



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



RAUCHA CAROLINA DE OLIVEIRA

**CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA SOB
REGIMES HÍDRICOS E ADUBAÇÃO ORGÂNICA**

CAMPINA GRANDE – PB

AGOSTO DE 2021

RAUCHA CAROLINA DE OLIVEIRA

**CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA SOB
REGIMES HÍDRICOS E ADUBAÇÃO ORGÂNICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola na área de concentração em Irrigação e Drenagem.

Orientador:

Prof. Dr. José Dantas Neto - UAEEA/CTRN/UFCG

Coorientador:

Dr. José Thyago Aires Souza - INSA

CAMPINA GRANDE – PB

AGOSTO DE 2021

O48c Oliveira, Raucha Carolina de.
Crescimento, fisiologia e produção de palma forrageira sob regimes hídricos e adubação orgânica / Raucha Carolina de Oliveira. – Campina Grande, 2022.
91f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.
"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto; Coorientação: Prof Dr. José Thyago Aires Souza".
Referências.

1. Cactaceae. 2. Semiárido. 3. Cinza de Biomassa. 4. Esterco Bovino. 5. Gotejamento. I. Dantas Neto, José. II. Souza, José Thyago Aires. III. Título.

CDU 633.3(813.3)(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

RAUCHA CAROLINA DE OLIVEIRA

CRESCIMENTO, FISILOGIA E PRODUÇÃO DE
PALMA FORRAGEIRA SOB REGIMES
HÍDRICOS E ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
como pré-requisito para obtenção do título
de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 31/08/2021

José Dantas Neto – Orientador – UAEA/CTRN/UFMG

José Thyago Aires Souza – Orientador – INSA

Maria Sallydelândia Sobral de Farias – Examinadora Interna - UAEA/CTRN/UFMG

Rener Luciano de Souza Ferraz - Examinador Externo - UATEC/CDSA/UFMG

Rita de Cássia Alves - Examinadora Externa - INSA



Documento assinado eletronicamente por **JOSE THYAGO AIRES SOUZA, Usuário Externo**, em 01/09/2021, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RENER LUCIANO DE SOUZA FERRAZ, PROFESSOR MAGISTERIO SUPERIOR -VISITANTE**, em 01/09/2021, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA SALLYDELANDIA DE FARIAS ARAUJO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/09/2021, às 09:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RITA DE CASSIA ALVES, Usuário Externo**, em 08/09/2021, às 11:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 28/09/2021, às 19:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1744965** e o código CRC **6235C9E5**.

DEDICATÓRIA

*Ao meu avô **Mané Café** (in memoriam), que dignamente me apresentou à importância da família e ao caminho da honestidade e persistência.*

Dedico

A todos os produtores rurais e pesquisadores que já trabalharam,
trabalham e trabalharão com a palma forrageira.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua grande misericórdia, por ter me concedido a oportunidade dessa existência e pelo privilégio de me proporcionar condições de desenvolver este trabalho.

Às almas vaqueiras e aos irmãos de luz, pelo cuidado e preces atendidas.

À minha mãe Lindalva e aos meus irmãos Roris e Rodrigo, pelo amor incondicional, confiança, apoio às minhas decisões, por serem minha base, pelo incentivo e confiança em mim depositada.

A Antonio, cuja capacidade intelectual me motiva e desafia a buscar crescer em meus próprios argumentos, obrigada meu amor pelo incentivo e compreensão no decorrer desse trabalho.

Ao Professor Zé Dantas agradeço pela orientação, confiança, incentivo, correções, exigências e por ter acreditado em meu potencial.

A Thyago pela orientação, pelas oportunidades de conhecimento, pela paciência, disponibilidade e reflexões desde a concepção do projeto de pesquisa.

A Sally pelos ensinamentos e por contribuir na minha formação acadêmica e pessoal.

A Jucilene pela oportunidade de trabalhar em seu grupo de pesquisa, contribuição e pelo exemplo de caráter e profissionalismo.

A Rita pelas contribuições e pelo exemplo de zelo à pesquisa.

Ao Professor Luciano pela orientação, conselhos, postura ética e virtuosa com que conduz sua profissão.

A Ferraz pela inestimável contribuição na elaboração dessa dissertação.

A Patrícia Ferreira, pelo exemplo de profissional e pelos conselhos.

Aos meus amigos pelo apoio, carinho e contribuições na condução do experimento e coleta de dados, em especial a Lumara, Raul, João e Beatriz.

Aos colegas do curso de mestrado em Engenharia Agrícola, na pessoa de Austro e Andrezza, pelo companheirismo, ajuda nas disciplinas do curso, por vivenciar suas experiências, exemplificar a superação das dificuldades e compartilhar suas vitórias.

À equipe de pesquisadores e funcionários do Instituto Nacional do Semiárido, pela contribuição e apoio técnico para condução do experimento, em especial Elder, Tarcísio, Evaldo, Jaqueline, Paulo, Valdir, Zezo, Dinha, Bastinha, Lúcio, Paulista e Edilson.

Aos meus irmãos de coração, Breno, Michelly e Thiago pelo constante incentivo ao meu crescimento profissional e por serem os melhores amigos do mundo e mesmo com a distância se fizeram presentes a cada passo meu.

Ao meu amigo Luís Vilar, pelo carinho, por cada diálogo enriquecedor que tivemos e por acreditar em meu potencial.

Agradeço a todos os funcionários da UFCG que me ajudaram e sempre foram prestativos, em especial Roberto e Marciano.

A Bernadete e Terezinha pelas palavras de encorajamento e carinho.

À grande amiga Benilda pela sincera amizade e pelas palavras de incentivo.

A Betiel pela torcida e pelo suporte técnico.

Minha sincera gratidão ao Professor Victor Sales Pinheiro pelas aulas da mentoria acadêmica e intelectual e por ser o responsável pelo despertar do interesse pela conquista da virtude da ordem.

A toda minha família Café, que mesmo com a distância torceram por mim e por essa conquista. Em especial minha Tia Lourdes.

Ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), pela disponibilidade do espaço, equipamentos e pessoal para a execução do experimento.

À Universidade Federal de Campina Grande, em especial aos professores do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso de mestrado, e por compartilhar suas experiências teóricas e práticas e me motivar na construção sólida e consistente do conhecimento.

Muito obrigada a todos!

EPÍGRAFE

Pra manter a sobrevivência
dessa nossa criação
no lugar do gado a cabra
leite de boa nutrição
animal mais resistente
a seca do nosso sertão

Pra alimentar a criação
faz o uso da forrageira
para passar o capim
cortado aqui na ribeira
quando não servida a palma
com sal em uma cocheira

José Freitas de Sousa
Poeta, músico e escritor

Trabalha e confia, na certeza de que o Senhor da Obra te observa e segue vigilante.
Não duvides, nem temas.
Dá o melhor de ti mesmo à Seara da Vida, e o Divino Lavrador, sem que percebas, pendurará
nas frondes do teu ideal a floração da esperança e a messe do triunfo.

Pelo Espírito Emmanuel, psicografado por Francisco Cândido Xavier.

CRESCIMENTO, FISIOLOGIA E PRODUÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA SOB REGIMES HÍDRICOS E ADUBAÇÃO ORGÂNICA

