

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA
(*Opuntia ficus-indica*) COM FÓSFORO, ZINCO E ESTERCO**

Mariana Dantas Silva

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
JULHO – 2024**

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia ficus-indica*) COM FÓSFORO, ZINCO E ESTERCO

Mariana Dantas Silva
Bacharel em Agronomia, UFRB, 2021

Dissertação apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Coorientador: Dr. Ewerton Gonçalves de Abrantes
Coorientadora: Dra. Caliane Silva Braulio

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
JULHO – 2024**

FICHA CATALOGRÁFICA

S586c	Silva, Mariana Dantas. Crescimento e produtividade da palma forrageira (<i>Opuntia ficus-indica</i>) com fósforo, zinco e esterco / Mariana Dantas Silva. – Cruz das Almas, BA, 2024. 49f.; il. (Dissertação) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Mestrado em Ciências Agrárias. Orientador: Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega. Coorientador: Dr. Ewerton Gonçalves de Abrantes. Coorientadora: Dra. Caliane Silva Bráulio. 1.Plantas forrageiras – Cacto. 2.Crescimento – Adubação. 3.Regões Áridas – Análise.. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título. CDD: 635.9
-------	---

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas - UFRB. Responsável pela
Elaboração Antonio Marcos Sarmento das Chagas (Bibliotecário - CRB5 / 1615).

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE MESTRADO**

**CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA
(*Opuntia ficus-indica*) COM FÓSFORO, ZINCO E ESTERCO**

Comissão Examinadora da Defesa de Dissertação de

Mariana Dantas Silva

Aprovada em 31 de julho de 2024

Prof. Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Orientador

Profa. Dra. Fabiane Pereira Machado Dias
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Examinadora Interna

Prof. Dr. Fabrício Tulini
Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais, mesmo à distância sempre se fizeram presentes. A minha avó, irmão, tios, tias e primos, por sempre acreditarem em mim. A Fernando e Helena, por não me deixar desistir. Aos meus amigos e amigas que me acompanharam e me apoiaram em cada fase. Aos meus colegas de curso, por me ajudarem nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pela oportunidade;

Ao professor Dr. Júlio César e aos meus coorientadores prof. Dr. Ewerton Abrantes, profa. Dra. Rafaela Simão e profa. Dra. Caliane Braulio, pela orientação e paciência durante o percurso;

Aos órgãos de fomento: CAPES e FAPESB, pelo apoio financeiro e bolsas que possibilitaram a realização deste trabalho;

A todos que contribuíram direta e indiretamente na condução do projeto. Sem ajuda e apoio de todos, jamais teria chegado até aqui.

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DA PALMA FORRAGEIRA (*Opuntia fícus-indica*) COM FÓSFORO, ZINCO E ESTERCO

RESUMO

Na região semiárida, o cultivo da palma forrageira é expressivo, mas ainda são necessários estudos que correlacionem a produção com a adubação, com o objetivo de otimizar a produção e a qualidade dos cladódios. Esta cactácea é utilizada principalmente na alimentação de animais durante os períodos secos que ocorrem na região semiárida do Brasil e, por ser rica em vitaminas, minerais e aminoácidos, possui também um elevado potencial para a alimentação humana. A principal preocupação em torno desta cultura é devido ao seu uso extrativista e ao manejo otimizado em campo reduzido, especialmente no que se refere à adubação que são limitados apenas a alguns produtores. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adubação com esterço bovino, fósforo e zinco sobre o crescimento e produtividade da palma forrageira em um Planossolo Háplico representativo do semiárido da Bahia. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), em delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, em um esquema fatorial em matriz incompleta (Baconiana). Foram testadas cinco proporções de esterco bovino (0; 9; 18; 27; e 36%, v/v), cinco doses de fósforo (0; 50; 100; 150; e 200 mg dm⁻³), e cinco doses de zinco (0; 2,5; 5,0; 7,5; e 10,0 mg dm⁻³). Ao longo do estudo foram feitas avaliações nos atributos do solo e nas plantas como número e largura dos cladódios, matéria fresca e seca dos cladódios. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F a 5% de probabilidade, análise de regressão e, ou multivariada, realizadas no software R versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2023) com o pacote FactoMineR. A adubação com esterco bovino, fósforo e zinco influenciaram variáveis do solo como condutividade elétrica, pH e teores de nutrientes, principalmente com os aumentos das doses de esterco bovino e de fósforo. O número de brotos, foi influenciado pelas adubações, principalmente após os 180 dias de plantio, efeito não foi verificado para a largura dos cladódios que tende a se igualar ao longo do tempo de plantio, independentemente do tipo e dose de adubo aplicado. A produção de matéria fresca e seca total foram influenciadas pelo esterco bovino, tendo a dose de 9% v/v apresentado as maiores médias (742,26 g e 58,98 g, respectivamente) e também o maior número de brotos (3,75) após 225 dias de plantio. A matriz de correlação de Pearson mostrou alta correção entre o número de brotos, matéria fresca e seca total, bem como do número de brotos e da largura dos cladódios com alguns tempos de avaliação dessas variáveis. Assim, as doses de 9% v/v de esterco, 200 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 10 mg dm⁻³ de zinco proporcionaram melhor desempenho da palma forrageira em Planossolo Háplico do semiárido da Bahia

Palavras-chave: Cactáceas, Fertilidade, Semiárido.

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF FORAGE CACTUS (*Opuntia ficus-indica*) WITH PHOSPHORUS, ZINC, AND MANURE

ABSTRACT

In the semi-arid region, the cultivation of forage cactus is significant; however, further studies are needed to correlate production with fertilization to optimize both yield and cladode quality. This cactus is primarily used as animal feed during dry periods in the Brazilian semi-arid region. Due to its richness in vitamins, minerals, and amino acids, it also holds great potential for human consumption. The main concern regarding this crop is its extractivist use and optimized management in limited field conditions, particularly regarding fertilization, which is restricted to only a few producers. This study aimed to evaluate the effect of fertilization with cattle manure, phosphorus, and zinc on the growth and productivity of forage cactus in a Haplic Planosol representative of the semi-arid region of Bahia. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB) using a completely randomized design with four replications, following an incomplete factorial (Baconian) matrix. Five proportions of cattle manure (0, 9, 18, 27, and 36%, v/v), five phosphorus doses (0, 50, 100, 150, and 200 mg dm⁻³), and five zinc doses (0, 2.5, 5.0, 7.5, and 10.0 mg dm⁻³) were tested. Throughout the study, soil and plant attributes such as cladode number and width, fresh and dry biomass of cladodes were evaluated. Data were subjected to analysis of variance using the F-test at a 5% probability level, as well as regression and/or multivariate analysis using R software version 4.3.1 (R CORE TEAM, 2023) with the FactoMineR package. Fertilization with cattle manure, phosphorus, and zinc influenced soil variables such as electrical conductivity, pH, and nutrient levels, especially with increasing doses of cattle manure and phosphorus. The number of shoots was affected by fertilization, particularly after 180 days of planting. However, cladode width was not significantly influenced, tending to equalize over time regardless of fertilizer type and dosage. Fresh and dry biomass production was significantly affected by cattle manure, with the 9% v/v dose presenting the highest averages (742.26 g and 58.98 g, respectively) and the highest number of shoots (3.75) after 225 days. Pearson's correlation matrix showed a strong relationship between the number of shoots, fresh and dry biomass, as well as between the number of shoots and cladode width at different evaluation times. Thus, the doses of 9% v/v cattle manure, 200 mg dm⁻³ of P₂O₅, and 10 mg dm⁻³ of zinc provided the best performance for forage cactus in Haplic Planosol of the semi-arid region of Bahia.

Key words: Cactaceae, Fertility, Semi-arid.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Doses de esterco bovino, fósforo e zinco aplicados em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA para cultivo de palma forrageira var. Gigante.....23

Tabela 2. Análise de um Planossolo Háplico coletado na região Rafael Jambeiro, BA.....23

Tabela 3. Atributos químicos de um Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA em função das doses de esterco bovino, adubação fosfatada e de zinco sob cultivo de palma forrageira.....27

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Condutividade elétrica em função das doses de esterco bovino (a) e das doses de zinco (B) em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA sob cultivo de palma forrageira.....25
- Figura 2.** Número de brotações ao longo do tempo em palma forrageira em função da aplicação de esterco bovino (a), fósforo (b) e zinco (c) em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA, sob cultivo de palma forrageira.....30
- Figura 3.** Largura dos cladódios ao longo do tempo em palma forrageira em razão da aplicação de esterco bovino (a), fósforo (b) e zinco (c) em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA, sob cultivo de palma forrageira.....32
- Figura 4.** Valores médios de produção de massa fresca e seca de palma forrageira em razão da aplicação de esterco bovino, fósforo e zinco em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA, sob cultivo de palma forrageira. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total.....34
- Figura 5.** Matriz de correlação de Pearson entre as 12 variáveis analisadas ao longo do cultivo da Palma forrageira em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total, N = Número de brotações, D = Diâmetro dos cladódios.....36
- Figura 6.** Análise de componentes principais e agrupamento. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total, N = Número de brotações, D = Diâmetro dos Cladódios..... 36
- Figura 7.** Análise de componentes principais e agrupamento. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total, N = Número de brotações, D = Diâmetro dos cladódios.....37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Palma forrageira no Nordeste do Brasil: características, variedades, área de plantio e usos.....	14
2.2 Exigências edafoclimáticas e nutricionais da palma forrageira.....	16
2.3 Efeito da adubação com esterco bovino na fertilidade do solo e estado nutricional da palma forrageira.....	18
2.4 Efeito da adubação mineral com fósforo e zinco na fertilidade do solo e estado nutricional da palma forrageira.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Localização da área de estudo.....	22
3.2 Delineamento experimental e variáveis avaliadas.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
4.1 Efeito dos tratamentos na condutividade elétrica do solo.....	25
4.2 Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo.....	26
4.3 Efeito dos tratamentos e do tempo de cultivo no número de brotos, crescimento e produção de palma forrageira.....	30
5. CONCLUSÕES.....	39
6. REFERÊNCIAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

Na região semiárida do Nordeste do Brasil a palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) é uma cultura consolidada a nível de propriedades agrícolas, podendo atingir altos níveis de produtividade. Ela assume papel crucial na alimentação animal durante os períodos de seca, quando a escassez de água e a baixa disponibilidade de pastagem comprometem significativamente a nutrição dos rebanhos (PEREIRA et al., 2022).

Nesse cenário, a palma forrageira se destaca como uma fonte de alimento resistente e rica em água, oferecendo hidratação e energia para a manutenção do peso e da saúde dos animais. Mesmo que outros recursos alimentares no campo se tornem limitados, a palma forrageira apresenta a capacidade de fornecer uma nutrição contínua, possibilitando a adaptação dos sistemas de criação em regiões de clima árido e semiárido (PEREIRA et al., 2020). Esse papel torna-se ainda mais relevante quando se considera a vulnerabilidade dos rebanhos à mortalidade e à perda de produtividade durante os períodos de estiagem severa. Sendo assim, a palma forrageira não apenas complementa a dieta animal, mas atua como estratégia para o equilíbrio nutricional, garantindo que o rebanho possa atravessar a seca com menores perdas (LOPES et al., 2019).

A versatilidade desse recurso alimentar é um de seus principais benefícios, pois, com seu uso, é possível adaptá-lo às necessidades específicas do rebanho, seja como alimento fresco, o farelo, picado ou misturado com outros insumos (VOLTOLINI et al., 2016). Além disso, a sua adaptação a ambientes de baixa pluviosidade, permite uma produção eficiente, essencial para a segurança alimentar nas regiões semiáridas.

Entretanto a falta de práticas de fertilização pode resultar em limitações significativas na qualidade e quantidade da forragem disponível. Para que a palma exerça plenamente seu potencial, é fundamental que haja um manejo adequado da fertilidade do solo. Ou seja, sem a reposição adequada de nutrientes ao solo, a palma forrageira pode apresentar crescimento reduzido e baixa qualidade nutricional (SILVA et al., 2016). Isso não só diminui a quantidade de alimento disponível, mas também afeta a saúde dos animais, que podem sofrer com deficiências nutricionais.

A falta de manejo da fertilidade do solo torna também os solos mais suscetíveis à erosão e à compactação, dificultando o desenvolvimento radicular da palma e sua capacidade de absorver água e nutrientes (VITÓRIA et al., 2014).

Diante disso, a adubação orgânica e a adubação mineral com fósforo e zinco são práticas de manejo da fertilidade essenciais para os solos do semiárido, que naturalmente apresentam carências de nitrogênio, fósforo e micronutrientes. A adubação orgânica, ao enriquecer o solo com matéria orgânica, não só melhora a estrutura e a capacidade de retenção de água, como também aumenta a atividade biológica do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes e a disponibilidade de fósforo e zinco para as plantas (BOTELHO et al., 2020), minimizando com isso, os impactos adversos da pobreza dos solos da região (PESSOA et al., 2022).

