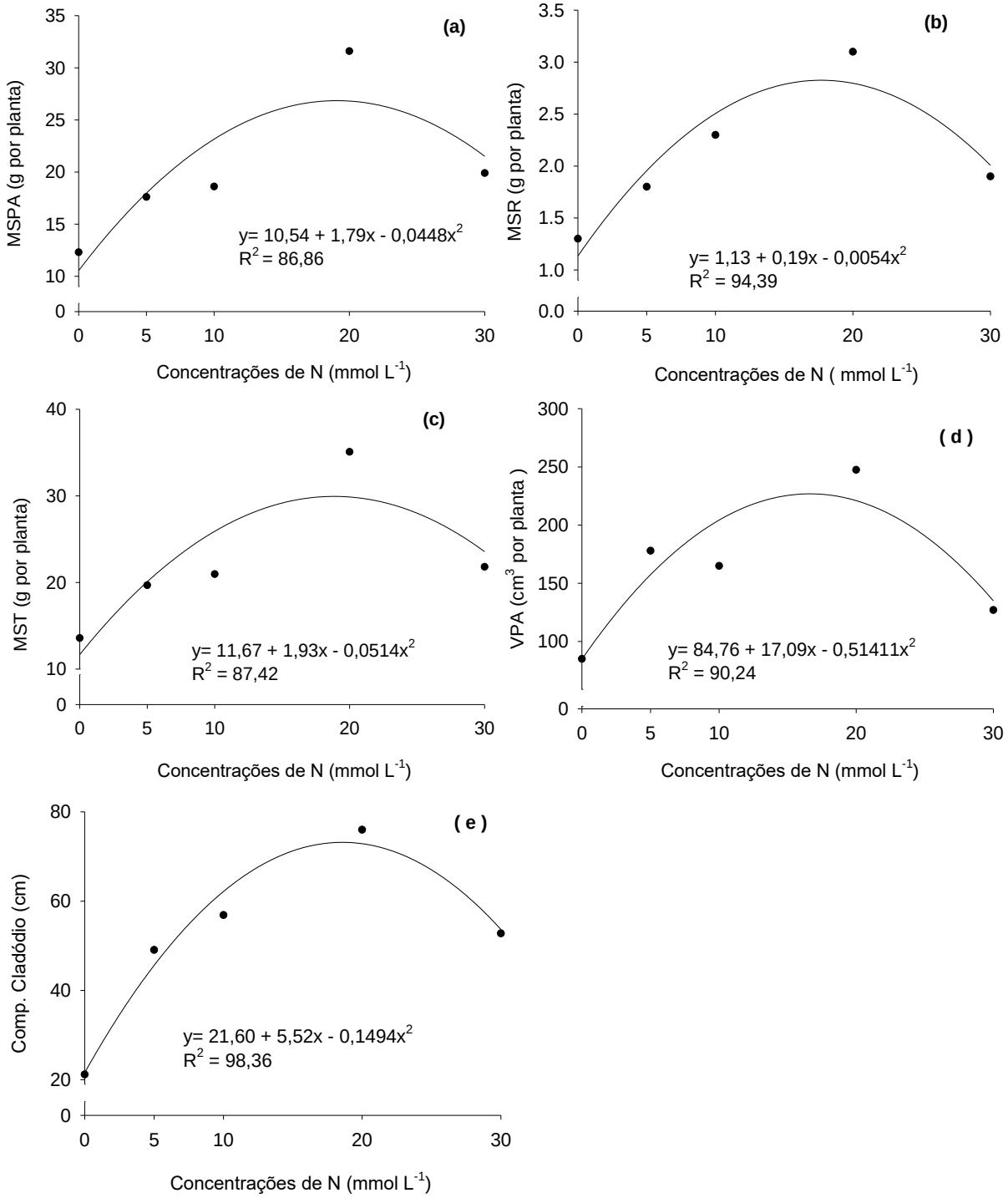


Figura 7 - Massa seca da parte aérea (a), massa seca de raiz (b), massa seca total (c), volume da parte aérea (d) e comprimento dos cladódios (e) de plantas de pitaia, em função de concentrações de nitrogênio em solução nutritiva.