RESUMO

A palma se destaca como uma das forrageiras com maior potencial de produção de biomassa e ampliação de cultivo no Semiárido brasileiro, porém ainda são escassos trabalhos que abordem questões de melhoria do manejo de variedades de uso recentes, como as resistentes a cochonilha do carmim, principalmente em relação à irrigação e a adubação utilizando fontes orgânicas alternativas. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar o crescimento, aspectos fisiológicos e produtivos das variedades de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e Negro Michoacan (*Opuntia atropes* Rose) adubadas com cinza de biomassa e/ou esterco bovino, em sistema de sequeiro e irrigado. O experimento foi conduzido em condições de campo na Estação Experimental Ignacio Hernán Salcedo do Instituto Nacional do Semiárido no município de Campina Grande-PB, durante o período de novembro de 2019 a novembro de 2020. Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, em esquema fatorial $2 \times 2 \times 5$, consistindo em dois regimes hídricos (sequeiro e irrigado), duas doses de esterco bovino (0 e 33,3 Mg ha⁻¹), cinco doses de cinza de biomassa (0; 1,3; 2,6; 3,9 e 5,2 Mg ha⁻¹) e três repetições, totalizando 60 parcelas experimentais para cada variedade de palma forrageira. Foram avaliadas as características de crescimento: altura e largura de plantas, número, comprimento, largura e espessura dos cladódios primários, secundários, terciários e quaternários; as características fisiológicas: concentração interna de dióxido de carbono (ci), transpiração (E), condutância estomática (gs), taxa de captação de CO₂ (A), eficiência momentânea do uso da água (EmUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC); e características de produção: produtividade de matéria verde (PMV), teor de matéria seca (MS), produtividade de matéria seca (PMS), acúmulo de água nas plantas (ACA), eficiência no uso da água (EUA), capacidade de suporte de ovinos (CSO), capacidade de suporte de vacas (CSV) e taxa de mortalidade (TM). Os dados foram submetidos à análise fatorial (AF) confirmatória multivariada. A irrigação, o esterco bovino e a cinza de biomassa influenciaram, de forma significativa, as variáveis de crescimento, fisiologia e produção das duas variedades de palma forrageira analisadas, com exceção do comprimento de cladódio secundário, concentração interna de carbono, transpiração e taxa de mortalidade na palma forrageira Negro Michoacan. O tratamento que possibilitou maior produtividade de matéria verde para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (257,9 Mg ha⁻¹) foi o associado à irrigação e adubação com esterco bovino. Para o cultivo dessa variedade em condição de sequeiro, recomenda-se a aplicação de 33,3 Mg ha⁻¹ de esterco bovino. O máximo rendimento produtivo obtido para a variedade Negro Michoacan ocorreu por meio da irrigação e adubação orgânica com esterco bovino e 1,3 Mg ha⁻¹ de cinza de biomassa. Em condição de sequeiro, recomenda-se a aplicação de 33,3 Mg ha⁻¹ de esterco bovino e 3,9 Mg ha⁻¹ de cinza de biomassa.

Palavras-chave: Cactaceae; Semiárido; cinza de biomassa; esterco bovino; gotejamento.

GROWTH, PHYSIOLOGY AND PRODUCTION OF FORAGE CACTUS UNDER WATER REGIMES AND ORGANIC FERTILIZATION

ABSTRACT

The forage cactus stands out as one of the plants with the greatest potential for biomass production and cultivation expansion in the Brazilian semiarid region, but there are still few studies addressing the issues of improving the management of recently used varieties, such as those resistant to carmine mealybug, especially in relation to irrigation and fertilization using alternative organic sources. The present work aimed to evaluate the growth, physiological and productive aspects of the Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) and the Negro Michoacan (*Opuntia atropes* Rose) forage cactus varieties fertilized with biomass ash and bovine manure in rainfed and irrigated systems. The experiment was conducted under field conditions at the Ignacio Hernán Salcedo Experimental Station of the National Institute of the Semiarid in the municipality of Campina Grande-PB, during the period from November/2019 to November/2020. The treatments were arranged in randomized blocks, in a $2 \times 2 \times 5$ factorial scheme, consisting of two water regimes (rainfed and irrigated), two doses of bovine manure (0 and 33.3 Mg ha^{-1}), five doses of biomass ash (0; 1.3; 2.6; 3.9 and 5.2 Mg ha^{-1}) and three repetitions, totaling 60 experimental units for each variety of forage cactus. Growth characteristics evaluated: plant height and length, number, length, width and thickness of primary, secondary, tertiary and quaternary cladodes; physiological characteristics: internal carbon concentration (ci), transpiration (E), stomatal conductance (gs), CO_2 uptake rate (A), momentary water use efficiency (EmUA), intrinsic water use efficiency (EiUA) and instantaneous carboxylation efficiency (EiC); and production characteristics: green matter productivity (GMP), dry matter content (DM), dry matter productivity (DMP), plant water accumulation (ACA), water use efficiency (WUE), sheep feeding capacity (CSO), cow feeding capacity (CSV), and mortality rate (TM). The data was subjected to exploratory factor analysis (AF) with multivariate statistics. Irrigation, bovine manure and biomass ash significantly influenced the growth, physiology and production variables of the two forage cactus varieties analyzed, except for secondary cladode length, internal carbon concentration, transpiration and mortality rate in the Negro Michoacan variety. The treatment that allowed greater productivity of green matter for the forage cactus Orelha de Elefante Mexicana (257.9 Mg ha^{-1}) was associated with irrigation and fertilization with cattle manure. For the cultivation of this variety under rainfed conditions, the application of 33.3 Mg ha^{-1} of bovine manure is recommended. The maximum yield obtained for the Negro Michoacan variety occurred through irrigation and organic fertilization with cattle manure and 1.3 Mg ha^{-1} of biomass ash. Under rainfed conditions, it is recommended to apply 33.3 Mg ha^{-1} of cattle manure and 3.9 Mg ha^{-1} of biomass ash.

Keywords: Cactaceae; Semiarid; biomass ash; bovine manure; drip.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Aspectos gerais da palma forrageira	21
3.2 Aspectos econômicos da palma forrageira no Estado da Paraíba	22
3.3 Irrigação na palma forrageira	22
3.4 Adubação orgânica e sua utilização na agricultura.....	23
3.5 Análise multivariada	25
4. MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1 Localização do experimento, clima e solo	27
4.2 Tratamentos e delineamento experimental.....	28
4.3 Preparo dos sulcos, aquisição da cinza, esterco e cladódios semente.....	30
4.4 Plantio e controle de pragas e ervas espontâneas	31
4.5 Irrigação e condução do experimento	32
4.6 Variáveis analisadas.....	33
4.6.1 Variáveis de crescimento	33
4.6.2 Variáveis fisiológicas.....	34
4.6.3 Variáveis de produção.....	36
4.7 Análise estatística	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 Análise fatorial	38
5.1.1 Orelha de Elefante Mexicana	38
5.1.2 Negro Michoacan	58
5.2 Análise univariada	72
6. CONCLUSÕES	77
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental. Fonte: Google Earth, 2020.....	27
Figura 2. Croqui da área experimental.....	29
Figura 3. Preparo inicial da área para condução da pesquisa com abertura dos sulcos de forma manual.....	30
Figura 4. Cinza de biomassa proveniente da queima da madeira de Algaroba (<i>Prosopis juliflora</i>).....	30
Figura 5. Tratamento de raquetes-sementes com calda bordalesa antes do plantio.	31
Figura 6. Plantio das raquetes no sulco com auxílio de régua.	31
Figura 7. Ataque de formigas e da lagarta da palma (<i>Aricoris campestris</i> H. Bates).....	32
Figura 8. Dados de precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm) da área experimental, no período de condução do experimento.	33
Figura 9. Avaliações de crescimento de largura de cladódio (A) e comprimento de cladódio (B).....	34
Figura 10. Mensuração das trocas gasosas em palma forrageira com utilização de analisador de gás infra vermelho e pinça adaptada ao cladódio (IRGA). Campina Grande, PB, 2020.	35
Figura 11. Projeção bidimensional da interação dupla entre as doses de cinza e o esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 1 (PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV).	41
Figura 12. Projeção bidimensional da interação dupla entre o regime hídrico e o esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 1 (PP, PMV, PMS, MS, ACA, EUA, CSO e CSV).	44
Figura 13. Projeção bidimensional em função do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 2 (LP, CCS, LCS e ECS).	48
Figura 14. Projeção bidimensional em função do regime hídrico para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 3 (ci, E e gs).....	50
Figura 15. Projeção bidimensional da interação tripla entre o regime hídrico, o esterco e as doses de cinza para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 4 (A, EmUA, EiUA e EiC).	52
Figura 16. Projeção bidimensional da interação dupla entre o regime hídrico e o esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 6 (AP, CCP, LCP e ECP).	56