A carência de fósforo e zinco em solos do semiárido do Nordeste resulta em limitações significativas no crescimento das plantas, o que pode impactar diretamente a produtividade da palma forrageira. A prática da adubação mineral e/ou orgânica, não apenas promove um desenvolvimento radicular mais vigoroso, mas também fortalece a resistência da palma às condições adversas, como a estiagem, a compactação e a erosão do solo (DUBEUX JUNIOR et al., 2012; SANTANA et al., 2021). Neste sentido, o manejo equilibrado da fertilidade do solo, por meio da adubação, se torna uma estratégia fundamental para garantir a sustentabilidade da produção forrageira, com valores superiores de produção da cultura (LÉDO et al., 2019).

Esse trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da adubação com esterço bovino, fósforo e zinco sobre o crescimento e produtividade da palma forrageira em um Planossolo Háplico representativo do semiárido da Bahia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Palma forrageira no Nordeste do Brasil: características, variedades, área de plantio e usos

A palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) é uma planta pertencente à família das cactáceas, reconhecida por suas folhas em forma de espinhos endurecidos e caule do tipo cladódio, que se caracteriza pelo aspecto volumoso e achatado. Acredita-se que sua origem esteja no México, mas atualmente ela pode ser encontrada em diversas regiões do mundo, especialmente em áreas de clima árido e semiárido (LIRA, 2017), assumindo com isso, grande importância econômica e ambiental.

No Brasil, a palma forrageira foi introduzida inicialmente no Nordeste, região cujas características climáticas são semelhantes às do seu habitat natural. Devido às suas adaptações morfofisiológicas, que favorecem sua sobrevivência em condições adversas, a planta logo se consolidou como uma das principais culturas da região. Em 2017, o Brasil produziu cerca de 2.875.034 toneladas de palma forrageira, sendo a maior parte dessa produção concentrada no Nordeste, com 2.863.747 toneladas (IBGE, 2020).

Entre os gêneros de palma forrageira cultivados no Brasil, destacam-se *Opuntia* spp. e *Nopalea* spp., com diversas variedades predominantes, como a palma redonda (orelha-de-onça), miúda (palma doce), IPA Sertânia (palma baiana), orelha de elefante mexicana e africana, e a palma gigante (LIRA, 2017; SENAR, 2018). Essas variedades apresentam características diferenciadas que impactam tanto a adaptação ao meio ambiente quanto o valor nutricional.

O cultivo da palma forrageira é essencial para a sustentabilidade da agropecuária no Nordeste do Brasil, pois reduz a dependência de alimentos importados e garante nutrição estável para os animais na estiagem. Sua expansão fortalece a segurança alimentar, gera empregos e renda, e estabiliza os preços da alimentação animal, minimizando o impacto de variações climáticas e econômicas (BRASIL et al., 2018).

Os cladódios são as principais estruturas da palma forrageira, realizando a função fotossintética através do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Essa

adaptação permite que a planta minimize a perda de água, o que é essencial em regiões secas. Durante o processo de fotossíntese CAM, os estômatos da planta permanecem fechados durante o dia e abertos à noite, o que reduz a transpiração e aumenta a eficiência no uso da água (MARENCO; LOPES, 2009).

Graças a essa baixa taxa de transpiração e à cerosidade da superfície dos cladódios, a palma forrageira é capaz de acumular até 90% de água em sua biomassa, característica que a torna uma fonte crucial de alimentação e dessedentação para o gado durante os períodos de seca prolongada (VOLTOLINI et al., 2022). Essa capacidade de armazenar água a diferencia de outras forrageiras, o que fortalece seu papel estratégico na agropecuária do semiárido.

Em relação ao seu cultivo, apesar de ser uma planta resistente, a palma forrageira exige solos com boa fertilidade e drenagem adequada. Embora possa ser encontrada em diversos tipos de solo, a planta não tolera encharcamento ou salinidade, principalmente na camada de 0,40 m de profundidade, onde se concentra a maioria de suas raízes (LIRA, 2017; SPÍNOLA et al., 2020). Portanto, um manejo cuidadoso é essencial para adaptar os diferentes tipos de solo às exigências da palma forrageira de forma a garantir uma produção agrícola sustentável (XIMENES et al., 2019).

Além das questões edafoclimáticas, o crescimento e a produtividade da palma forrageira são influenciados por fatores como a espécie, o clone, a época e a idade de corte. Cada um desses aspectos pode impactar a duração do ciclo produtivo, que varia de acordo com as condições ambientais e as práticas de manejo adotadas (JARDIM et al., 2020). Segundo Amorim et al. (2017) quatro fases distintas são estabelecidas no ciclo da palma forrageira, que se completam ao longo de 24 meses visando o corte: Fase 1: plantio e estabelecimento da cultura (30 dias); Fase 2: estabelecimento da cultura com emissão inicial de cladódios primários (60 dias); Fase 3: ocorre emissão significativa e formação dos cladódios primários (90 dias) e; Fase 4: redução significativa da emissão de cladódios (550 dias).

A propagação da palma forrageira geralmente é feita por meio dos cladódios, o que garante a replicação genética exata da planta-matriz e facilita o rápido estabelecimento da cultura. Essa técnica é amplamente utilizada em áreas de cultivo, permitindo o desenvolvimento acelerado das plantações (VOLTOLINI, 2022). Além disso, clones como a palma miúda têm se destacado no Brasil, devido à sua

resistência à cochonilha do carmim, uma das principais pragas que afetam a cultura.

No setor agropecuário, a palma forrageira desempenha um papel fundamental na alimentação de ruminantes, como bovinos, caprinos e ovinos. Seu uso, no entanto, vem se expandindo, incluindo a produção de farelo para alimentação de monogástricos, como suínos e aves. Essa versatilidade no uso da palma forrageira, associada as suas características morfofisiológicas têm garantido sua relevância na agropecuária do semiárido nordestino (FROTA et al., 2015), não só pela capacidade de sobreviver a longos períodos de estiagem, mas também pela riqueza nutricional que oferece aos animais. Destaca se também que suas aplicações vão além da alimentação animal, sendo utilizada na medicina, cosmética, e na alimentação humana, consolidando-se como uma planta de múltiplas funções (BRASIL et al., 2018).

Assim, um manejo adequado, incluindo a adubação e o uso de práticas que otimizem seu crescimento e produtividade, a palma forrageira pode desempenhar um papel ainda mais significativo na segurança alimentar e nutricional da região semiárida (SILVA et al., 2016; HASSAN et al., 2020).

2.2 Exigências edafoclimáticas e nutricionais da palma forrageira

As condições climáticas exercem grande influência no crescimento e desenvolvimento da palma forrageira. Assim, o zoneamento climático constitui uma ferramenta importante na identificação de áreas adequadas para o cultivo com base nas exigências climáticas da planta (SILVA et al., 2015). Este zoneamento é fundamental para determinar as regiões onde as condições climáticas e edáficas são mais favoráveis ao cultivo, permitindo que os agricultores façam escolhas informadas sobre o local de plantio de forma a otimizar a produção.

Na Bahia, Júnior et al. (2019) realizaram o zoneamento agroclimático para a palma forrageira, utilizando dados climatológicos de 452 postos de observação, incluindo 33 estações meteorológicas automáticas do INMET e 422 postos pluviométricos da ANA. Eles concluíram que as mesorregiões semiáridas Centro Norte, Nordeste Baiano e Vale do São Francisco oferecem as melhores condições climáticas para o cultivo da palma na Bahia. No entanto, destacam também os autores que a cultura pode ser cultivada em todo o território da Bahia, exceto nas

faixas litorâneas, como as mesorregiões Sul e Metropolitana de Salvador, e parte do Extremo Oeste Baiano. A mesorregião do Centro Norte Baiano (de Irecê a Senhor do Bonfim) destaca-se por possuir as melhores condições climáticas, com 57,34% da área com aptidão plena, apresentando temperaturas mínimas entre 16 e 21°C e precipitação média anual de aproximadamente 900 mm.

Além das condições climáticas, a palma forrageira tem exigências específicas em relação às características químicas e físicas do solo. Apesar de sua resistência à seca, o crescimento ótimo da planta ocorre quando há uma irrigação equilibrada e temperaturas entre 16°C e 28°C, com luminosidade plena, pois a palma não tolera sombreamento (MARQUES et al., 2017). A textura do solo deve variar de arenosa a argilosa, sendo os solos argilo-arenosos os preferidos e mais recomendados para obter melhores resultados (FARIAS et al., 1984).

No que diz respeito às suas necessidades nutricionais, a palma forrageira extrai quantidades significativas de nutrientes do solo, tornando a reposição desses nutrientes essencial para evitar a redução da produtividade ao longo do tempo (MENEZES et al., 2005). Salazar-Sosa et al. (2017) afirmam que a palma forrageira pode ser adubada tanto de forma orgânica, com a aplicação de esterco, quanto de forma mineral, desde que siga as informações provenientes da análise de solo. Destacam também os autores que a palma forrageira tem uma alta capacidade produtiva, mesmo em ambientes hostis, e que um manejo eficiente de adubação pode aumentar a produtividade da cultura (MACÊDO et al., 2020). Segundo Barros et al. (2016), a fertilização orgânica com esterco bovino melhora o crescimento e a qualidade nutricional da palma, proporcionando resultados significativos em produtividade, além de promover um sistema de produção mais sustentável (FONSECA et al., 2021).

Neste sentido, a prática da adubação se faz necessária para repor os nutrientes exportados em grandes quantidades, devido à alta produção da palma, que pode durar mais de 10 ou 15 anos (IICA, 2017). Dados de Dubeux Júnior et al. (2006) mostram que a palma extrai cerca de 360 kg ha⁻¹ de N, 64 kg ha⁻¹ de P, 1.032 kg ha⁻¹ de K e 940 kg ha⁻¹ de Ca a cada dois anos. Portanto, a adubação é vital para manter a fertilidade do solo e a perenidade do palmal. No entanto, sua real dimensão produtiva ainda não é plenamente explorada, principalmente devido à falta de ampla divulgação das práticas de adubação (MACÊDO et al., 2020).

A adubação adequada pode promover um maior número de cladódios por planta, uma produção de forragem mais abundante e influenciar diretamente a qualidade dos cladódios produzidos. Além disso, a adubação pode aumentar a capacidade da palma de resistir ao estresse ambiental, como seca e altas temperaturas, e manter a fertilidade do solo, evitando a exaustão de nutrientes.

2.3 Efeito da adubação com esterco bovino na fertilidade do solo e estado nutricional da palma forrageira

A adubação orgânica com esterco bovino tem sido amplamente utilizada no cultivo da palma forrageira, especialmente na região semiárida, onde os solos são frequentemente pobres em nutrientes e de baixa fertilidade (HOLANDA et al, 2021). Essa prática de manejo agrícola proporciona benefícios significativos tanto para o solo quanto para a planta, desempenhando um papel fundamental no aumento da produtividade e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas que envolvem a palma forrageira. Ainda, o uso de esterco bovino é uma estratégia eficaz de manejo de resíduos da pecuária, integrando a produção animal e vegetal de maneira sustentável (SOARES et al, 2021).

A aplicação de esterco bovino ao solo tem como principal objetivo o aumento da matéria orgânica, que por sua vez melhora vários atributos físicos, químicos e biológicos do solo (RAMOS et al., 2015). Segundo Souza et al. (2017) solos ricos em matéria orgânica e com alta atividade biológica tendem a ser mais resilientes a estresses ambientais, como a seca, melhorando a capacidade da palma forrageira de resistir a condições adversas.

A matéria orgânica exerce um papel essencial na retenção de água, na capacidade de troca catiônica (CTC), e na disponibilidade de nutrientes para as plantas (BETTIOL et al., 2023). Ou seja, o acréscimo de matéria orgânica aumenta a capacidade do solo em disponibilizar nutrientes (SANTOS et al., 2006; GOMES et al., 2018) como nitrogênio, fósforo e potássio, elementos-chave para o desenvolvimento da palma forrageira, fato relevante para alguns solos da região semiárida, devido sua baixa fertilidade natural que limita a produtividade agrícola (LEITE, 2022).

O esterco bovino é uma fonte rica de nutrientes que são liberados gradualmente no solo à medida que a matéria orgânica se decompõe. Dessa forma,

os nutrientes se tornam disponíveis para as plantas de maneira mais contínua, evitando picos de disponibilidade e, conseqüentemente, perdas por lixiviação ou fixação no solo (CARNEIRO e VIEIRA, 2020).

A adubação com esterco bovino também apresenta efeitos benéficos na redução da acidez do solo, contribuindo para a neutralização de elementos tóxicos, como o alumínio (CAETANO e CARVALHO, 2006), que pode ser prejudicial ao desenvolvimento das raízes da palma forrageira. Isso ocorre devido ao efeito tamponante da matéria orgânica, que ajuda a estabilizar o pH do solo em níveis mais adequados para a absorção de nutrientes (TRIPATHI et al, 2014).

No que diz respeito ao estado nutricional da palma forrageira, a adubação com esterco bovino influencia diretamente a absorção de nutrientes pela planta, melhorando sua saúde e vigor. A palma forrageira é uma planta que extrai grandes quantidades de nutrientes do solo, com isso, a adubação precisa ser capaz de suprir essa demanda de maneira sustentável, sem esgotar os recursos do solo ao longo dos ciclos de cultivo. Segundo Voltolini et al. (2016) a reposição contínua de nutrientes por meio da adubação orgânica é fundamental para manter a produtividade da palma, principalmente em regiões onde o manejo adequado do solo é um desafio constante.