O desenvolvimento de plantas de metabolismo ácido das crassuláceas não permitem uma grande acumulação de matéria seca, pois utilizam menos nitrogênio para a síntese de suas enzimas de carboxilação, a PEPcase, localizada no citosol, que fixa CO2 à noite, formando ácido oxalacético, a partir de HCO3- e PEP e são por

isso menos dependente de altas disponibilidades deste elemento para produzir matéria seca. Todavia, no presente estudo, observou-se uma massa total de matéria seca (MST) acumulada nas plantas, de 29,94 g por planta alcançada em função de uma dose de 18,85 mmol L^{-1}, inferindo-se que a eficiência de utilização dos nutrientes acompanhou uma maior produção de MST, demonstrando que essa espécie apresenta maior capacidade em converter os nutrientes absorvidos em matéria seca total e indicando a necessidade do fornecimento de N acima da concentração recomendada (10 mmol L^{-1}) por Hoagland e Arnold (1950).

O valor máximo estimado para a MSPA a resposta máxima foi observado de 26,83 g, na concentração máxima de 19,06 mmol L^{-1} de N (Figura 7a). A massa seca de raiz (Figura 7b) obteve a resposta máxima em 2,82 g, na concentração máxima de 17,70 mmol L^{-1} de N. E o valor máximo estimado para o VPA (Figura 7 d) foi de 226,90 mL, alcançado em função de uma concentração ótima de aproximadamente 16,62 mmol L^{-1} de N. Provavelmente, esses resultados estão relacionados ao acúmulo de N, Ca, Mg acumulados nas plantas e contribuindo para os valores de MSPA e VPA, além disso, a morfologia dessa espécie também contribui para esses resultados, uma vez que, possuem seus cladódios mais robustos que as demais.

5 CONCLUSÃO

Em concentrações de 20 mmol L^{-1} de nitrogênio, há maior produção de massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e volume de parte aérea (VPA), sendo resultado da maior produção de ácidos orgânicos na fase inicial de crescimento da pitaia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. I. B.; CORRÊA, M. C. M.; CRISOSTOMO, L. A.; ARAÚJO, N. A.; SILVA, J. C. V. Nitrogênio e potássio no crescimento de mudas de pitaia [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose]. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 4, p. 1018-1027, 2014.

ALMEIDA, E. I. B.; DEUS, J. A. L.; CORRÊA, M. C. M.; CRISOSTOMO, L. A.; NEVES, J. C. L. Linha de fronteira e chance matemática na determinação do estado nutricional de pitaia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 744-754, 2016.

ALVES. D. A. **Fertilização nitrogenada na produção de pitaia.** 2018, 49 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Unaí, Minas Gerais, 2018.

ALVES, D. A.; CRUZ, M. D. C. M.; LIMA, J. E.; SANTOS, N. C.; RABELO, J. M.; BARROSO, F. D. L. Productive potential and quality of pitaya with nitrogen fertilization. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e01882, 2021.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico de 2015 para o município de Teresina**, PI. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016, 38 p.

BHATLA, S.C.; LAL, M.A. **Plant physiology, development and metabolism**. Nova Deli: Springer, 2018. 1200 p.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).

CAVALCANTE, V. S.; PRADO, R. M.; VASCONCELOS, R. L. Growth and Nutritional Efficiency of Watermelon Plants Grown under Macronutrient Deficiencies. **Hortscience**, v. 54, n. 4, p. 738-742, 2019.

CAMPOS, C. N. S.; TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. D. M.; CAIONE, G.; SILVA JÚNIOR, G. B.; DAVID, C. H. O. D.; TEODORO, P. E. Macronutrient deficiency in cucumber plants: impacts in nutrition, growth and symptoms. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, n. 17, p. 2609-2626, 2021.