Figura 17. Projeção bidimensional da interação tripla entre o regime hídrico, o esterco e as doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 1 (AP, LP, ECP, LCS, ECS, NCT, CCT, ECT, NCQ, CCQ, LCQ, ECQ, gs, PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV).	62
Figura 18. Projeção bidimensional das doses de cinza (A) e do regime hídrico (B) para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 2 (A, EmUA e EiC).	67
Figura 19. Projeção bidimensional da interação tripla entre o regime hídrico, o esterco e as doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 3 (CCP e LCP). ..	69
Figura 20. Projeção bidimensional da interação dupla entre as doses de cinza e o esterco para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 4 (NCP e NCS).	71
Figura 21. Taxa de mortalidade (TM) em função dos efeitos isolados regime hídrico (A) e esterco (B) para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	74
Figura 22. Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) de palma forrageira Negro Michoacan, em função de doses de cinza de biomassa.	75
Figura 23. Largura do cladódio terciário (LCT) em função do regime hídrico para a palma forrageira Negro Michoacan.	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Atributos químicos do solo quanto à fertilidade, na camada de 0–20 cm.	28
Tabela 2. Atributos químicos da cinza de biomassa e do esterco bovino.	28
Tabela 3. Parâmetros químicos da água de chuva utilizada no experimento.	33
Tabela 4. Autovalores maiores que a unidade, porção da variância explicada e acumulada para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	38
Tabela 5. Cargas fatoriais rotacionadas pelo método <i>Varimax raw</i> para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	39
Tabela 6. Resumo das análises de variância para seis fatores formados a partir de 25 variáveis originais para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	40
Tabela 7. Médias das variáveis que formaram o Fator 1 (PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV), em função das doses de cinza e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	42
Tabela 8. Médias das variáveis que formaram o Fator 1 (PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV), em função do regime hídrico e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	45
Tabela 9. Médias das variáveis que formaram o Fator 2 (LP, CCS, LCS e ECS), em função do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	48
Tabela 10. Médias das variáveis que formaram o Fator 3 (ci, E e gs), em função do regime hídrico para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	50
Tabela 11. Médias das variáveis que formaram o Fator 4 (A, EmUA, EiUA e EiC), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	53
Tabela 12. Médias das variáveis que formaram o Fator 6 (AP, CCP, LCP e ECP), em função do regime hídrico e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.	56
Tabela 13. Autovalores maiores que a unidade, porção da variância explicada e acumulada para a palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	58

Tabela 14. Cargas fatoriais rotacionadas pelo método <i>Biquartimax raw</i> para a palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	58
Tabela 15. Resumo das análises de variância para quatro fatores formados a partir de 28 variáveis originais para a palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	60
Tabela 16. Médias das variáveis que formaram o Fator 1 (AP, LP, ECP, LCS, ECS, NCT, CCT, ECT, NCQ, CCQ, LCQ, ECQ, gs, PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.	63
Tabela 17. Médias das variáveis que formaram o Fator 2 (A, EmUA e EiC), em função das doses de cinza e do regime hídrico para a palma forrageira Negro Michoacan.	67
Tabela 18. Médias das variáveis que formaram o Fator 3 (CCP e LCP), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.	70
Tabela 19. Médias das variáveis que formaram o Fator 4 (NCP e NCS), em função das doses de cinza e do esterco para a palma forrageira Negro Michoacan.	71
Tabela 20. Resumo das análises de variância referente a taxa de mortalidade (TM) em palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana e comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio terciário (LCT), concentração interna de carbono (ci), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e taxa de mortalidade (TM) em palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.	73

1. INTRODUÇÃO

A palma forrageira é uma cactácea de origem mexicana que apresenta boas características de adaptação às condições climáticas do Semiárido brasileiro, principalmente devido ao seu mecanismo morfofisiológico CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas) caracterizado pelo fechamento estomático durante o dia e a abertura à noite, para fixação de CO₂, minimizando a perda de água para a atmosfera e resultando em alta eficiência no uso da água; além disso, essa cactácea xerófita apresenta grande reserva hídrica, fácil propagação, alto valor nutritivo e energético, constituindo-se em um dos principais recursos forrageiros para os rebanhos desta região (CAVALCANTE et al., 2017; TAIZ et al., 2017).

O Brasil tem uma produção de 2,87 milhões de toneladas da cultura em 96,9 mil hectares, a região Nordeste se destaca sendo responsável por 99,61% da produção nacional (IBGE, 2017). Apesar do potencial produtivo, grande parte dos palmais da variedade Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill.) foram dizimados pela Cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), uma praga de rápida propagação. Para enfrentar essa problemática, foram introduzidas variedades tolerantes, tais como a palma Orelha de Elefante Mexicana, Doce ou Miúda e a Baiana (ARAÚJO et al., 2019).

Apesar de ser uma cultura bastante cultivada em toda região semiárida sua produtividade ainda é inferior à capacidade da cultura, embora com melhorias nos últimos anos, devido principalmente ao baixo nível tecnológico empregado (BARROS et al., 2016).

Nesse sentido, é importante adotar tecnologias no sistema de produção que sejam capazes de permitir que a cultura expresse seu máximo potencial produtivo. Dentre essas tecnologias pode-se destacar a utilização da irrigação, adubação e manejo adequado, principalmente em regiões semiáridas que apresentam, em sua maioria, características de alta sazonalidade de produção, irregularidade de chuvas e presença de solos rasos com baixo teor de matéria orgânica (CUNHA et al., 2012; SILVA et al., 2019).

Embora a agricultura irrigada apresente certa limitação no Semiárido, a utilização do método de irrigação localizada, com utilização mínima de água em sistema de gotejamento, possibilita maior eficiência de aplicação (SANTOS; DONATO; COTRIM JUNIOR, 2020), e eleva a produtividade de matéria verde da palma forrageira em comparação à produção obtida em sistema de sequeiro (CAMPOS, 2018; FERRAZ et al., 2019).

Considerando a sustentabilidade do sistema em longo prazo, de modo a evitar o esgotamento do solo e atender a demanda nutricional da palma, exigente principalmente em cálcio e potássio, a prática da adubação é uma necessidade nos cultivos dessa cactácea (LIMA

et al., 2019). Vários autores têm constatado os efeitos positivos da adubação no cultivo da palma forrageira no Semiárido brasileiro (SILVA et al., 2015a; SOUZA et al., 2017; PEIXOTO et al., 2018; PADILHA JUNIOR et al., 2020).

Porém devido aos altos custos de fertilizantes químicos e por ser uma prática não adotada por grande parte dos agricultores quando esse manejo é destinado a plantas forrageiras, uma alternativa ao uso dos mesmos refere-se à utilização de adubação orgânica. Incrementos nas doses de esterco bovino aplicadas ao solo promovem maior extração de nutrientes pela palma forrageira (DONATO et al., 2017), melhora a performance das características estruturais (BARROS et al., 2016), eleva os teores de fósforo, nitrogênio, potássio e enxofre nos cladódios (DONATO et al., 2016) e melhora o valor nutricional e o rendimento de matéria seca (DONATO et al., 2014a).

Entretanto, uma vez que a aplicação apenas de esterco não é suficiente para atender a demanda nutricional da palma, principalmente em relação ao teor de potássio e como os fertilizantes químicos para adubação têm custo elevado, é necessário buscar outras fontes de nutrientes (ALVES et al., 2007).

A utilização das cinzas de biomassa na adubação de culturas agrícolas surge como uma alternativa ecologicamente correta e economicamente viável. De acordo com Arruda et al. (2016), as principais alterações químicas resultantes da aplicação de cinza de biomassa são elevação no pH e nos teores de Ca e K, sendo estes os macronutrientes extraídos/exportados em maior quantidade pela palma forrageira (SILVA et al., 2016).

Estudos têm demonstrado o efeito positivo da cinza de biomassa, no solo e na planta, no cultivo de quiabo (SALES et al., 2020); rabanete (BONFIM-SILVA et al., 2020a); amendoim (SOUZA et al., 2019a); rúcula (BONFIM-SILVA et al., 2017); mamona (LIMA et al., 2006); cana-de-açúcar (FEITOSA, MALTONI e SILVA, 2009); e capim-marandu (BONFIM-SILVA et al., 2013), entre outras culturas. No entanto, a literatura ainda é escassa quanto ao efeito da cinza de biomassa na cultura da palma forrageira. Nesse sentido, a cinza pode vir a substituir ou complementar a adubação, porém há necessidade de pesquisas, para se determinar doses adequadas do respectivo material, de maneira a contribuir para a sustentabilidade nos sistemas de produção.

Em condições de maior disponibilidade de água e de nutrientes, os processos fisiológicos são alterados resultando em maior crescimento e produtividade da palma forrageira (FONSECA et al., 2019). Compreender o efeito do sistema de cultivo nas características morfológicas, fisiológicas e produtivas da palma forrageira é determinante para

o sucesso da atividade agrícola, porém as pesquisas que avaliam esses aspectos geram grandes quantidades de dados que são difíceis de analisar e interpretar de forma conjunta, pois as relações entre as variáveis são complexas.

Nesse sentido, a análise multivariada de dados tem sido utilizada na análise da inter-relação de variáveis relacionadas ao crescimento e produção em palma forrageira (JARDIM et al., 2020; SILVA et al., 2020). Dentre as técnicas de estatística multivariadas, a análise fatorial é muito útil, pois permite analisar as relações entre um grande número de variáveis e organizá-las em um conjunto menor de fatores, com o mínimo de perda de informação (HAIR JR et al., 2009).