Além da melhoria no estado nutricional da planta, a adubação com o esterco bovino também influencia diretamente na produção de cladódios, principal parte utilizada da planta na alimentação animal e humana. Estudos indicam que o uso regular de esterco pode aumentar o número de cladódios por planta, resultando em uma produção mais abundante e de melhor qualidade (BARROS et al., 2016).

Os benefícios da adubação com esterco bovino vão além da reposição de nutrientes, impactando positivamente na qualidade física e biológica do solo, bem como a saúde da planta e perenidade do palmar. Neste sentido, o manejo adequado da adubação com esterco bovino pode representar a diferença entre um sistema produtivo sustentável e a exaustão dos recursos naturais disponíveis, o que ressalta a importância de sua adoção em larga escala na produção da palma forrageira.

2.4 Efeito da adubação mineral com fósforo e zinco na fertilidade do solo e estado nutricional da palma forrageira

A adubação mineral desempenha papel crucial no manejo do solo e no desenvolvimento da palma forrageira, especialmente em solos com baixa fertilidade, como é comum nas regiões semiáridas (LEITE et al, 2021). Dentre os nutrientes que merecem destaque nesse processo, o fósforo e o zinco são fundamentais para a melhoria das condições do solo e adequado estado nutricional da planta. O manejo adequado desses elementos pode aumentar a resistência da palma forrageira a condições adversas e proporcionar ganhos significativos de produtividade, favorecendo o desenvolvimento da cultura (SANTOS et al., 1990; NOVAIS et al., 2007).

O fósforo é um macronutriente essencial para a palma forrageira e está diretamente ligado a processos como a divisão celular e o crescimento radicular (MENEHETTE et al., 2017). Em solos típicos da região semiárida, o fósforo frequentemente encontra-se em formas não disponíveis para as plantas. Para contornar essa limitação, a adubação fosfatada é necessária, garantindo que a planta tenha acesso ao nutriente de maneira contínua, promovendo, assim, um desenvolvimento radicular favorável e eficiente na absorção de água e nutrientes (TELES et al., 2017).

Além de promover o crescimento das raízes, a aplicação de fósforo no solo influencia positivamente no crescimento (PINTO et al., 2020) e na produção de biomassa da palma forrageira, refletindo no aumento do número de cladódios por planta. Esse aumento na produção de cladódios é imprescindível, pois esses órgãos representam a principal fonte de forragem na região semiárida.

Os efeitos da adubação com fósforo no solo vão além do ciclo imediato da planta. Quando aplicado de maneira equilibrada, o fósforo pode gerar benefícios também a longo prazo, tornando-se gradualmente disponível em formas lábeis no solo (ROY et al., 2016). Essa reserva de fósforo pode ser aproveitada pela planta em ciclos futuros, o que é relevante no caso da palma forrageira, uma cultura de ciclo perene que pode se estender por mais de uma década. Assim, o manejo da adubação fosfatada deve ser visto não apenas como uma ação corretiva de curto prazo, mas

como uma estratégia para garantir a longevidade do palmar e a manutenção da fertilidade do solo ao longo dos anos.

O zinco, embora requerido em menores quantidades, desempenha funções igualmente importantes para o crescimento e desenvolvimento da palma forrageira. Ele está envolvido em processos bioquímicos essenciais das plantas, como a síntese de proteínas e a regulação do crescimento, bem como na resistência da planta ao estresse ambiental (CAKMAK, 2000). Em solos arenosos e de baixa capacidade de retenção de nutrientes, como os do semiárido, o zinco pode ser facilmente lixiviado, o que torna sua reposição por meio da adubação uma prática essencial para garantir o desenvolvimento saudável da planta.

A deficiência de zinco pode comprometer a produção de cladódios, reduzindo a qualidade da forragem, entretanto quando aplicado de forma adequada, melhora a eficiência da fotossíntese e a síntese de clorofila, resultando em uma planta mais vigorosa e produtiva, mesmo em condições de estresse hídrico (HASSAN et al., 2020; IRMES et al., 2023).

Pelo exposto anteriormente, constata-se que a combinação de esterco bovino, fósforo e do zinco na adubação da palma forrageira reforça a resistência da palma ao estresse ambiental, uma vez que a adubação correta contribui para o desenvolvimento de um sistema radicular mais profundo, o que melhora a eficiência da planta na absorção de água e nutrientes das camadas mais profundas do solo (CRUSCIOL et al., 2013). Esse fator é crucial para garantir a sobrevivência da palma forrageira em ambientes com baixa disponibilidade de água.

Em suma, a adubação orgânica com esterco bovino e combinada com a mineral com fósforo e zinco pode constituir uma estratégia para maximizar o potencial produtivo da palma forrageira, pois a aplicação do zinco pode auxiliar na melhor absorção de fósforo pela planta (KUZIEMSKA et al., 2022). O fósforo promove o crescimento das raízes e a produção de biomassa, enquanto o zinco melhora a eficiência metabólica e a resistência ao estresse, a exemplo da adubação orgânica. Juntos, contribuem no desenvolvimento da cultura, assegurando a reposição dos nutrientes essenciais e garantindo sua longevidade e produtividade (ALKAHTANI et al., 2020).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de estudo

O experimento foi realizado em casa de vegetação do Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Campus Cruz das Almas, Bahia, cujas coordenadas geográficas de referência são: latitude 12° 40' 12" S e longitude 39° 06' 07" W e apresenta, em média, altitude ao nível do mar de 220m. A pluviosidade média anual é de 1.200mm, sendo os meses de março a julho os mais chuvosos e outubro a janeiro os mais secos, com temperatura média anual de 24,2°C.

O solo utilizado no estudo foi um Planossolo Háplico coletado no município de Rafael Jambeiro, BA, cujas coordenadas geográficas de referência são latitude 12° 40' 53" S e longitude 39° 50' 07" W. Apresenta, em média, altitude ao nível do mar de 238m. O município está localizado no bioma Semiárido da Bahia com precipitação média anual entre 800 e 1000 mm, com distribuição entre os meses de novembro a março e temperatura média anual de 29 °C.

3.2 Delineamento experimental e variáveis avaliadas

O experimento foi realizado no período de 13 de setembro de 2022 a 21 de maio de 2023, perfazendo um período de avaliação de 250 dias. A palma forrageira utilizada no experimento foi a *Opuntia ficus indica*, variedade Gigante, coletada no município de Cabaceiras do Paraguaçu-BA.

No estudo utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com 4 repetições, em um esquema fatorial em matriz incompleta (Baconiana), com cinco proporções de esterco bovino (0; 9; 18; 27 e 36%, v/v), cinco doses de P₂O₅ (0; 50; 100; 150 e 200 mg dm⁻³), e cinco doses de Zn (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 mg dm⁻³), totalizando 52 parcelas experimentais (Tabela 1).

Para a produção das mudas, sob a técnica da propagação vegetativa, foram coletados os cladódios e, posteriormente, armazenados em local arejado e coberto durante um período de 15 dias para cura (cicatrização dos cortes e redução do teor de umidade do cladódio). Após a cicatrização das mudas, estas foram semeadas em sacos de polietileno de 4,5 L, contendo solo coletado no município de Rafael Jambeiro, BA, previamente peneirado em malha de 4 mm. O município de Rafael

Jambeiro, BA possui características climáticas típicas do clima semiárido, onde a vegetação predominante é a caatinga. As temperaturas em Rafael Jambeiro, BA são geralmente altas durante todo o ano e a média anual de precipitação é relativamente baixa, variando entre 400 mm e 800 mm por ano.

Tabela 1. Doses de esterco bovino, fósforo e zinco aplicados em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA para cultivo de palma forrageira var. Gigante.

Tratamento	Esterco (% v/v)	P ₂ O ₅ (mg dm ⁻³)	Zn (mg dm ⁻³)
T1	0	100	5
T2	9	100	5
T3	27	100	5
T4	36	100	5
T5	18	0	5
T6	18	50	5
T7	18	150	5
T8	18	200	5
T9	18	100	0
T10	18	100	2,5
T11	18	100	7,5
T12	18	100	10
T13 Referência	18	100	5

Autora: Mariana Dantas Silva

Para verificar as condições de fertilidade do solo utilizado, realizou-se análise de solo antes do período experimental no Laboratório de Relação Solo-Planta da UFRB, segundo Teixeira et al. (2017) (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de solo coletado na região Rafael Jambeiro, BA.

pH	pH	CE	Al ³⁺	H + Al	P	K ⁺	Na ⁺
H ₂ O	CaCl	µS/cm	---- cmolc dm ⁻³ ----		----- mg dm ⁻³ -----		
4,93	3,9	99,27	0,297	3,97518	13,45	1,76	2,64

As doses de esterco bovino foram aplicadas no momento do preparo dos recipientes com solo e homogeneizadas. As dosagens de P_2O_5 e Zn foram aplicadas via solução nutritiva, utilizando-se as fontes KH_2PO_4 e $ZnSO_4$ conforme tratamentos. Após a aplicação de P e Zn, os demais nutrientes foram aplicados, também via solução nutritiva, nas seguintes dosagens: N: 150; K: 180; Ca: 100; Mg: 20; B: 0,5; Cu: 1,5; Fe: 10; Mn: 4 e Mo: 0,15 ($mg\ dm^{-3}$) conforme Malavolta (1980). As aplicações de N e K foram parceladas três vezes.

Após a aplicação de P e Zn, o solo foi irrigado mantendo-se a umidade próxima a 60% da capacidade de campo. Assim, 30 dias após semeadura e a cada 15 dias, as plantas foram medidas com base nos valores de diâmetro latitudinal e número de brotamentos.

Após 225 dias, foram cortados os cladódios e o material coletado foi pesado para mensurar a matéria verde. Posteriormente, o material foi seco em estufa com circulação forçada de ar a $65^\circ C$ para obtenção da matéria seca. Com base na matéria seca e no número de cladódios foi estimada a massa média de cladódios.

As condições de fertilidade do solo ao final do cultivo da palma forrageira também foram avaliadas, após a coleta de solo em cada tratamento e repetição. Assim, em cada amostra de solo foram avaliados o pH H_2O , pH CaCl, condutividade elétrica (CE), Al^{3+} , H + Al, P, K, Na, Ca e Mg segundo Teixeira et al. (2017).

Os resultados obtidos nas avaliações das plantas de palma forrageira e de solo foram submetidos a análise de variância. As médias das variáveis independentes das doses de esterco, P_2O_5 e zinco e as variáveis dependentes foram submetidas à análise multivariada. Com as variáveis dependentes, foram calculados os coeficientes de correlação de Pearson e suas significâncias testadas pelo teste t de Student a 1% e a 5% de probabilidade.

Para verificar a semelhança entre as doses de esterco, fósforo e zinco, foi realizada Análise de Cluster utilizando o método de agrupamento UPGMA (Unweighted Pair-Group Means Average) a partir de agrupamentos homogêneos (MINGOTI, 2013). Em seguida, foi aplicada a técnica de Análise de Componentes Principais (ACP) para reduzir o número de variáveis dependentes sem perda de informações. As análises multivariadas foram realizadas no software R versão 4.3.1 (R CORE TEAM, 2023) com o pacote FactoMineR (LÊ et al., 2008).

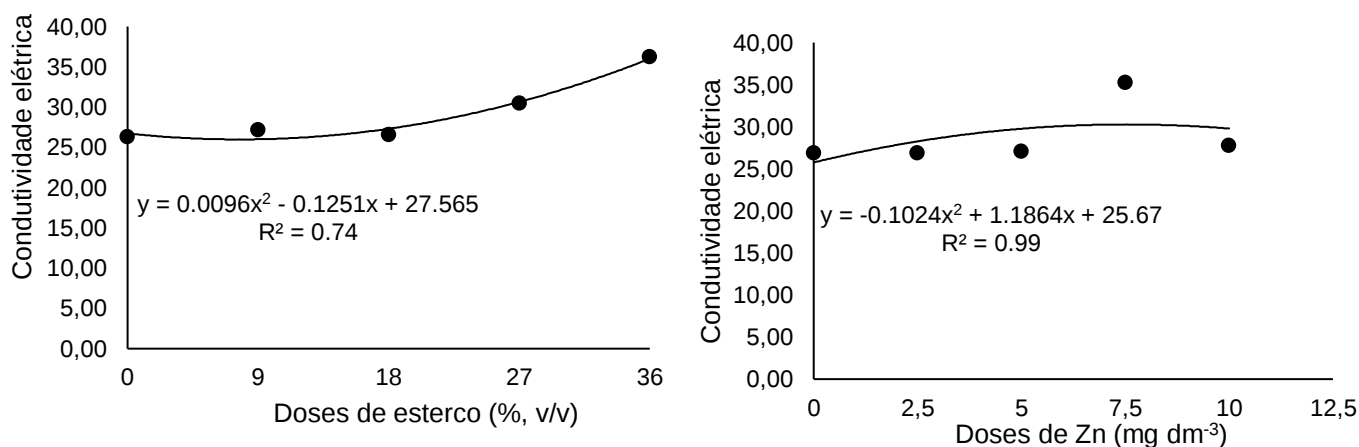
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito dos tratamentos na condutividade elétrica do solo

A variação da condutividade elétrica (CE) do solo em função das doses de esterco e de zinco (Figura 1) mostra uma tendência de aumento com incremento das doses de zinco, sendo a dose de $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$ a que resultou na maior média de CE (Figura 1b). As demais doses (0, 2,5, 5, e 10 mg dm^{-3}) não apresentam diferenças significativas entre si e mantiveram a CE em níveis mais baixos, sendo a dose ótima de zinco para minimizar a CE estimada em $5,76 \text{ mg dm}^{-3}$.