CORDEIRO, M. H. M.; SILVA, J. M.; MIZOBUTSI, G. P.; MIZOBUTSI, E. H.; MOTA, W. F. Caracterização física, química e nutricional da pitaia-rosa de polpa vermelha. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.37, n.1, p. 20-26, 2015.

COSTA, A. C.; RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. R.; MENEZES, T. P.; MOREIRA, R. A.; DUARTE, M. H. Adubação orgânica e *Lithothamniu*m no cultivo da pitaia vermelha. **Semina**, v. 36, n.1, p. 77-87, 2015.

CORRÊA, M. C. M.; ALMEIDA, E. I. B.; MARQUES, V. B.; SILVA, J. C.V.; AQUINO, B. F. Crescimento inicial de pitaia em função de combinações de doses de fósforo-

zinco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 1, p. 261–270, 2014.

COUTINHO NETO, A. A. **Efeitos de diferentes fontes de nitrogênio e do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e a modulação do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) em plantas atmosféricas de *Guzmania monostachia*.** 2022, 23 f. Dissertação (Mestrado em Ciências), Instituto de biociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**, 2. ed. Editora Planta, 2006. 404 p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p. 97-185, 2005.

FALEIRO, F.G.; JUNQUEIRA, N.T.V. **Pitaias: atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação na Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 62 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 62).

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 175 p.

FERNANDES, D. R.; MOREIRA, R. A.; CRUZ, M. C. M.; RABELO, J. M.; OLIVEIRA, J. Improvement of production and fruit quality of pitayas with potassium fertilization. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, e35290, 2018.

GOMES, G. R. Família cactaceae: Breve revisão sobre sua descrição e importância. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, v. 2, n. 1, p. 1 - 10, 2014.

HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soils.** Berkeley: Agricultural Experimental Station. 1950. 32 p. (Circular N. 337)

HERNANDEZ, Y. D. O. **Hacia el conocimiento y conservación de La pitahaya (*Hylocereus* sp.).** Oaxaca: IPN-SIBEJ-CONACYT-FMCN, 2000. 124 p.

IGAMBERDIEV, A. U.; EPRINTSEV, A. T. Organic Acids: The Pools of Fixed Carbon Involved in Redox Regulation and Energy Balance in Higher Plants. **Frontiers in Plant Science,** v. 15, n. 7, p. 1042, 2016.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019, disponível em < https://censoagro2017.ibge.gov.br/>. acesso em: 28 dez. 2023.

LEE, P. C.; LEE, S. Y.; HONG, S. H.; CHANG, H. N. Batch and continuous cultures of *Mannheimia succiniciproducens* MBEL55E for the production of succinic acid from whey and corn steep liquor. **Bioprocess and biosystems engineering**, v. 26, n. 1, p. 63- 67, 2003.

LIMA, D.C.; MENDES, N. V. B.; DIOGENES, M. F.S.; CORRÊA, C. M.; NATALE, W.; TANIGUCHI, C. A. K. Crescimento e acúmulo de nutrientes na parte aérea da Pitaia vermelha (*Hylocerus* sp.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 41, p. 1-11, 2019.

LIMA, D. C.; MENDES, N. V. B.; DIOGENES, M. F.S.; CORRÊA, C. M.; NATALE, W.; TANIGUCHI, C. A. K. Initial growth and nutrient accumulation in pitaya plants at different phenological stages. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 720-727, 2021.

LUDERS, L.; Mc MAHON, G. **The pitaya or dragon fruit (*Hylocereus undatus*).** Australia: Department of Primary Industry, Fisheries and Mines, 2006.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2. ed. Londres: Academic Press, 2005. 889 p.

MODOLO, V. A. **Produção de mudas de alta qualidade.** Instituto Agronômico de Campinas: Projeto Hortalimentos, 2015. Disponível em <https://codeagro.agricultura.sp.gov.br/arquivos/hortalimento/Producao-de-mudas-2015a1f38b23ea90370f264511ce03d78bf9.pdf>. Acesso em: 08 mai. 2024.