Portanto, o conhecimento através de uma análise conjunta dos efeitos da irrigação e da adubação orgânica sobre as características de crescimento, fisiologia e produção da palma forrageira pode ser decisivo para o aumento do desempenho agrônômico desta cultura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os aspectos morfométricos, fisiológicos e produtivos das variedades de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta* (Haw.) Haw.) e Negro Michoacan (*Opuntia atropes* Rose) adubadas com cinza de biomassa e esterco bovino, em sistema de sequeiro e irrigado.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar as variáveis morfométricas das variedades de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e adubação com cinza de biomassa e esterco bovino;

Avaliar os aspectos fisiológicos referentes às trocas gasosas sob as diferentes doses de cinza de biomassa e esterco bovino no solo irrigado e em sequeiro nas diferentes variedades;

Avaliar os aspectos produtivos das variedades de palma forrageira sob diferentes regimes hídricos e adubação com cinza de biomassa e esterco bovino;

Reduzir os dados para obtenção do mínimo número de fatores necessários para explicar o máximo da variância representada pelas variáveis originais;

Determinar o tratamento que proporciona maior produtividade de cada variedade de palma forrageira no Semiárido paraibano.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da palma forrageira

A palma pertence à Divisão: Embryophyta, Sub-divisão: Angiospermea, Classe: Dicotyledoneae, Sub-classe: Archiclamiidae, Ordem: Opuntiales e Família: Cactaceae. Nessa família, enquadram-se 178 gêneros, com aproximadamente 2.000 espécies conhecidas. Os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* se destacam, neles encontram-se as principais espécies associadas à produção de forragem (SILVA & SANTOS, 2007).

A variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw) é resistente à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*), apresenta plantas de porte médio com crescimento horizontal, raquetes largas, ovoides de cor verde-cinza e com bastante pelos, além de bordas recortadas, porém é suscetível à Cochonilha-de-escamas (*Diaspis echinocacti*), Podridão-do-pé (*Fusarium* sp) e Podridão-mole (*Erwinia carotovora*). (ARAÚJO et al., 2019). A variedade Negro Michoacan (*Opuntia atropes* Rose) é originária da cidade de Uruapan do estado de Michoacan no México. É uma espécie tolerante à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae*) e possui coloração verde escuro envernizado (NORONHA, 2017).

De origem mexicana, a palma forrageira é cultivada nas regiões áridas e semiáridas em diferentes partes do mundo, visando principalmente à produção de forragem, além de ser empregada na alimentação animal pode ser aproveitada ainda como alimento humano (verdura, sucos, picles, gelatina entre outros), na produção de cosméticos e itens medicinais, cercas vivas, controle de erosão, conservação dos solos e paisagismos (SENAR, 2018).

Um dos principais contribuintes para o sucesso da palma forrageira nas regiões áridas e semiáridas se deve a sua fisiologia a qual é caracterizada pelo processo fotossintético denominado metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), a abertura dos estômatos ocorre durante o período noturno para a captação do CO₂ pela enzima fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPCase), essa característica contribui com a redução da perda de água para a atmosfera pois a H₂O e CO₂ compartilham a mesma rota de difusão. O CO₂ absorvido durante a noite é armazenado temporariamente na forma de malato no vacúolo para, posteriormente, ser utilizado nas reações fotossintéticas durante o dia quando os estômatos estão fechados (TAIZ et al., 2017).

Mesmo com a importância da palma forrageira no cenário de escassez hídrica e de alimentos para os rebanhos na região semiárida, Araújo et al. (2019) relatam que a maioria dos produtores de palma forrageira sempre escolheram as áreas menos favoráveis da

propriedade, pois acreditavam que a palma por ser uma planta rústica e adaptada às condições semiáridas, poderia ser cultivada sem necessidade da adoção de práticas culturais, para que houvesse produção. Porém, nos últimos anos essa visão vem sendo modificada, e diversos estudos têm comprovado o potencial de crescimento (LIMA et al., 2018), trocas gasosas (SOUZA et al., 2020a) e produtividade (SARMENTO et al., 2019) da cultura quando submetida a manejos adequados.

3.2 Aspectos econômicos da palma forrageira no Estado da Paraíba

No Brasil 129 mil estabelecimentos agropecuários produziram a palma forrageira, totalizando uma produção de 2,875 milhões de toneladas em uma área de 96,9 mil hectares. A região Nordeste foi a maior produtora com 2,863 milhões de toneladas em 96,2 mil hectares. Os estados da Bahia, Pernambuco, Sergipe, Paraíba e Alagoas, são os que mais contribuíram com essa produção. O período de referência de apuração do censo compreendeu entre 1º de outubro de 2016 a 30 de setembro de 2017 (IBGE, 2017).

A cultura da palma forrageira tem-se destacado na região nordestina, pois a sua principal função é ser utilizada como suporte forrageiro estratégico para a alimentação dos animais ruminantes nos estabelecimentos agropecuários (NASCIMENTO et al., 2020).

O estado da Paraíba foi responsável por produzir 356 mil toneladas de palma forrageira além de possuir um rebanho de 1,050 milhões de bovinos, 546 mil de caprinos e 506 mil de ovinos. O município de Gado Bravo enquadrado-se como o maior produtor de palma forrageira com 52 mil toneladas e o sétimo em número de cabeças de vacas ordenhadas. O município de Monteiro destacou-se por apresentar o segundo lugar na quantidade produzida de palma forrageira 35 mil toneladas e por ser o terceiro maior produtor de rebanho bovino e o primeiro maior produtor de rebanhos caprinos e ovinos (IBGE, 2017).

Embora apresente expressiva quantidade produzida, mantém pequeno volume vendido em virtude da necessidade de seu uso estratégico na alimentação do rebanho bovino. Essa cultura se enquadra como um elemento essencial na complementação da alimentação do efetivo de bovinos (SANTOS & COSTA, 2020).

3.3 Irrigação na palma forrageira

As técnicas de manejo que favorecem para que a palma forrageira atinja seu máximo potencial produtivo vão além da adubação, adensamento, do controle das plantas daninhas e do controle de pragas e doenças. Se aplicada de maneira adequada à irrigação também é importante para promover altos rendimentos produtivos (NASCIMENTO et al., 2020).

Em um primeiro momento a proposta de irrigar uma cultura xerófito e resistente à seca pode ser vista como inadequada, entretanto a palma forrageira apresenta elevado potencial produtivo com o uso de quantidade mínima de água, além disso, a irrigação possibilita realizar o primeiro corte aos 12 meses após o plantio e os cortes subsequentes de acordo com a necessidade de forragem, cenário bem diferente do que é possível com o sistema de sequeiro onde o primeiro corte só é possível aos dois anos após o plantio e a realização de cortes subsequentes a cada dois anos (LIMA et al., 2015). Outros fatores que justificam a utilização da irrigação em cultivos de palma forrageira elevando a segurança produtiva e alimentar para os rebanhos durante todo o ano são: o aumento da variabilidade climática, a alta frequência de ocorrência de secas e a imprevisibilidade dos períodos chuvosos (SANTOS; DONATO; COTRIM JUNIOR, 2020).

Considerando a escassez de recursos hídricos e que o sistema radicular da palma forrageira é composto de raízes superficiais, com uma distribuição horizontal, ao irrigar essa forrageira, o método de irrigação mais adequado a ser utilizado é o localizado e sistema por gotejamento, esse sistema promove a disponibilidade de água onde se concentram as raízes (OLIVEIRA et al., 2010; ARAÚJO et al., 2019).

3.4 Adubação orgânica e sua utilização na agricultura

O manejo da adubação é indispensável para manter a sustentabilidade da agricultura uma vez que o cultivo contínuo de áreas agrícolas normalmente leva a um desequilíbrio na fertilidade do solo, dada a extração de nutrientes, podendo acarretar deficiências nutricionais na cultura, e, por conseguinte uma menor produção (BONFIM-SILVA et al., 2020b).

No cultivo da palma forrageira a utilização da adubação orgânica promove a melhoria da qualidade química, física e biológica do solo, favorecendo o crescimento e a produção da cultura (ARAÚJO et al., 2019), além de contribuir para melhorar a performance das características estruturais e aumentar o valor nutritivo da forragem (DONATO et al., 2014b), contribuindo para consolidar a palma forrageira em um sistema de produção sustentável (FONSECA et al., 2021).

O esterco bovino se destaca como sendo um dos adubos orgânicos mais utilizados nos cultivos agrícolas. Na palma forrageira, dentre as fontes de matéria orgânica, também é o mais utilizado. Padilha Junior et al. (2020) avaliaram os atributos químicos de um solo cultivado com palma forrageira 'Gigante' e verificaram que a adubação orgânica com esterco bovino é

responsável por aumentar as concentrações de macro e micronutrientes e reduzir a acidez potencial do solo cultivados com palma forrageira.