Para as doses de esterco bovino (Figura 1a), efeito quadrado crescente foi verificado para a CE com uma dose ótima de $6,52 \text{ mg dm}^{-3}$. As doses de 0% v/v e 18% v/v de esterco resultam nas menores médias de CE e são estatisticamente semelhantes. Isso sugere que a aplicação de até 18% v/v de esterco pode ajudar a manter a CE em níveis baixos.

Figura 1. Condutividade elétrica (CE) em função das doses de esterco bovino (a) e de zinco (B) em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA sob cultivo de palma forrageira.



As medidas de CE são frequentemente utilizadas para avaliar a concentração salina no solo. Esta não deve ultrapassar $2,0 \text{ dS/dm}$, pois o crescimento das plantas, geralmente, não é afetado até esse valor, embora valores superiores a $2,0 \text{ dS/dm}$ são permitidos apenas quando a cultura apresenta tolerância à salinidade (DIAS et al., 2016).

Os valores de CE máximo obtidos no presente trabalho correspondem a 29,07 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em função da adubação com esterco bovino e 27,97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ em função da adubação com zinco. Quando convertidos em dS/dm representam 0,02907 dS/dm e 0,02797 dS/dm . Esses valores indicam salinidade muito baixa, o que é favorável para a maioria das plantas, sem risco de estresse salino.

Estudos mostram que o aumento da concentração salina do solo pode afetar negativamente a emissão de novas raízes e a produção de massa seca das mesmas (FRANCO-SALAZAR e VÉLIZ, 2008; SANTOS et al., 2020), a velocidade de crescimento e o crescimento final das plantas (FÉLIX et al., 2018), a largura e comprimento dos cladódios primários (RAMOS et al., 2015).

O valor de CE encontrado no solo antes da adubação foi de 0,9927 dS/dm . Assim, adubação com esterco bovino afeta a CE devido o aumento da matéria orgânica no solo, que também contribui para melhorar a estrutura física e a capacidade de retenção de água no solo. No entanto, a CE tende a diminuir após a adubação com esterco bovino conforme Chein et al. (2017).

4.2 Efeito dos tratamentos nos atributos químicos do solo

Na tabela 3 verifica se que as doses de esterco bovino, fósforo e zinco influenciaram os atributos químicos do solo. O pH do solo é um dos fatores mais influentes na fertilidade, pois afeta diretamente a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de metais como o alumínio (FAGERIA et al., 2020).

Quando comparado a dose 0,0 verifica se que a adubação com esterco bovino e fósforo elevaram o valor de pH, sendo esse mais significativo no solo com aplicação de esterco bovino que aumentou gradualmente com o aumento das doses, estabilizando em valores mais elevados. Isso mostra que o esterco bovino tem efeito corretivo, reduzindo a acidez do solo.

No presente estudo, a elevação do pH contribui para a disponibilidade de nutrientes e a redução da toxicidade de elementos como o alumínio. A dose de 36 % v/v elevou o pH ao valor máximo estimado de 6,52.

O pH do solo antes da adubação foi considerado ácido (Tabela 2), segundo Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999), ou seja, abaixo do adequado para a maioria das culturas em que o pH desejável é entre 6,0 e 7,0, incluindo a palma forrageira. No entanto, doses de esterco entre 9% v/v e 36 % v/v,

bem como as de fósforo entre 50 e 200 mg dm⁻³ resultam em aumento do pH.

Tabela 3. Atributos químicos de um Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA em função das doses de esterco bovino, adubação fosfatada e de zinco sob cultivo de palma forrageira.

Dose		pH	Al	H + Al	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	SB	CTCe	CTCp	V	m
		CaCl ₂	Cmol _c dm ⁻³		---mg dm ⁻³ ----		Cmol _c dm ⁻³		mg dm ⁻³		----- Cmol _c dm ⁻³ ----		-- % --	
Esterco Bovino (v/v)														
0	M	5,32	0,15	0,25	33,98	68,81	1,95	0,73	68,08	3,22	3,37	3,46	92,80	4,48
	DP	0,43	0,04	0,07	6,98	36,96	0,08	0,06	0,10	0,32	0,32	0,33	2,02	1,30
9	M	6,13	0,11	0,19	50,75	154,36	3,23	2,46	82,50	6,38	6,49	6,57	97,07	1,80
	DP	0,10	0,05	0,08	6,82	85,59	0,57	0,71	62,34	1,16	1,14	1,13	1,40	0,86
18	M	6,15	0,03	0,04	70,19	153,45	4,33	3,92	122,38	9,18	9,20	9,22	99,51	0,30
	DP	0,04	0,00	0,01	2,59	22,79	0,81	0,70	53,27	1,48	1,48	1,48	0,08	0,05
27	M	6,34	0,14	0,22	69,64	177,32	5,14	4,82	127,88	10,96	11,10	11,19	98,00	1,22
	DP	0,22	0,05	0,09	11,10	36,83	0,71	1,01	32,65	1,61	1,63	1,64	0,78	0,48
36	M	6,52	0,20	0,34	70,68	128,15	6,57	6,94	128,15	14,40	14,60	14,73	97,70	1,40
	DP	0,11	0,04	0,08	10,81	50,72	0,51	0,69	50,72	1,52	1,52	1,52	0,58	0,35
Fósforo (mg dm ⁻³)														
0	M	5,93	0,16	0,26	23,95	94,05	3,95	3,00	94,05	7,60	7,76	7,86	96,71	2,02
	DP	0,11	0,04	0,07	4,53	32,36	0,26	0,31	32,36	0,48	0,50	0,52	0,86	0,54
50	M	6,25	0,16	0,26	46,30	94,05	3,77	3,15	94,05	7,46	7,61	7,72	96,54	2,12
	DP	0,04	0,05	0,07	4,13	32,36	0,63	0,76	32,36	1,38	1,39	1,39	1,22	0,77
100	M	6,15	0,03	0,04	70,19	153,45	4,33	3,92	68,20	9,13	9,15	9,17	99,50	0,30
	DP	0,04	0,01	0,01	2,59	22,79	0,81	0,70	5,05	1,54	1,54	1,54	0,08	0,05
150	M	6,18	0,38	0,63	81,53	125,32	4,15	3,41	110,83	8,03	8,41	8,66	92,46	4,78
	DP	0,13	0,28	0,46	5,33	18,34	0,53	1,05	17,05	1,52	1,44	1,42	6,09	3,94
200	M	6,09	0,03	0,05	82,95	142,37	3,86	3,01	34,10	8,17	8,20	8,22	99,50	0,31
	DP	0,18	0,01	0,01	7,62	25,27	0,58	1,25	3,40	1,15	1,15	1,15	0,14	0,08
Zinco (mg dm ⁻³)														
0,0	M	6,28	0,02	0,03	69,10	132,14	3,76	3,19	34,10	7,48	7,50	7,51	99,54	0,32
	DP	0,25	0,01	0,01	6,36	23,52	0,50	0,55	3,00	1,02	1,02	1,02	0,02	0,05
2,5	M	6,08	0,03	0,04	58,24	121,91	3,39	2,89	42,63	6,89	6,92	6,94	99,38	0,40
	DP	0,19	0,02	0,02	4,28	9,39	0,40	0,26	17,05	0,66	0,67	0,67	0,25	0,20
5,0	M	6,15	0,03	0,04	70,19	153,45	4,33	3,92	68,20	8,94	8,97	8,98	99,49	0,31
	DP	0,04	0,01	0,01	2,59	22,79	0,81	0,70	5,00	1,48	1,48	1,48	0,08	0,05
7,5	M	6,22	0,03	0,04	68,82	148,34	5,07	4,32	68,20	10,02	10,05	10,06	99,59	0,26
	DP	0,15	0,01	0,01	10,05	10,23	0,51	0,60	4,00	1,06	1,06	1,06	0,10	0,05
10,0	M	6,14	0,03	0,05	35,50	109,12	3,11	2,21	59,68	5,60	5,63	5,65	99,08	0,56
	DP	0,14	0,02	0,03	14,21	30,88	0,88	1,13	17,05	2,02	2,04	2,04	0,32	0,20

A elevação do pH do solo contribui para o aumento dos níveis de nutrientes para as plantas, melhora atributos do solo como SB, CTC e V% e reduz a saturação por Al³⁺, que pode ser prejudicial às plantas. Ao avaliar a influência de doses de

esterco bovino, combinada com adubação mineral, sobre atributos químicos de um Latossolo, Silva et al. (2008), concluíram que a adubação com esterco favoreceu o aumento do pH na camada superficial do solo. Tripathi et al. (2014), em um estudo realizado ao longo de 41 anos com diferentes fontes de fertilizantes, observaram que a aplicação de esterco bovino promoveu aumento significativo no pH do solo, sendo esse efeito decorrente da capacidade dos compostos orgânicos presentes no esterco de complexar Al^{3+} , reduzindo sua toxicidade.

O alumínio no solo é um componente crítico, especialmente em solos ácidos, onde sua forma tóxica para as plantas é predominante. No presente estudo seus valores foram considerados baixo, bem como os de saturação por alumínio (m), após aplicação dos tratamentos (Tabela 3), independentemente das doses de esterco bovino, fósforo e zinco. Estudos mostram que a adição de esterco bovino aumenta a disponibilidade de bases trocáveis (Ca^{++} , Mg^{++}), promovendo o tamponamento do pH e a redução da acidez trocável e potencial (CAETANO et al., 2006; BENKE et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2013; VELOSO et al., 2020), tornando com isso o ambiente mais favorável ao desenvolvimento da palma forrageira (GUPTA et al., 2014).

As doses de esterco bovino, fósforo e zinco também influenciaram os teores de nutrientes, bases trocáveis e saturação por bases, com destaque para as doses de esterco bovino para todos os nutrientes e da adubação fosfatada para o teor de fósforo. Os teores de fósforo aumentam proporcionalmente às doses de esterco bovino e de fósforo aplicadas, enquanto reduz na maior dose de zinco aplicada. Assim, a aplicação de esterco bovino e de fósforo melhora significativamente a disponibilidade de P no solo, sendo uma prática sustentável para o manejo de nutrientes.

Ao estudar a influência da calagem e esterco bovino sobre o efeito residual da adubação fosfatada para a *Brachiaria brizantha* cultivada após o feijoeiro, verificou-se que a calagem e a adubação orgânica com esterco influenciaram de forma positiva o efeito residual da adubação fosfatada, aplicada ao feijoeiro (SOUZA et al., 2006; SOUZA et al., 2010).

Para os teores de cálcio, magnésio e potássio foram verificados maior disponibilidade com o aumento das doses de esterco bovino aplicadas, indicando que o esterco contribui para o enriquecimento desses nutrientes no solo. O cálcio é essencial para a neutralização da acidez e para a saturação da CTC, substituindo

íons de hidrogênio e alumínio nas cargas negativas do solo. Ainda, desempenha papel importante na nutrição das plantas, atuando na estabilidade das paredes celulares e no transporte de nutrientes.

Souto et al. (2013), em pesquisa acerca da liberação de nutrientes de esterco em Luvisolo no semiárido paraibano, revelam que a adição de esterco influenciou de maneira significativa a concentração de cálcio no solo. Já Galvão et al. (2008) ao quantificar as concentrações de nutrientes em solos de áreas adubadas e não adubadas com esterco, observaram que a quantidade de nutrientes adicionados anualmente pelo esterco no solo resulta em acumulações significativas de C, N, P, K, Ca e Mg na camada de 0 a 20 cm. Já Souza et al. (2021) verificaram que a adubação com esterco ovino em Planossolo sob cultivo com *Mimosa caesalpinifolia* aumentaram os valores de pH, P, K, Ca, Mg, SB, CTC, V% e Zn, além de reduzirem a acidez potencial na camada superficial do solo. Nesse contexto, o esterco bovino é uma ferramenta eficaz para incrementar os teores de nutrientes no solo.

O aumento nos teores de cálcio, magnésio e potássio se refletiram na soma de bases (SB), aumentando de forma consistente, principalmente com as doses de esterco bovino, o qual passou de 4 (com 0% v/v de esterco) para aproximadamente 14 (com 36% v/v de esterco). A correlação positiva entre o aumento das doses de esterco e a SB indica que o uso de esterco bovino pode ser uma estratégia eficaz para melhorar a qualidade do solo em áreas sob cultivo de palma forrageira.

A CTC efetiva e potencial do solo também foi aumentada com o aumento das doses de esterco bovino, variando de aproximadamente 4 cmolc dm^{-3} na dose 0% v/v a 14 cmolc dm^{-3} na dose 36% v/v. O esterco bovino é rico em matéria orgânica, a qual aumenta a quantidade de cargas negativas nos complexos de troca do solo, elevando a capacidade do solo de reter cátions como Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} e Na^{+} . Essa alta capacidade de troca catiônica é fundamental para manter os nutrientes disponíveis para as plantas, reduzindo perdas por lixiviação, especialmente em solos arenosos como os do semiárido do Nordeste do Brasil. Costa e Valeri (2012), ao estudar o efeito do esterco bovino no teor e acúmulo de macronutrientes em folhas de *Corymbia citriodora* observaram que a adubação com o esterco bovino elevou o valor da CTC de 4,77 para 5,94 cmolc dm^{-3} como consequência do aumento da matéria orgânica (LOURENZI et al., 2014).