MOREIRA, R. A. RAMOS, J. D.; SILVA, F. O. R.; MARQUES, V. B. **Cultivo da pitaia: implantação**. Lavras: Gráfica UFLA, 2012. 16 p. (Boletim técnico, 92).

MOREIRA, R. A.; CRUZ, M. C. M.; FERNANDES, D. R.; SILVA, E. B.; OLIVEIRA, J. Nutrient accumulation at the initial growth of pitaya plants according to phosphorus fertilization. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 46, n. 3, p. 230-237, 2016.

MOREIRA, R. A.; CRUZ, M. C. M.; FERNANDES, D. R.; OLIVEIRA, J. Adubação fosfatada no crescimento e nos teores de nutrientes em cladódios de pitaia vermelha. **Agrarian**, v. 13, n. 49, p. 377–384, 2020.

MATOS, S. S. **Taxa de crescimento inicial e eficiência nutricional de espécies de pitaia cultivadas em ambiente protegido.** 2021, 40 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2021.

OGINO, C. M.; COSTA JUNIOR, G.; POPOVA, N. D.; MARTINES FILHO, J. G. Poder de compra, preço e consumo de fertilizantes minerais: uma análise para o Centro-Oeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, e220367, 2021.

PIO, L. A. S.; RODRIGUES, M. A.; SILVA, F. O. R. **O agronegócio da pitaia.** 1 ed. Lavras. 2020. 321 p.

PONTES, F. T. N. **Sintomatologia e crescimento da pitaia em função da omissão de macronutrientes.** 2022, 34 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agronômica) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2022.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2020. 416 p.

RODRÍGUEZ, C. A. **Pitahayas: Estado mundial de su cultivo y comercialización**. Yucatán: Fundación Yucatán Produce A. C. y Universidad Autónoma Chapingo, 2000. 153 p.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; NATALE, W.; FRANCO, C. F. Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em hipobiotos de caramboleiras, cultivados em diferentes soluções nutritivas. **Revista Ceres,** v. 58, n. 3, p. 366-372, 2011.

SANTOS, D. N.; PIO, L. A. S.; FALEIRO, F. G. **Pitaia: uma alternativa frutífera**. Brasília, DF: ProImpress, 2022. 66 p.

SHAH, J. M.; BUKHARI, S. A. H.; ZENG, J. B.; QUAN, X. Y.; ALI, E.; MUHAMMAD, N.; ZHANG, G. P. Nitrogen (N) metabolism related enzyme activities, cell ultrastructure and nutrient contents as affected by N level and barley genotype. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 190-198, 2017.

SONG, H.; LEE, S. Y. Production of succinic acid by bacterial fermentation. **Enzyme and microbial technology**, v. 39, n. 3, p. 352-361, 2006.

SILVA, M. P. S.; FREITAS, M. S. M.; SANTOS, P. C.; CARVALHO, A. J. C.; JORGE, T. S. Capsicum annuum var. annuum under macronutrients and boron deficiencies: Leaf content and visual symptoms. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 5, p. 417-427, 2018.

SILVA, J. V. G.; LONGUE, L. L.; JARDIM, A. S.; PINHEIRO, A. P. B.; ROSA, R.; PAGOTO, A. L. R.; AZEREDO, A. L. R.; ARANTES, S. D.; FERNANDES, A. A. Eficiência nutricional na produção de mudas de maracujazeiro azedo em função das concentrações de fósforo em solução nutritiva. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 4, p 1-14, 2021.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre, 2004. 618 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. 584 p.

TEIXEIRA, G. C. M.; PRADO, R. M.; OLIVEIRA, K. S.; BUCHELT, A. C.; ROCHA, A. M. S.; SANTO, M. S. Nutritional deficiency in scarlet eggplant limits its growth by modifying the absorption and use efficiency of macronutrients. **Plos One**, v. 16, n. 6, p. 1–20, 2021.