Souza et al. (2019b) analisando o sistema técnico-produtivo da cultura da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) no município de Taperoá-PB, constataram que 100% dos produtores não utilizam adubação com fertilizantes sintéticos e observaram que 54% dos produtores rurais que cultivam palma forrageira em Taperoá-PB utilizam adubação orgânica através do esterco bovino e 20% preferem utilizar os esterco caprino e bovino juntos, sendo na maioria das vezes estes esterco provenientes da própria unidade produtiva. Como os fertilizantes para adubação tem custo elevado, os produtores preferem a utilização da adubação orgânica através da utilização de esterco (caprinos, bovinos ou ovinos), que deve ser aplicada nas quantidades de 20 a 40 Mg ha⁻¹, ou ainda 100 kg de esterco para cada tonelada de matéria verde produzida (LIMA et al., 2019).

Além do uso do esterco bovino, caprino e ovino, a cinza vegetal também se torna uma alternativa de aumento da fertilidade do solo, pois se trata de um resíduo ambiental de baixo custo, necessitando de um menor investimento quando comparado às fertilizações sintéticas favorecendo dessa maneira a sustentabilidade da agricultura familiar (BONFIM-SILVA et al., 2020a).

A cinza de biomassa é um resíduo gerado pelas indústrias produzido a partir da combustão de biomassa vegetal para a produção de calor e energia para os maquinários e pelos pequenos produtores rurais para sua sobrevivência (RIBEIRO et al., 2015).

De acordo com Arruda et al. (2016), embora a cinza de biomassa apresente composição variável de acordo com seu material de origem, em geral esse material apresenta ampla quantidade de macro e micronutrientes viabilizando o seu uso nas culturas agrícolas. As principais alterações químicas resultantes da aplicação de cinza de biomassa são o aumento no pH e nos teores de Ca, Mg, K e P, e reduções dos teores de Al³⁺.

Oliveira et al. (2020) avaliando a utilização de cinzas de vinhaça como fertilizante para forrageiras observaram que após a adição das cinzas, houve alteração nas características do solo, com destaque para a capacidade de correção do pH, tornando-o mais próximo da neutralidade, e do aumento dos macrominerais fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Bonfim-Silva et al. (2011) avaliando as características morfológicas e estruturais da forrageira capim-marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) em resposta a doses de cinza verificaram que a cinza vegetal proporciona um aumento na altura das plantas, tornando-se uma alternativa de baixo custo para o manejo de pastagens.

3.5 Análise multivariada

Análise multivariada é um conjunto de técnicas para análise de dados que analisam múltiplas medidas sobre indivíduos ou objetos sob investigação, ou seja, quaisquer análises simultâneas de mais do que duas variáveis podem ser consideradas como análises multivariadas (HAIR JR et al., 2009).

A finalidade de sua aplicação pode ser de reduzir o volume de dados, de agrupar e classificar as variáveis, investigar a natureza e o grau de relacionamento entre variáveis, construir hipóteses e testá-las (JOHNSON & WICHERN, 1992).

As técnicas mais estabelecidas, bem como as emergentes, incluem as seguintes: análise fatorial, a regressão múltipla e correlação múltipla, a análise discriminante múltipla, a correlação canônica, análise multivariada de variância e covariância, a análise conjunta, análise de agrupamentos, escalonamento multidimensional e análise de correspondência (HAIR JR et al., 2009).

A análise fatorial engloba a análise de componentes principais e análise dos fatores comuns, essa técnica é utilizada para analisar inter-relações (correlações) entre um grande número de variáveis com a finalidade de reduzir em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) que sumariem as informações principais das variáveis originais com uma perda mínima de informação (MINGOTI, 2005).

Fatores (ou variáveis latentes) são entidades estatísticas que podem ser visualizadas como eixos de um sistema de coordenadas onde as variáveis podem ser representadas (FIELD, 2009).

De modo geral, a análise fatorial pode ser dividida em duas etapas: verificação da adequação da base de dados, onde ocorre a exploração inicial dos dados e a verificação de que a base é adequada; e a análise fatorial propriamente dita que compreende a determinação do número de fatores, extração das cargas fatoriais, rotação e interpretação dos fatores (MATOS & RODRIGUES, 2019).

Através da análise fatorial pode-se ainda calcular o valor do fator para cada um dos sujeitos da base de dados. Esses valores são os escores fatoriais (factor scores), que representam todas as variáveis com cargas naquele fator, são padronizados para que tenham média nula e variância unitária. O escore fatorial pode então ser usado para representar os fatores em análises subsequentes (MATOS & RODRIGUES, 2019).

Como um fator pode representar um indicador de avaliação de determinado fenômeno que comporta um conjunto de variáveis originais, os fatores gerados através da análise fatorial

podem ser introduzidos como variáveis dependentes em modelos que utilizem técnicas com mais de uma variável dependente (HAIR JR et al., 2009).

Jardim et al. (2020) aplicando estatísticas multivariadas observaram as influências das características morfo-produtivas em clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana) em monocultura e consorciada com cultivares de sorgo, constatando que a largura, comprimento, perímetro e área do cladódio são as variáveis morfométricas que determinam o acúmulo de fitomassa em clones de palma forrageira.

Silva et al. (2020) avaliando as correlações canônicas entre as variáveis morfológicas com as variáveis de rendimento produtivo da palma forrageira no agreste paraibano, através de análises multivariadas, verificaram que as características produtivas são favorecidas e sofrem influência das variáveis de crescimento, sendo correlacionadas positivamente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização do experimento, clima e solo

O experimento foi conduzido em condições de campo na Estação Experimental Ignacio Hernán Salcedo, pertencente ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), situado na Mesorregião do Agreste Paraibano e no município de Campina Grande, microrregião de Campina Grande, no estado da Paraíba, no período de novembro de 2019 a novembro de 2020 (Figura 1).

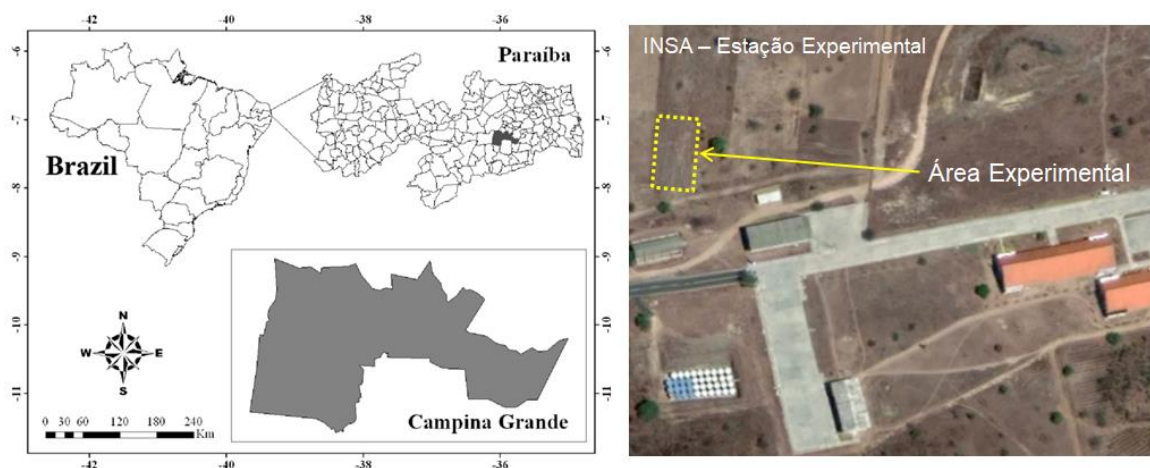


Figura 1. Localização da área experimental. Fonte: Google Earth, 2020.

Baseado na classificação de Köppen, o município de Campina Grande caracteriza-se pelo tipo climático As, tropical com verão seco, período chuvoso entre os meses de março a julho, com temperatura média anual de 28,2 °C, umidade relativa em torno de 70% e precipitação média por volta de 800 mm, com déficit hídrico durante a maior parte do ano (ALVARES et al., 2013).

O solo da área experimental tem como histórico a utilização da área para pastejo animal, e é classificado conforme os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (EMBRAPA, 2013), como Planossolo Háplico Eutrófico Típico. Foram coletadas separadamente dez amostras simples do esterco bovino e da cinza de biomassa, sendo em seguida convertidas em uma composta de cada material e quinze amostras simples, transformadas em uma amostra composta do solo da área experimental na profundidade de 0-20 cm para caracterização química quanto à fertilidade (Tabela 1 e 2) baseada nas sugestões de Donagema et al. (2011). As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-20 cm tendo em vista que aproximadamente 75% do sistema radicular da palma forrageira localiza-se nesta profundidade (SANTOS et al., 2017).