Para a adubação com zinco foi verificado uma redução nos teores de nutrientes (P, Ca^{++} , Mg^{++} e K^{+}) no solo na maior dose aplicada (10 mg dm^{-3}). O Zn pode favorecer o transporte de K^{+} dentro da planta (KACHINSKI et al., 2020; COELHO et al., 2023), bem como sua disponibilidade no solo em doses moderadas. Como essa dose proporcionou as maiores produções de matéria fresca e seca de palma forrageira (Figura 4), conforme posteriormente discutido, provavelmente foi a que também contribuiu para maiores extrações desses nutrientes pela planta, reduzindo com isso a disponibilidade dos mesmos no solo.

Diante dos resultados apresentados, tem-se que os tratamentos aplicados influenciaram de forma significativa nos atributos químicos do solo, promovendo melhorias na fertilidade como a elevação do pH e aumento na disponibilidade de nutrientes.

4.3 Efeito dos tratamentos e do tempo de cultivo no número de brotos, crescimento e produção de palma forrageira

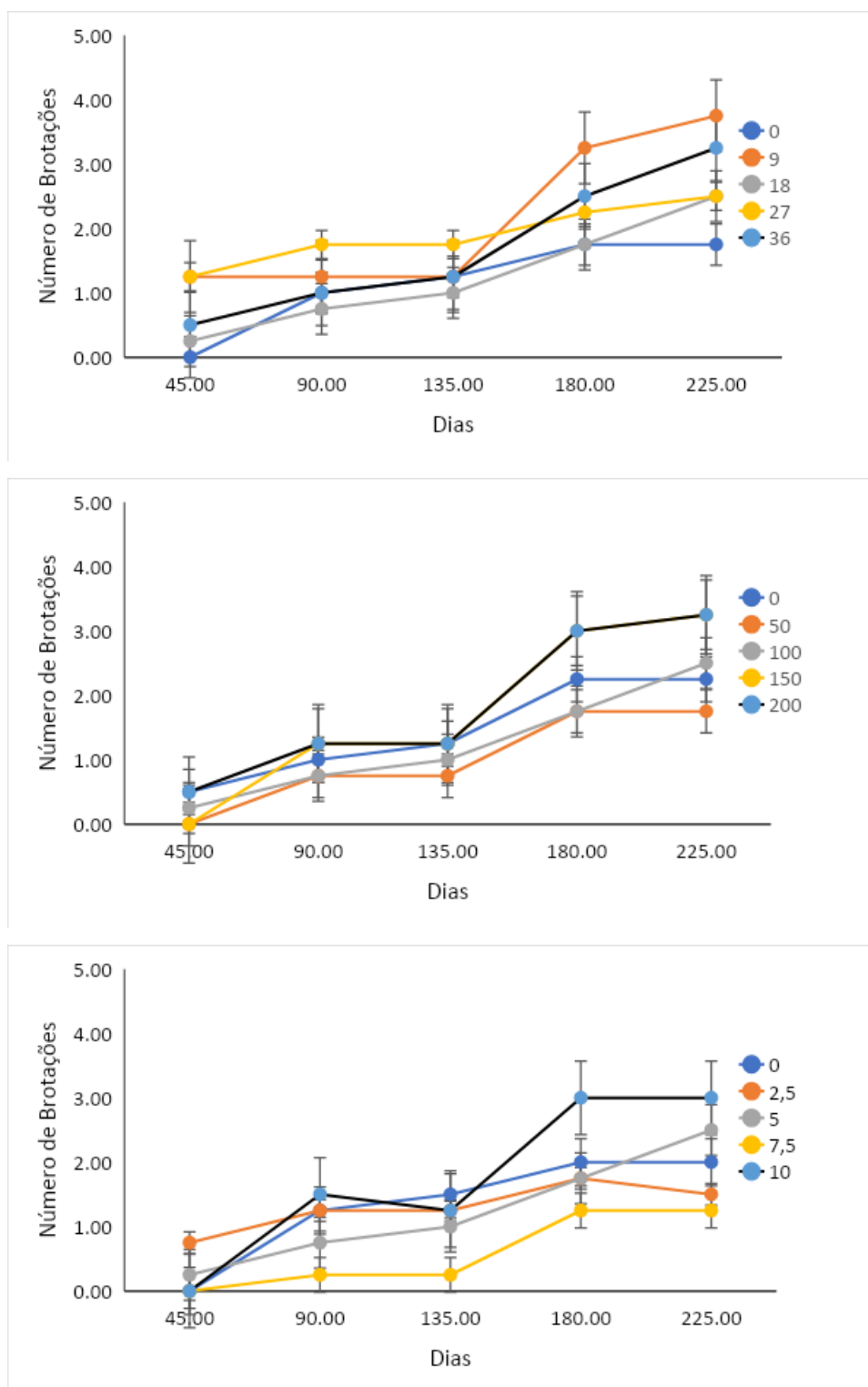
O número de brotos em cada tratamento em função do tempo de cultivo está apresentado na figura 2. Observa-se um aumento no número de brotos em função do manejo da adubação, com tendência no acréscimo e diferenciação entre as doses para cada tipo de adubação a partir dos 180 dias após o plantio.

Na adubação com esterco bovino (Figura 2a), verifica-se maior número de brotos na dose de 9,0 % v/v a partir dos 180 dias, e 9,0 e 36 % v/v, aos 225 dias após o plantio. A dose de 200 mg dm^{-3} de P_2O_5 , proporcionou maiores valores a partir dos 180 dias (Figura 2b), com valor médio de 3,25 brotos por planta aos 225 dias, comportamento também verificado para a adubação com zinco (Figura 2c), na dose de $10,0 \text{ mg dm}^{-3}$. Para as avaliações realizadas aos 45, 90 e 120 dias, houve comportamento semelhante entre os tratamentos para o número de brotações, independentemente do tipo de adubação.

Neste sentido, constata-se que as adubações com esterco bovino, fósforo e zinco influenciam o número de brotações por planta, estando esse efeito relacionado ao tempo de cultivo da palma forrageira, principalmente após 135 dias de cultivo. Para adubação com esterco bovino, Ramos et al. (2015) encontraram entre 1,15 a 2,30 cladódios primários aos 120 dias de cultivo em palma forrageira, variedade

Gigante, sob adubação orgânica, valor similar ao encontrado no presente estudo.

Figura 2. Número de brotações ao longo do tempo em palma forrageira em função da aplicação de esterco bovino (a), fósforo (b) e zinco (c) em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA, sob cultivo de palma forrageira.



A deficiência de fósforo reduz o número de cladódios por planta, o que diminui sua capacidade fotossintética (TELES et al., 2002). O número total de cladódios é uma importante característica para a palma forrageira, pois está fortemente correlacionado com a produção de fitomassa (PINHEIRO et al., 2014). Assim, quanto maior o número de cladódios maior é a expectativa de produção da palma forrageira.

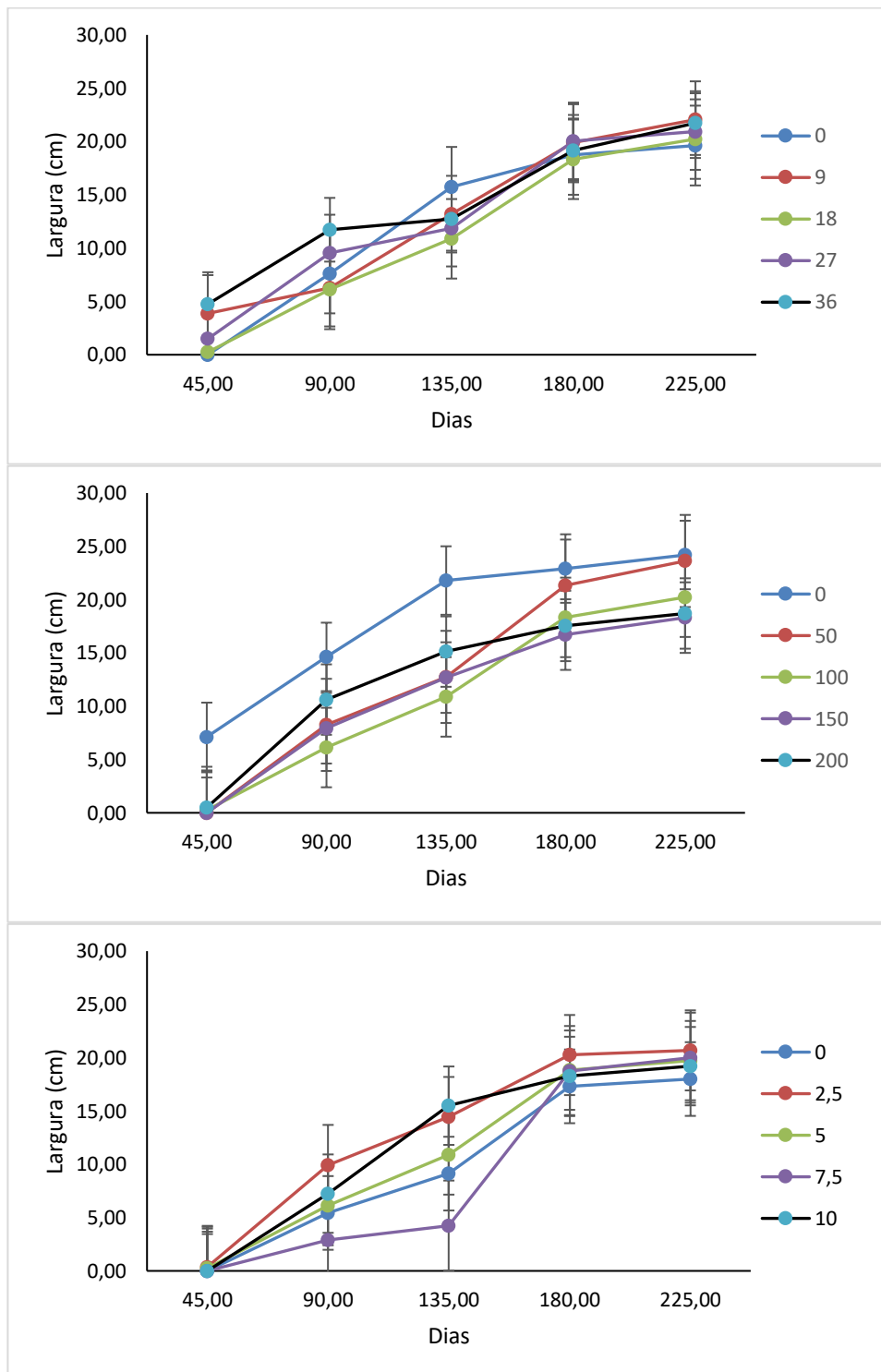
Na figura 3b, observa-se que o acréscimo das doses de fósforo promoveu aumento no número total de cladódios por planta. Esse acréscimo na quantidade de cladódios por planta resultou em uma maior produtividade, maximizando a produção de biomassa verde, que é de grande interesse tanto para comercialização e alimentação humana, quanto para fornecimento para os animais.

Em estudo conduzido por Silva e Sampaio (2016) foram encontrados 11,58 cladódios por plantas com adubação fosfatada (150 kg ha^{-1} de P_2O_5) nos espaçamentos ($1,00 \times 0,50 \text{ m}$; $2,00 \times 0,25 \text{ m}$ e $3,00 \times 1,00 \times 0,25 \text{ m}$) para a cultivar “Gigante” aos 620 dias após o plantio, quantidade superior a encontrada no presente estudo. Esse comportamento é explicado pelo maior número de dias analisados, quase três vezes o do presente estudo, bem como ter sido conduzido sob condições de campo, a pleno sol, condições diferentes da casa de vegetação.

Em experimento realizado em casa de vegetação para avaliar doses de NPK, foi observado número de cladódios variando entre 1,87 a 3,12 na cultivar IPA-20 aos 180 dias após plantio (DUBEUX JUNIOR et al., 2010), valores próximos ao do presente estudo. É importante ressaltar que o número de cladódios da palma forrageira é influenciado pela fertilidade do solo, pelas condições climáticas e, principalmente, pela densidade de plantio (SAMPAIO et al., 2005).

A palma forrageira apresentou menor variação na largura dos cladódios em função do manejo das adubações com esterco bovino, adubação fosfatada e zinco ao longo do tempo de plantio (Figuras 3a, b e c, respectivamente). No entanto, embora variações tendam a ocorrer, principalmente na fase inicial de crescimento da cultura, a tendência ao longo do tempo é de similaridade na largura dos cladódios, conforme verificado a partir dos 180 dias entre os tratamentos de adubação.

Figura 3. Largura dos cladódios ao longo do tempo em palma forrageira em razão da aplicação de esterco bovino (a), fósforo (b) e zinco (c) em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA, sob cultivo de palma forrageira.



Ressalta-se, que a dimensão do cladódio é característica de fundamental importância para a captação de luminosidade, além de atuar como um órgão de reserva de água e de produção da maioria dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento da palma. Com isso, a dimensão do cladódio favorece o processo fotossintético e aumento da produção por área.