Tabela 1. Atributos químicos do solo quanto à fertilidade, na camada de 0–20 cm.

pH	P	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	Al ³⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	CTC	SB	V	MO
H ₂ O	---mg dm ⁻³ --	-----cmol _c dm ⁻³ -----						%	g kg ⁻¹		
5,35	6	124,8	0,11	3	0,2	1,95	1,34	6,72	3,72	55,4	18,1

SB = Soma de bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Na⁺); CTC = Capacidade de troca catiônica [SB + (H⁺ + Al³⁺)]; V = Saturação por bases trocáveis (SB/CTC)100; MO = Matéria orgânica.

Tabela 2. Atributos químicos da cinza de biomassa e do esterco bovino.

Aubos Orgânicos	pH	N	P	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Cu	Fe ⁺²	Mn ²⁺	Na ⁺	Zn ²⁺	K ₂ O	CaO	MgO	MO	U
H ₂ O	-----g kg ⁻³ -----						-----mg kg ⁻³ -----					-----g kg ⁻³ -----		(%)		
Cinza de Biomassa	10,1	1,68	11,69	35,42	292,75	19,38	92	7725	450	11	63	42,5	351	32	-	5,4
Esterco Bovino	-	5,6	4,42	7,08	4,9	4,53	12	9078	177	2,9	58	-	-	-	90	14

K₂O = Óxido de potássio. CaO = óxido de cálcio; MgO = Óxido de magnésio

4.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, usando para cada variedade de palma forrageira o esquema de parcela subdividida com três repetições, utilizando-se o esquema fatorial 2 × (2 × 5), referente a cada regime hídrico (cultivo em sequeiro e irrigação semanal) como parcela principal e as subparcelas representadas pela combinação da ausência e presença do esterco bovino (0 e 33,3 Mg ha⁻¹) com as doses de cinza de biomassa (0; 1,3; 2,6; 3,9 e 5,2 Mg ha⁻¹), totalizando 60 unidades experimentais para cada variedade.

Na área experimental foram cultivadas duas variedades de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta* (Haw.) Haw.) e Negro Michoacan-V07 (*Opuntia atropes* Rose), separadamente e de forma simultânea, o plantio dos materiais foi realizado em fileiras simples, numa densidade de 41.666 plantas ha⁻¹, correspondente ao espaçamento de 1,2 x 0,2 m entre linhas e plantas, respectivamente, totalizando 28 plantas por parcela e 1.680 para cada variedade, 3.360 para todo o experimento, sendo utilizadas as duas plantas das duas linhas centrais como área útil de cada parcela, conforme Figura 2.

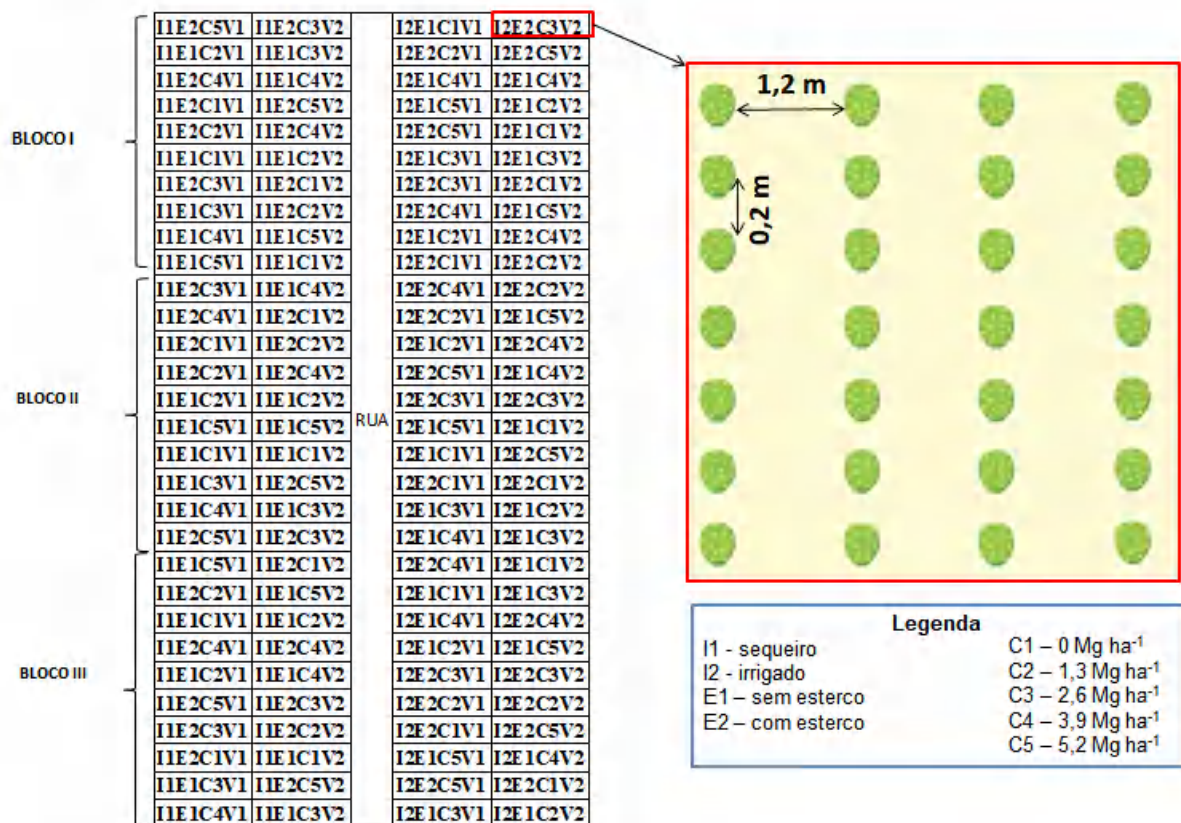


Figura 2. Croqui da área experimental.

A cinza de biomassa foi fornecida em fundação antes do plantio da palma forrageira com base no teor de potássio (K) conforme recomendado para a cultura (SANTOS et al., 2008). A aplicação de esterco bovino foi feita em fundação, incorporada juntamente com o material de solo para enchimento do sulco. O fornecimento em fundação foi nos sulcos de plantio, com 120 cm de comprimento, 15 cm de profundidade e 25 cm de largura, com volume de 45.000 cm³. O esterco bovino foi aplicado para elevar o teor que o solo possui de matéria orgânica para 3% (30 g kg⁻¹), considerando uma umidade volumétrica de 5,4% através da adaptação da equação 1 (NASCIMENTO et al., 2016).

$$DEC = (DMOa - DMOsp) \times Vs \times Ds \times \left(\frac{Uec}{TMOEC}\right) \quad (1)$$

Em que:

DEC = Dose de esterco bovino a ser incorporada ao sulco (g sulco⁻¹);

DMOa = Teor de matéria orgânica desejada que o solo atinja (g kg⁻¹);

DMOsp = Teor de matéria orgânica que o solo possui;

Vs = Volume do sulco (cm⁻³);

Ds = Densidade do solo (g cm⁻³);

Uec = Umidade volumétrica do esterco bovino (%);

TMOEC = Teor de matéria orgânica que o esterco bovino contém (g kg^{-1}).

4.3 Preparo dos sulcos, aquisição da cinza, esterco e cladódios semente

Os sulcos foram abertos manualmente com 15 cm de profundidade sob espaçamento de 1,20 m entre eles, sendo o plantio a uma distância de 20 cm entre plantas, correspondendo a uma densidade de 41.666 plantas por hectare (Figura 3).



Figura 3. Preparo inicial da área para condução da pesquisa com abertura dos sulcos de forma manual.

A cinza de biomassa (Figura 4) foi obtida de uma única empresa recicladora de papel próxima ao local do experimento a Everest Paper Indústria e Comércio, sendo a lenha advinda da extração legal de algaroba (*Prosopis juliflora* L.), caracterizada como planta exótica e liberada para extração madeireira em toda a região. O esterco bovino foi proveniente da Estação Experimental Ignacio Hernán Salcedo.



Figura 4. Cinza de biomassa proveniente da queima da madeira de Algaroba (*Prosopis juliflora*).

Os cladódios semente das variedades Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e Negro Michoacan-V07 (*Opuntia atropes* Rose) foram adquiridos de um palmar com quatro anos de idade existente na Estação Experimental, para o plantio foram escolhidos cladódios maduros, caracterizados por sustentar de um a dois cladódios jovens. Foi realizada uma padronização dos cladódios semente de cada variedade visando obterem-se plantas as mais homogêneas possíveis.

4.4 Plantio e controle de pragas e ervas espontâneas

Antes da realização do plantio os cladódios foram tratados através da aplicação de calda bordalesa (Figura 5), para prevenir a infestação por fungos e bactérias.

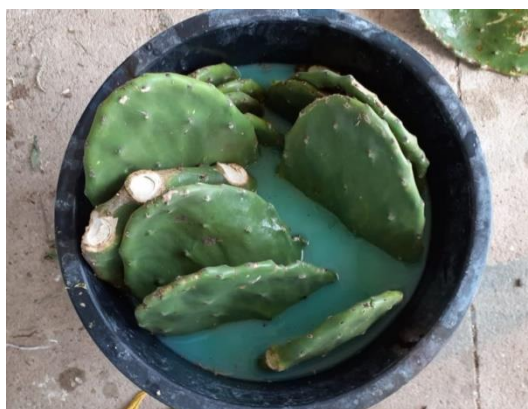


Figura 5. Tratamento de raquetes-sementes com calda bordalesa antes do plantio.

O plantio dos cladódios semente foi realizado no sentido leste-oeste, enterrando-se um terço da raquete, com a parte cortada voltada para o solo, com auxílio de uma régua (Figura 6) no início do mês de novembro de 2019, duas semanas após a colheita e cicatrização dos mesmos (CAVALCANTE et al., 2014).



Figura 6. Plantio das raquetes no sulco com auxílio de régua.

O controle de pragas foi realizado através da utilização de formicida e inseticidas. Embora o ataque da lagarta da palma ocorra exclusivamente no período noturno, foi possível fazer o registro desta praga durante a coleta de dados pela manhã (Figura 7). Durante o dia as lagartas ficam escondidas em restos de culturas, como cobertura morta, ou em caules secos da palma, dificultando o combate (ARAÚJO et al., 2019). O controle das ervas espontâneas foi realizado nas entrelinhas de cultivo através do uso de capina manual. Durante a condução do experimento ocorreram danos às mangueiras de irrigação causadas pelas raposas, foi feita a substituição das partes danificadas a fim de não prejudicar a uniformidade da irrigação.



Figura 7. Ataque de formigas e da lagarta da palma (*Aricoris campestris* H. Bates).

4.5 Irrigação e condução do experimento

Visando o manejo correto da irrigação, a precipitação pluviométrica foi monitorada com auxílio de um pluviômetro instalado próximo a área experimental (Figura 8). Ao longo do período experimental a precipitação foi de 548,5 mm, e os eventos de irrigação somaram 184,1 mm. Dessa maneira o cultivo irrigado recebeu ao total 732,6 mm ao longo do ciclo.

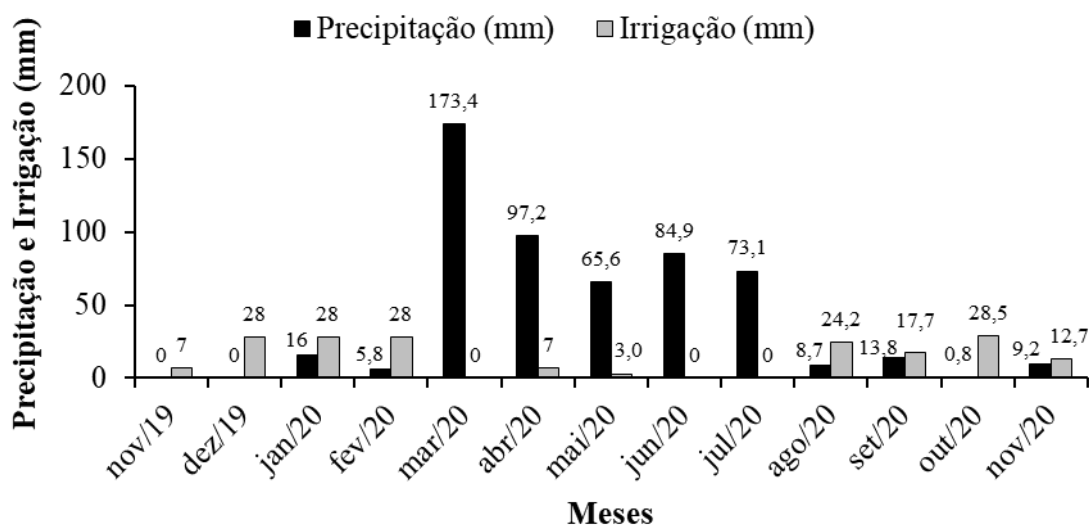


Figura 8. Dados de precipitação pluviométrica (mm) e irrigação (mm) da área experimental, no período de condução do experimento.

A água destinada à irrigação das plantas foi oriunda de um sistema de captação de água de chuva existente na Estação Experimental, o manejo da irrigação foi realizado em turno e lâmina fixo (7 mm semana⁻¹), pelo método localizado, eficiência de 95 % sob pressão de serviço de 0,2 MPa, usando fita gotejadora de 16 mm de diâmetro nominal e vazão de 1,2 L h⁻¹ m⁻¹, com espaçamento entre os gotejadores de 10 cm.

O manejo de complementação hídrica via irrigação procedeu através do controle pluviométrico diário que permitiu realizar a irrigação apenas quando não precipitou os 7 mm semana⁻¹. A análise química da água foi realizada pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG (Tabela 3).

Tabela 3. Parâmetros químicos da água de chuva utilizada no experimento.

pH	CE	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	Sulfatos	RAS	Classe de Água
	dS m ⁻¹	-----meq L ⁻¹ -----									
7,54	0,2	0,88	0,48	0,54	0,05	0	0,8	0,5	Ausente	0,65	C1

4.6 Variáveis analisadas

4.6.1 Variáveis de crescimento

As avaliações de crescimento foram realizadas ao final do ciclo, aos 350 dias após o início da aplicação dos tratamentos ou 364 dias após o plantio e constou de: altura de planta

(AP, cm), medida desde o solo até o ápice; largura de planta (LP, cm) medida considerando-se as maiores extremidades longitudinais da planta; comprimento de cladódio primário (CCP, cm), secundário (CCS, cm), terciário (CCT, cm) e quaternário (CCQ, cm); largura de cladódio primário (LCP, cm), secundário (LCS, cm), terciário (LCT, cm) e quaternário (LCQ, cm); espessura de cladódio primário (ECP, mm), secundário (ECS, mm), terciário (ECT, mm) e quaternário (ECQ, mm); e número de cladódio primário (NCP, unidade), secundário (NCS, unidade), terciário (NCT, unidade) e quaternário (NCQ, unidade). Para medições de altura e largura da planta foi utilizada fita métrica. A largura e o comprimento dos cladódios foram mensurados através de régua (Figura 9A e B) considerando a região de maior largura e comprimento dos cladódios, o número foi aferido em cladódios maduros, sendo desconsiderados brotos para evitar erros na coleta dos dados. Para a aferição da espessura dos cladódios foi utilizado um paquímetro digital modelo Digimess®.