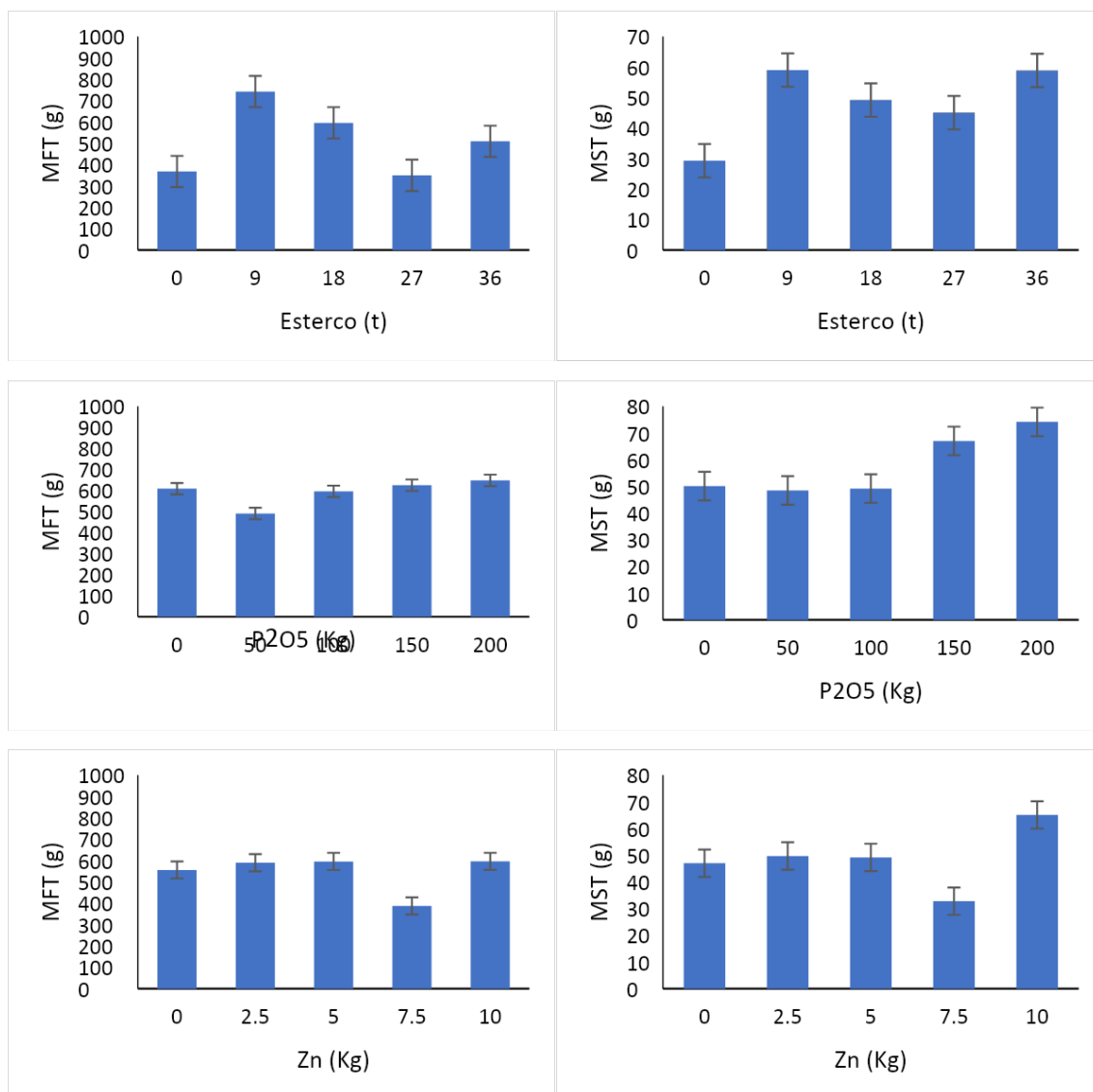
Além disso, órgãos das plantas com maiores reservas de água têm um maior potencial de adaptação ao estresse hídrico (RAMOS et al., 2015). Com isso, a largura do cladódio constitui característica morfológica de suma importância no desenvolvimento da cultura, pois apresenta alta correlação com a produção de massa seca, de forma a elevar a produtividade da palma forrageira (SILVA et al., 2010).

No geral, a largura dos cladódios obtidos no estudo foi similar à média observada por Rocha et al. (2017), que ao avaliar características estruturais da palma forrageira “Orelha de Elefante Mexicana”, obtiveram largura média total dos cladódios de 21,36 cm. Cavalcante et al. (2014), em experimento com palma forrageira do gênero *Opuntia* sp. e *Nopalea* sp. encontraram valores de 31,20 e 15,96 cm para largura e comprimento de cladódio após 720 dias de plantio, respectivamente. Ferreira et al. (2003) ao avaliar a palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes doses de adubação química e orgânica, verificaram largura média de cladódios de 17,4 cm aos 510 dias após plantio e 18,3 cm 720 dias após plantio, respectivamente. Esses resultados foram inferiores ao do presente estudo, que após 225 dias de plantio apresentaram diâmetro latitudinal de 22,05 cm na proporção 9% v/v de esterco e 23,63 cm na dose de 50 mg dm⁻³ de fósforo.

A produção de matéria fresca total (MFT) e matéria seca total (MST) foram influenciadas pelas adubações com esterco, fósforo e zinco (Figura 4). Os cladódios cultivados na proporção de esterco com 9% v/v apresentaram as maiores médias de MFT e MST (742,26 g e 58,98 g) e também o maior número de brotos (3,75) após 225 dias de plantio. Destaca-se também que, todas as demais doses contribuíram para o aumento da MFT e MST em relação ao tratamento testemunha.

A maior MFT dos cladódios com o nível 9% v/v de esterco se deve a melhor condição nutricional a partir da disponibilidade de nutrientes, favorecendo ao maior acúmulo de biomassa. A presença de matéria orgânica no solo contribui para um equilíbrio nutricional e fisiológico mais eficiente, promovendo, assim, o aumento na produção e acúmulo de fotoassimilados (SOUZA et al., 2018).

Figura 4. Valores médios de produção de massa fresca e seca de palma forrageira em razão da aplicação de esterco bovino, fósforo e zinco em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA, sob cultivo de palma forrageira. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total.



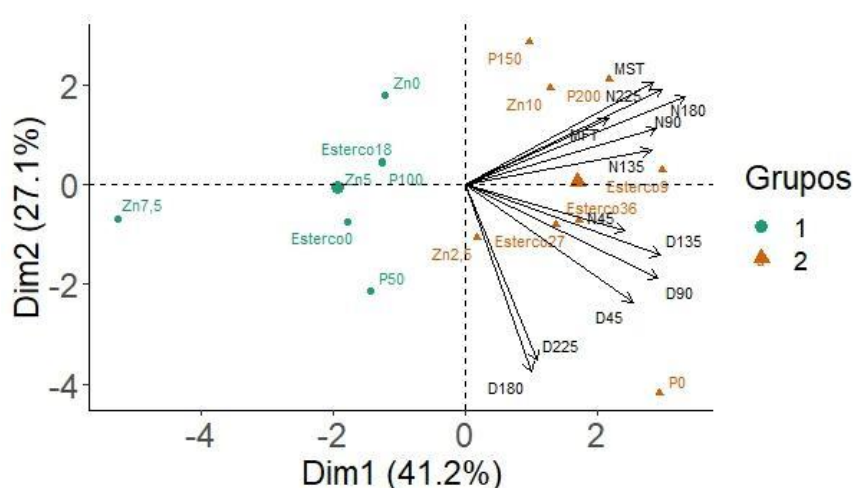
Em experimento com a cultivar de palma forrageira “Gigante” utilizando adubação orgânica, os autores constataram que o incremento das doses de esterco bovino até 90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ melhora as características estruturais e o rendimento da palma forrageira. Esse efeito contribuiu para o aumento do número de cladódios por planta, na altura das plantas e na produção de matéria fresca e seca (BARROS et al., 2016). Em outra análise biométrica de cladódios de palma forrageira, foi relatado que

o incremento das doses de esterco bovino promoveu tanto o aumento da altura da planta, quanto no comprimento do cladódio da palma forrageira (XAVIER et al., 2020).

Para a adubação fosfatada, as maiores doses de P_2O_5 proporcionaram aumento da MST, enquanto a dose de 50 mg dm^{-3} a menor produção de MFT. Para a adubação com zinco, a dose de $7,5 \text{ mg dm}^{-3}$ proporcionou os menores valores de MFT e MST. De acordo com Dubeux Júnior et al. (2013) a adubação é fator determinante na produção de massa fresca, principalmente nos plantios adensados de palma forrageira.

A matriz de correlação de Pearson entre algumas variáveis avaliadas no presente estudo, demonstra que o número de brotos, revelou uma alta correlação entre MFT e MST, entre o N180 e MST, entre N225 e MST, entre N225 e N180 e entre D135 e D90 (Figura 5).

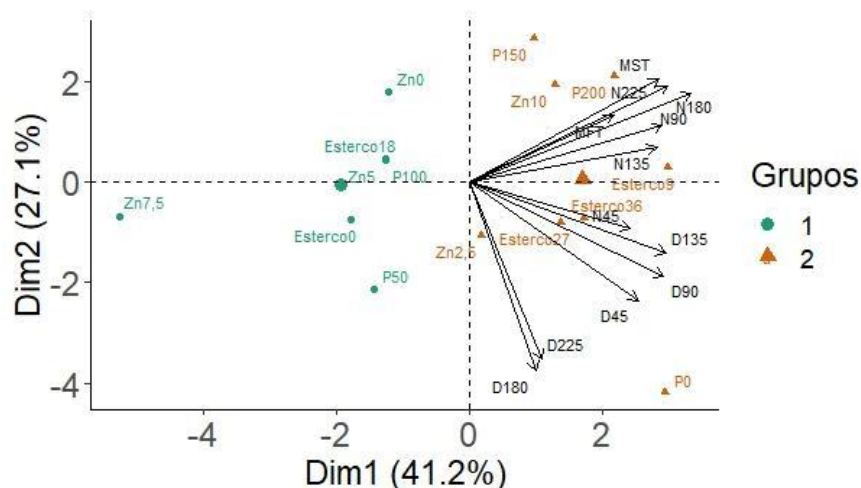
Figura 5. Matriz de correlação de Pearson entre as 12 variáveis analisadas ao longo do cultivo da Palma forrageira em Planossolo Háplico da região de Rafael Jambeiro, BA. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total, N = Número de brotações, D = Diâmetro dos cladódios.



Para verificar a semelhança entre as doses de esterco, fósforo e zinco no cultivo da palma foi realizado análise de componentes principais e de agrupamento (Figura 6). De acordo com seu grau de semelhança, as doses de esterco, fósforo e zinco foram agrupadas em dois grupos pela análise de Cluster. O grupo um foi

formado pelas doses 0 e 18 de esterco, 50 e 100 de P_2O_5 , 0, 5 e 7,5 de zinco. O grupo dois foi formado pelas demais combinações de adubação.

Figura 6. Análise de componentes principais e agrupamento. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total, N = Número de brotações, D = Diâmetro dos Cladódios.



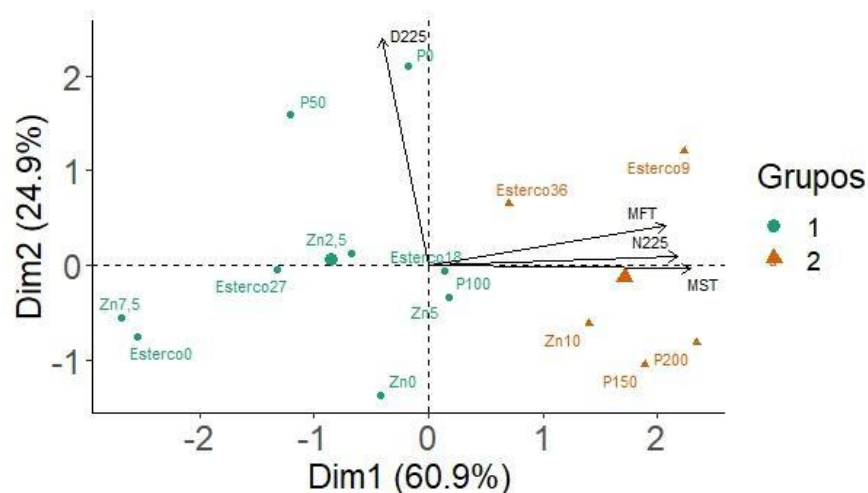
As variáveis que se encontram agrupadas de forma mais próxima possuem maior correlação. Para os tratamentos P150, P200, Zn10 e esterco 9 as variáveis MFT, MST, N90, N135, N180 e N225 obtiveram as maiores médias. Já para os tratamentos P0, esterco 27, esterco 36 e Zn2,5 as variáveis N45, D45, D90, D135, D180 e D225 apresentaram as maiores médias, sendo que os melhores tratamentos se encontram no mesmo grupo, os quais correspondem a P200 e esterco 9, fazendo parte do grupo 2.

A avaliação da correlação entre as variáveis de crescimento da palma forrageira foi obtida com análise de componentes principais, em que o PC1 e o PC2 explicam 68,3% da variação dos dados (Figura 6).

Para avaliar os resultados das últimas análises realizadas na palma forrageira, foi aplicada análise de componentes principais para verificar a real contribuição das variáveis dependentes (Figura 7). As variáveis MFT, MST e N225 apresentaram correlação positiva com os tratamentos P150, P200, Zn10, esterco 9% e 36%. A avaliação da correlação entre as variáveis de crescimento da palma forrageira foi obtida com análise de componentes principais, em que o PC1 e o PC2 explicam 85,8% da variação dos dados (Figura 7). Dessa forma, é possível perceber que valores mais expressivos de MFT, MST e número de brotos após 225 dias de

plântio, foram obtidos quando utilizado 9% de esterco, a dose de 200 mg dm⁻³ de fósforo, e a dose de 10 mg dm⁻³ de zinco.

Figura 7. Análise de componentes principais e agrupamento. MFT = Matéria Fresca Total; MST = Matéria Seca Total, N = Número de brotações, D = Diâmetro dos cladódios.



As correlações identificadas neste estudo são fundamentais para orientar a tomada de decisões em estudos futuros, visando quantificar as doses e níveis ideais de adubos minerais e orgânicos na produção de palma forrageira destinada tanto a alimentação animal quanto a humana.

5. CONCLUSÕES

A adubação com esterco bovino, fósforo e zinco influenciaram variáveis do solo como condutividade elétrica, pH e teores de nutrientes, principalmente com os aumentos das doses de esterco bovino e de fósforo.

O número de brotos foi influenciado pelas adubações, principalmente após os 180 dias de plantio, nas doses de 9% v/v, 200 mg dm⁻³ de P₂O₅ e 10 mg dm⁻³ de zinco. Esse efeito não foi verificado para a largura dos cladódios que tende a se igualar ao longo do tempo de plantio, independentemente do tipo e dose de adubo aplicado.

A produção de matéria fresca e seca total foram influenciadas pela adubação com esterco bovino, tendo a dose de 9% v/v apresentado as maiores médias (742,26 g e 58,98 g, respectivamente) e também o maior número de brotos (3,75) após 225 dias de plantio.

As adubações fosfatada e zincada influenciam a produção, tendo as maiores doses de P₂O₅ proporcionado aumento da matéria seca total, enquanto a dose de 50 mg dm⁻³ a menor produção de matéria fresca. Para a adubação com zinco, a dose de 7,5 mg dm⁻³ proporcionou os menores valores de matéria fresca e seca total de palma forrageira.

A matriz de correlação de Pearson mostrou alta correção entre o número de brotos, matéria fresca e seca total, bem como do número de brotos e da largura dos cladódios com alguns tempos de avaliação dessas variáveis.

6. REFERÊNCIAS

ALKAHTANI, J.; ELSHIKH, M. S.; ALWAHIBI, M. S.; MUHAMMAD, A.; KHALID, S. Phosphorus and zinc fertilization improve productivity and profitability of rice cultivars under rice-wheat system. **Agronomy**, v. 10, n. 8, p. 1085, 2020.

AMORIM, D. M.; SILVA, T. G. F. da.; PEREIRA, P. de C.; SOUZA, L. S. B. de.; MINUZZI, R. B. Fenofases e épocas de corte da palma forrageira sob sistemas de irrigação e cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 62-71, 2017.

BARROS, J. L. de.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; JÚNIOR, M. C. P. Palma forrageira 'Gigante' cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v.6, p.53-65, 2016.

BENKE, M. B.; HAO, X.; O'DONOVAN, J. T.; CLAYTON, G. W.; LUPWAYI, N. Z.; CAFFYN, P.; HALL, M. Livestock manure improves acid soil productivity under a cold northern Alberta climate. **Canadian journal of soil science**, v. 90, n. 4, p. 685-697, 2010.

BETTIOL, W.; SILVA, C. A.; CERRI, C. E. P.; MARTIN NETO, L.; ANDRADE, C. A. de. **Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. CEP, v. 13918, p. 110, 2023.

BOTELHO, S. M.; VELOSO, C. A. C.; RODRIGUES, J. E. L.; FERREIRA, E. V. O. Fertilizantes orgânicos. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Pará**. Brasília, Embrapa, p. 93-103, 2020.

BRASIL, S. O. S.; FERREIRA, M. A. B.; LIMA, L. D.; LIMA, J. S.; SOARDI, K.; ANAMI, J. M. Palma forrageira: uma oportunidade socioeconômica para o semiárido brasileiro. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, p. 1339-1353, 2018.

CAETANO, L.C. S.; CARVALHO, A. J. C. de. Efeito da adubação com boro e esterco bovino sobre a produtividade da figueira e as propriedades químicas do solo. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1150-1155, 2006.

CAKMAK, I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. **New Phytologist**, v. 146, p. 185-205, 2000.

CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, Á. V. D.; CURI, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J. D. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1133-1141, 2008.

CARNEIRO, R. S. de A.; VIEIRA, C. R. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. **Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 4, p. 386-395, 2020.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. D. A.; SILVA, L. M. D.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. D. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes

densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.4, p.424–433, 2014.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 38, p. 729-735, 2003.

COELHO, J. J.; CUNHA, M. V.; SOUZA, T. C.; CAMELO, D.; GURGEL, A. L. C. **Adubação de pastagens tropicais**, 2023. Disponível em: Adubacao-de-pastagens-tropicais.pdf. Acesso em: 10 jan. 2025.

COSTA, F.G.; VALERI, S.V. Efeito do esterco bovino no teor e acúmulo de macronutrientes em folhas de *Corymbia citriodora*. **Nucleus**, v. 9, n. 1, p. 101-114, 2012.

COSTA, L. S. **Cultivo simultâneo de *Paraburkholderia tropica* e *Gluconacetobacter diazotrophicus* para a produção de inoculante**. 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Ciência do Solo) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, v. 4, p. 216, 1999.

CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MAUAD, M.; SILVA, A. C. L. Desenvolvimento radicular e aéreo, nutrição e eficiência de absorção de macronutrientes e zinco por cultivares de arroz de terras altas afetadas pela adubação fosfatada. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2061-2076, 2013.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIMA, L. E.; FERREIRA, R. L. C. Produtividade de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller sob diferentes adubações com N e P e população de plantas no Nordeste do Brasil. **Revista de Ambientes Áridos**, v. 67, n. 3, pág. 357-372, 2006.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira-Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; SARAIVA, F. M.; SANTOS, D. C. Efeito da adubação sobre a produtividade de cultivares de palma forrageira. In: **I workshop sobre palma forrageira**. p. 45-59, 2012.

DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Potential of cactus pear in South America. **Cactusnet Newsletter**, v. 13, p. 29-40, 2013.

DUTRA, M. F. B. et al. Aclimatização de genótipos de palma forrageira *Opuntia stricta* (Haw.) E *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck resistentes a cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*)/aclimatização de genótipos de cactus pear *Opuntia ficus-*

indica (L.) Mill resistente a carmim cochineal (*Dactylopius opuntiae*). **HOLOS**, v. 7, pág. 1-19, 2020.

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 531–541, 2001.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. CRC press, 2010.

FARIAS, I.; FERNANDES, A. P. M.; LIMA, M. A. **Cultivo da palma forrageira em Pernambuco**. Recife: IPA, 1984. 5 p. (IPA. Instruções Técnicas, 21).

FÉLIX, E. S.; LIMA, W. B.; SILVA, C. T.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C. de. Cultivo de palma forrageira (*Opuntia Stricta*) irrigada com água salinizada/Cultivation of palma forrageira (*Opuntia Stricta*) irrigated with salinized water. **Brazilian Applied Science Review**, v. 2, n. 6, p. 1869-1875, 2018.

FERREIRA, C.A.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, D. C. D.; SANTOS, M. V. F. D.; SILVA, J. A. A. D.; LIRA, M. D. A.; MOLICA, S. G. Utilização de técnicas multivariadas na avaliação da divergência genética entre clones de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 6, p. 1560-1568, 2003.

FILGUEIRAS, L. M. B.; MENESES, C. H. S. G. Efeito das bactérias promotoras de crescimento de plantas na proteção contra o estresse hídrico. **BIOFARM-Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 11, n. 1, p. 21-30, 2015.

FONSECA, V. A.; RODRIGUES, C. S.; ALVARENGA, R. R.; SANTOS, D. B. D.; BEBÉ, F. V.; PINA, D. S. Yield of ‘Gigante’cactus pear cultivated under biofertilizer doses and application intervals. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 633-640, 2021.

FRANCO-SALAZAR, V. A.; VÉLIZ, J. A. Efectos de la salinidad sobre el crecimiento, acidez titulable y concentración de clorofila en *Opuntia fi cus-indica* (L.) MILL. **Saber**, Universidad de Oriente, v. 20, n. 1, p. 12-17, 2008.

FROTA, M. N. L.; CARNEIRO, M. D. S.; CARVALHO, G. M. C.; ARAÚJO NETO, R. B.; CARNEIRO, M. S. S. Palma forrageira na alimentação animal. 2015. **Embrapa Meio-Norte**, 2015. 47 p.

GOMES, L. S. P.; BRAZ, T. G. S.; MOURTHÉ, M. H. F.; PARAÍSO, H. A.; NETO, O. D. S. P.; SILVA, F. E. G.; ALMEIDA, B. Q. Níveis de substituição de ureia por esterco bovino na adubação de capim-marandu. **Revista de Ciências Agrárias**, v.41, n.4, Lisboa, 2018.

GUPTA, D. K.; CHATTERJEE, S.; DATTA, S.; VEER, V.; WALTHER, C. Role of phosphate fertilizers in heavy metal uptake and detoxification of toxic metals. **Chemosphere**, v. 108, p. 134–144, 2014.

GUTJAHR, C.; PASZKOWSKI, U. Weights in the balance: Jasmonic acid and Salicylic acid signaling in root-biotroph interactions. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, St. Paul, v. 22, n. 7, p. 763-772, 2009.

HALL, D. O.; RAO, K. **Photosynthesis**. Cambridge University Press, 1999.

HALISKI, A. **Acidez do solo e toxicidade do alumínio em sistema plantio direto de longa duração**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

HASSAN, S.; LIGUORI, G.; INGLESE, P.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. The effect of soil volume availability on *Opuntia ficus-indica* canopy and root growth. **Agronomy**, v. 10, n. 5, p. 635, 2020.

HASSAN, M. U.; AAMER, M.; UMER CHATTHA, M.; HAIYING, T.; SHAHZAD, B.; BARBANTI, L.; GUOQIN, H. The critical role of zinc in plants facing the drought stress. **Agriculture**, v. 10, n. 9, p. 396, 2020.

HOLANDA, F. S. R.; DIAS, K. L. L. D.; SANTOS, L. D. V.; BRITO, C. R. D. M.; MELO, J. C. R. D.; SANTOS, L. S. Development and morphometric characteristics of vetiver grass under different doses of organic fertilizer. **Revista Caatinga**, v. 34, p. 20-30, 2021.

IRMES, K.; KRISTÓ, I.; SZENTPÉTERI, L.; RÁCZ, A.; VÁLYI-NAGY, M.; KASSAI, M. K.; TAR, M. The Effect of Foliar Zinc Application on the Leaf Chlorophyll Concentrations and Grain Yields of the Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) in the Field Experiments of Two Seasons. **Agronomy**, v. 13, n. 6, p. 1640, 2023.

JARDIM, A. M.; SILVA, T. G. D.; SOUZA, L. S. D.; SOUZA, M. D. S.; MORAIS, J. E. D.; ARAÚJO, G. D. N. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 756-761, 2020.

JANEGITZ, M. C.; SOUZA, E. D.; ROSOLEM, C. A.; GRASSMANN, C. Disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio no solo em função da aplicação de corretivos e sistema de manejo. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**. 2015.

JÚNIOR, L. A. dos A. V.; SILVA, N. D.; SILVA, A. J. P.; SANTOS, D. B.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, F. A. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 4, p. 3578, 2019.

KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta ea saúde humana: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e827973544-e827973544, 2020.

KUZIEMSKA, B.; KLEJ, P.; WYSOKINSKI, A.; RUDZIŃSKI, R. Effect of zinc along with organic fertilizers on phosphorus uptake and use efficiency by cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.). **Agriculture**, v. 12, n. 9, p. 1424, 2022.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, p. 1–18, 2008.

LÉDO, A. A.; DONATO, S. L.; ASPIAZÚ, I.; SILVA, J. A. D.; DONATO, P. E.; CARVALHO, A. J. D. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 413-418, 2019.

LEITE, M. J. de H. Características gerais dos principais solos da região semiárida. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 3, n. 10, p. e3101964-e3101964, 2022.

LIRA, M. A. Palma forrageira: cultivo e usos. **Cadernos do Semiárido, Riquezas & Oportunidades. Recife: CREAPE**, 2017.

LOPES, L.; CARDOSO, D.; CAMARGO, K.; SILVA, T.; SOUZA, J.; SILVA, J. R.; ARAÚJO, T. P. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. **Pubvet**, v. 13, p. 170, 2019.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; FERREIRA, P. A. A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 949-958, 2014.

MACÊDO, A. J. da S.; NETO, J. M. C.; OLIVEIRA, L. B. de.; EDVAN, R. L.; SANTOS, E. M. A cultura da palma, origem, introdução, expansão, utilidades e perspectivas futuras: Revisão de Literatura. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 62967-62987, 2020.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: CERES, 1980.251p.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. Fisiologia vegetal. **Viçosa: Editora UFV**, 2009.

MARQUES, O. F. C.; GOMES, L. S. de. P.; MOURTHÉ, M. H. F.; BRAZ, T. G. dos. S.; NETO, O. D. S. P. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.

MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H.; SOUZA, F. J. Produtividade de palma em propriedades rurais. In: **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, p. 129-142, 2005.

MENEGHETTE, H. H. A.; LAZARINI, E.; BOSSOLANI, J. W.; PARRA, L. F.; HAYASHI, F. K. Doses de fósforo e potássio em plantas de amendoim na presença e ausência de adubação foliar. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 2, p. 125-134, 2017.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. **Belo Horizonte: Editora**. (seconded.), UFMG, 2013, 295p.

MONTEIRO, M.C.H.; TORRENT, J. Dinâmica do fósforo no solo: perspectiva agronômica e ambiental. **Castelo Branco: IPCB**. ISBN 978-989-8196-10-1. 97 p, 2010.

MOREIRA, F.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2ª edição. **Editora UFLA**, 2006.

MIYASAKA, S.; NAKAMURA Y; OKAMOTO H. **Agricultura natural**. 2.ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1997. 73p. (Coleção agroindústria).

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H; BARROS, N. F. de.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007. 64p.

OLIVEIRA, M. E. F.; MOTA, K. N. A. B.; SANTOS, R. M.; AMORIM, E. L.; CRUZ, D. P.; SANTOS, A. R. dos. Utilização do esterco bovino minimiza o efeito tóxico do alumínio em plantas de mamoeiro. **Cadernos de Agroecologia [Volumes 1 (2006) a 12 (2017)]**, v. 8, n. 2, 2013.

OLSEN, S. R. Micronutrients Interactions. **In: Micronutrients in agriculture Madison: Soil Science Society of America**, p. 243-264, 1972.

PAIVA, H. N. Teor, conteúdo e Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. **Ciência Florestal**, v.13, n.1, p.1-10, 2003.

PESSOA, R. M. dos S.; PESSOA, A. M. dos S.; COSTA, D. C. D. C. C.; AZEVÊDO, P. C. da S.; GOIS, G. C.; CAMPOS, F. S.; LIMA, D. O. Palma forrageira: Adubação orgânica e mineral. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, p. e12111334257-e12111334257, 2022.

PEREIRA, A. S. A.; SILVA, A. A.; TANADA, E.; CASTRO, J. S.; LORENTZ, J. F.; ASSIS, L. R.; ALVES, S. C.; RIBEIRO, V. J.; OTONI, W. C. **Manual técnico de práticas e manejo para Palma Forrageira – Volume 01**. 1. ed. Viçosa, MG: UFRV, 2022. Disponível em: <https://projetopropagapalma.ufrv.br/wp-content/uploads/2022/04/Manual-tecnico-de-praticas-e-manejo-para-Palma-Forrageira-%E2%80%93-Volume-01.pdf> . Acesso em: 30 out. 2024.

PEREIRA, A. S. A.; SILVA, A. A.; TANADA, E.; CASTRO, J. S.; LORENTZ, J. F.; ASSIS, L. R.; ALVES, S. C.; RIBEIRO, V. J.; OTONI, W. C. **A palma forrageira como alternativa para alimentação animal no Semiárido: Vantagens e limitações**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2020. Cartilha. Disponível em: <https://bibliotecasemiaridos.ufrv.br/bitstream/123456789/247/1/Texto%20completo.pdf> . Acesso em: 30 out. 2024.

PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F. D.; CARVALHO, H. F. D. S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F. D.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. D. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 49, p. 939-947, 2014.

PINTO, L. A.; PINTO, A. A.; TAVARES, M. S.; SILVA, L. F. V. da.; CAMARA, F. T. da. Palma forrageira na presença ou ausência de nitrogênio e adubação fosfatada. **MAGISTRA**, v. 31, p. 758-767, 2020.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria**. 2023. Disponível em: URL <https://www.R-project.org/>

RAMOS, J. P. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; BEZERRA, H. F. C.; PEREIRA, G. A.; BELTRÃO, G. R.; OLIVEIRA, J. S. Crescimento da palma forrageira em função da adubação orgânica. **REDVET - Revista Electrónica de Veterinaria**, v. 16, n. 12, 2015.

ROCHA, R.S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, p. 363-371, 2017.

ROTARU, V. I.; RISNOVEANU, L. Interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and phosphates sources on growth and phosphorus nutrition of soybean under moderate drought. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, Cluj-Napoca**, Romania, v. 47, n. 3, p. 872-880, 2019.

ROY, E. D.; RICHARDS, P. D.; MARTINELLI, L. A.; COLETTA, L. D.; LINS, S. R. M.; VAZQUEZ, F. F.; PORDER, S. The phosphorus cost of agricultural intensification in the tropics. **Nature plants**, v. 2, n. 5, p. 1-6, 2016.

SALAZAR-SOSA, E.; TREJO-ESCARREÑO, H. I.; LOPEZ-MARTINEZ, J. D.; BETANCOURT, M. D. L. G.; GARCIA, A. A. V.; GALICIA, J. A. C. Opuntia forage (*Opuntia ficus indica* L) response to solarized cattle manure amendments in four plant densities. **International Journal of New Technology and Research**, v. 3, n. 9, p. 263246, 2017.

SAMPAIO, E. V. S. B.; MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. **Recife: Ed. Universitária da UFPE**, p. 43-56, 2005.

SANTANA, M. A.; SOUZA, V. A. P.; SERPA, M. F. P.; LEDO, A. A.; MENEZES, A. S. de. Efeito de doses de adubação orgânica na produção de palma forrageira. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 167-172, 2021.

SANTOS, D. R. dos.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 576–586, mar. 2008.

SANTOS, H. G.; ANDRADE, F. V. Influência da adubação orgânica e fosfatada no pH e na composição química do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 3, p. 377-384, 2008.

SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. D. A.; FARIAS, I.; BURITY, H. A.; NASCIMENTO, M. D.; SANTOS, D. C.; TAVARES FILHO, J. J. Estudo comparativo das cultivares de palma

forrageira “gigante”, “redonda” (*Opuntia ficus-indica* Mill) e “miúda” (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) na produção de leite. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa**, v. 19, n. 6, p. 504-511, 1990.

SANTOS, N. S.; SILVA, J. C. S.; PEREIRA, W. S.; MELO, J. L. R.; LIMA, K. V. de.; LIMA, D. O.; ALMEIDA, R. S. de. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 5, n. 1, p. e9452-e9452, 2020.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Palma forrageira: cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro** / Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. -- 3. ed. -- Brasília: SENAR, 2018.

SILVA, J. A. da.; DONATO, S. L.; DONATO, P. E.; SOUZA, E. D. S.; PADILHA JÚNIOR, M. C.; JUNIOR, S. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, p. 236-242, 2016.

SILVA, R. R.; SAMPAIO, E. V. S. B. Palmas forrageiras *Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*: sistemas de produção e usos. **Revista GEAMA**, v.2, n. 1, p. 131-141, 2016.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F. de.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A. de.; SILVA, M da C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015.

SILVA, A. A. G.; OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J.; SILVA, A. A. G. da. Zoneamento agrícola de risco climático da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill) para o estado de Sergipe. Embrapa Tabuleiros Costeiros-**Comunicado Técnico** (INFOTECA-E). 2015.

SILVA, J. C. P. M. da.; SILVA, J. C. P. M. D.; MOTTA, A. C. V.; PAULETTI, V.; FAVARETTO, N.; BARCELLOS, M.; OLIVEIRA, A. S. D.; SILVA, L. F. C. Esterco líquido de bovinos leiteiros combinado com adubação mineral sobre atributos químicos de um Latossolo Bruno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2563-2572, 2008.

SILVA, N. G. D. M.; SANTOS, M. V. F. D.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; CUNHA, M. V. D.; LIRA, M. D. A.; FERRAZ, I. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. **Revista Caatinga**, v. 29, p. 976-983, 2016.

SILVA, N. G. D. M.; LIRA, M. D. A.; SANTOS, M. V. F. D.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; MELLO, A. C. L. D.; SILVA, M. D. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, p. 2389-2397, 2010.

SILVEIRA, R. I.; MELLO, F. A. de.; CRUZ, V. F. D.; MORAES, R. S. D. Influência dos teores de cálcio e de magnésio trocáveis, da capacidade de troca de cátions e do

índice de saturação em bases sobre a fixação de zinco pelo solo. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, v. 40, p. 313-325, 1983.

SOUZA, H. A. de.; POMPEU, R. C.; TONUCCI, R. G.; FERNANDES, F. E.; ARAÚJO, M. D.; LEITE, L. F. Adubação com esterco ovino em *Mimosa caesalpinifolia* em um Planossolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 243-249, 2021.

SOUZA, F. M.; PEREIRA, W. E.; DANTAS, J. S.; NÓBREGA, J. S.; LIMA, E. C. S.; SÁ, F. V. D. S. Initial growth of *Moringa oleifera* Lam. as a function of poultry litter doses and granulometry. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 399-404, 2018.

SOUZA, R. F. de.; FAQUIN, V.; TORRES, P. R. F.; BALIZA, D. P. Calagem e adubação orgânica: influência na adsorção de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 6, p. 975–983, 2006.

SOUZA, R. F. de.; FAQUIN, V.; LIMA SOBRINHO, R. R.; OLIVEIRA, E. A. B. D. Influência de esterco bovino e calcário sobre o efeito residual da adubação fosfatada para a *Brachiaria brizantha* cultivada após o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 143–150, 2010.

SOUZA, T. L. de.; SIGNOR, D.; CAMPOS, F.; RODRIGUES, C. **Frações físicas de matéria orgânica em solo cultivado com palma forrageira sob diferentes quantidades de palhada de capim buffel**. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162193/1/Artigo.39.pdf> . Acesso em: 16 out. 2024

SOARES, F. M. F.; ALBUQUERQUE, A. L. S. de; SILVA, W. R. T. Avaliação do crescimento vegetativo de palma forrageira no Semiárido Alagoano. **Diversitas journal**, v. 6, n. 1, p. 1777-1785, 2021.

SPÍNOLA, A. M.; NEVES, F.; KÜSTER, I.; OLIVEIRA, E. F. de.; FIGUEIREDO, M.; PEREIRA, S.; NEVES, J.D.C. **Palma forrageira; Potencialidades para as propriedades rurais do Espírito Santo**. Documento 275. Incaper, p. 8, 2020.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. (Eds.). **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

TELES, A. P.; RODRIGUES, M.; BEJARANO HERRERA, W. F.; SOLTANGHEISI, A.; SARTOR, L. R.; WITHERS, P. J. A.; PAVINATO, P. S. Do cover crops change the lability of phosphorus in a clayey subtropical soil under different phosphate fertilizers. **Soil Use Manage**. v. 33, n. 1, p. 34-44, 2017.

TELES, M. M.; SANTOS, M. V. F. D.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; BEZERRA NETO, E.; FERREIRA, R. L. C.; LUCENA, J. E. C.; LIRA, M. D. A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill.) cv. Gigante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.52-60, 2002.

TRIPATHI, R.; NAYAK, A. K.; BHATTACHARYYA, P.; SHUKLA, A. K.; SHAHID, M.; RAJA, R.; THILAGAM, V. K. Soil aggregation and distribution of carbon and nitrogen in different fractions after 41 years long-term fertilizer experiment in tropical rice–rice system. **Geoderma**, v. 213, p. 280-286, 2014.

VELOSO, C. A. C.; BOTELHO, S. M.; RODRIGUES, J. E. L. F.; SILVA, A. R. Correção da acidez do solo. **In: Recomendações de adubação e calagem para o Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. p. 93-103, 2020.

VITÓRIA, E. L. D.; FERNANDES, H. C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R. Produtividade de plantas forrageiras em função de manejo do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 34, p. 955-962, 2014.

VOLTOLINI, T. V.; MIRANDA, J. D.; SANTOS, R. D.; MUNIZ, E. N.; FERNANDES, E. N.; MAGALHÃES, V. D. **Plantio e Manejo da Palma Forrageira no Semiárido**. Brasília: Embrapa Semiárido, 2016.

VOLTOLINI, T. V.; MIRANDA, J. D.; SANTOS, R. D.; MUNIZ, E. N.; FERNANDES, E. N.; MAGALHÃES, V. D. **Palma forrageira na alimentação de bovinos leiteiros**. Brasília: Embrapa Semiárido, 2016.

VOLTOLINI, T. V. **Sistema de produção de palma-forrageira para o Estado da Paraíba**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2022.

XAVIER, M. A.; BATISTA, M. C.; SANTOS, J. P. O.; SILVA, J. L. C. da; CARTAXO, P. H. A; REGES, R. S.; PEREIRA, D. D. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 74-81, 2020.

XIMENES, L. F.; SILVA, M.S.L da; BRITO, L.T de L. Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro. **Série Ciência e Tecnologia**, 1aed., Banco do Nordeste do Brasil-Fortaleza-CE, 2019.