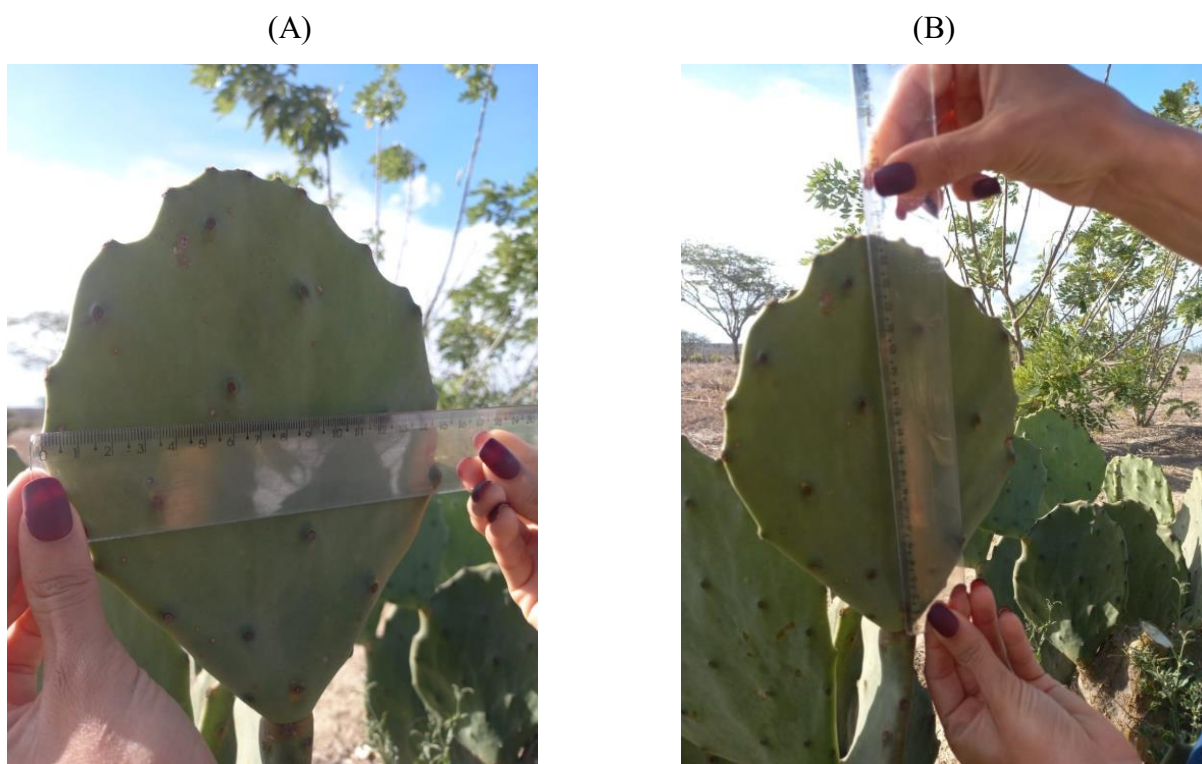


Figura 9. Avaliações de crescimento de largura de cladódio (A) e comprimento de cladódio (B).

4.6.2 Variáveis fisiológicas

As variáveis de trocas gasosas na palma forrageira foram determinadas no início do mês de novembro de 2020, quando as plantas estavam no pico do período de restrição hídrica na região do presente estudo, sendo mensuradas a condutância estomática ($gs, mol m^{-2} s^{-1}$), taxa

de transpiração (E , $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa de captação de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (c_i , $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$). Com base nos dados, calculou-se a eficiência momentânea de uso da água (E_{mUA} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), relacionando à captação de CO_2 com a transpiração (A/E), a eficiência intrínseca do uso da água (E_{iUA} , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), pela relação entre captação de CO_2 e a condutância estomática (A/g_s), além da eficiência instantânea de carboxilação (E_{iC} , $\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), relacionando a captação de CO_2 com a concentração interna de carbono (A/C_i).

Devido a palma forrageira ser regida pelo metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), as determinações das trocas gasosas foram realizadas entre as 20:00 e 01:00 horas, conforme Nobel (2001), devido sua captação de CO_2 ser mais intensa neste horário. As aferições foram feitas em uma planta por parcela, sendo as leituras realizadas em um cladódio maduro, caracterizando-se por sustentar de um a dois cladódios jovens. Durante a determinação das trocas gasosas a temperatura ambiente apresentou média de $26,06 \text{ }^\circ\text{C}$, com máxima de $27,8 \text{ }^\circ\text{C}$ e mínima de $24,7 \text{ }^\circ\text{C}$. Para realização das avaliações, utilizou-se um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA), modelo LI-COR 6400-XT, Lincon, USA, com luminosidade ajustada ambiente e pinça adaptada ao cladódio (Figura 10).



Figura 10. Mensuração das trocas gasosas em palma forrageira com utilização de analisador de gás infra vermelho e pinça adaptada ao cladódio (IRGA). Campina Grande, PB, 2020.

4.6.3 Variáveis de produção

Para determinação da produtividade de matéria verde (PMV) foram realizados cortes nas plantas aos doze meses para colheita, preservando-se os cladódios mãe em cada planta, com o objetivo de manutenção do estande. Os cladódios selecionados foram pesados para obtenção do peso total de cada planta (PP, kg planta⁻¹), foi considerado o peso médio das plantas de toda a parcela, multiplicando-se esse valor pelo número de plantas do estande em um hectare foi obtido a PMV por hectare (Mg ha⁻¹). O teor de matéria seca (MS, %) foi determinado por meio de secagem em estufa a 65°C até peso constante, sendo a produtividade de matéria seca (PMS, Mg ha⁻¹) determinada pelo produto da multiplicação entre PMV e os teores de MS.

O acúmulo de água (ACA, Mg ha⁻¹) nas plantas foi calculado subtraindo-se a PMV pela PMS e a eficiência no uso da água (EUA, kg MS ha⁻¹/mm⁻¹) estimada pelo produto da divisão entre a PMS pela quantidade acumulada de chuva adicionada da lâmina de irrigação aplicada durante o ciclo produtivo.

Foi realizada também uma simulação da capacidade de suporte de ovinos (CSO, animais ha⁻¹) e capacidade de suporte de vacas (CSV, animais ha⁻¹) da palma forrageira (PF) em 1 hectare para confinar ovinos por um período de 90 dias e vacas por 180 dias. Conhecendo-se a produção de matéria seca (PMS) por hectare, levando em consideração ovinos de 24 kg de peso vivo (PV) e vacas de 400 kg de (PV) consumindo 3% do PV x 60 % PF na dieta com base na matéria seca, 20% de volumoso, 19% de concentrado e 1% de minerais, sendo utilizada a formula: CSO ou CSV = (PMS/ha⁻¹)/consumo individual x dias de confinamento, onde a capacidade de suporte, corresponde à quantidade de animais por unidade de área (RAMOS et al., 2017; SOUZA et al., 2019c).

$$CSO \text{ ou } CSV = \frac{PMS}{\text{consumo individual} \times \text{dias de confinamento}} \quad (2)$$

A taxa de mortalidade (TM, %) foi calculada para cada variedade através do número de plantas contabilizadas no momento da colheita (NPF) em relação ao número de plantas na ocasião do plantio (NPI), pela relação [(NPI - NPF)/ NPI]x100.

$$\text{Taxa de mortalidade} = \frac{(NPI - NPF)}{NPI} \times 100 \quad (3)$$

4.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à padronização, de modo a tornar a média zero e variância unitária. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise fatorial confirmatória com estatística multivariada, utilizando a técnica de extração por componentes principais (CP). Os autovalores (λ) maiores ou iguais à unidade foram adotados para determinar o número de fatores a serem utilizados de acordo com o critério de seleção de Kaiser (1958).

As cargas fatoriais foram calculadas e apenas as variáveis com coeficiente de correlação de Pearson acima de 0,6 foram mantidas na composição de cada fator (HAIR JR et al., 2009). Posteriormente, foi precedida a rotação dos fatores pelo método *Varimax raw* para a variedade 'Orelha de Elefante Mexicana' e o método *Biquartimax raw* para a variedade 'Negro Michoacan'.

Em seguida, com os escores fatoriais, a análise de variância (ANOVA) foi calculada. O teste de Tukey foi aplicado em uma probabilidade de 5% para comparações múltiplas de médias de regime hídrico, esterco e doses de cinza, bem como, suas interações dentro de cada variável latente (HAIR JR et al., 2009).

Variáveis que apresentaram indeterminação fatorial foram removidas do banco de dados normalizado e nova análise foi realizada para ajustar o modelo, sendo retirada uma variável, sendo 25 consideradas para a variedade 'Orelha de Elefante Mexicana' e seis variáveis retiradas e 28 consideradas para a variedade 'Negro Michoacan'.

Os dados das variáveis originais não associadas aos fatores foram submetidos à análise de variância univariada (ANOVA) pelo teste F ($P < 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey. As variedades não foram comparadas porque são espécies diferentes. As análises foram realizadas no software Statistica v. 7.0.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise fatorial

5.1.1 Orelha de Elefante Mexicana

O espaço multidimensional das 25 variáveis originais avaliadas foi reduzido para seis fatores comuns que explicaram 89,47% da variância total dos dados (s^2). Fatores com autovalores acima de 1, conforme critério de Kaiser (1958), foram considerados para serem explorados nessa pesquisa (Tabela 4).

Tabela 4. Autovalores maiores que a unidade, porção da variância explicada e acumulada para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Fatores	Autovalor	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
Fator 1	11,09	44,36	44,36
Fator 2	3,88	15,50	59,87
Fator 3	3,01	12,05	71,91
Fator 4	2,02	8,10	80,01
Fator 5	1,26	5,05	85,06
Fator 6	1,10	4,41	89,47

Rotação: *Varimax raw*

Souza et al. (2020b) avaliando o efeito de frequências (7, 14 e 28 dias) e lâminas (25%, 50%, 75% e 100% da evapotranspiração da cultura) de irrigação na produção da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana por meio da análise fatorial encontraram 3 fatores que explicaram 89,96% da variação dos dados, a análise permitiu identificar que no primeiro fator a palma sofre variação produtiva, já os fatores 2 e 3 indicaram variação estrutural da planta nas diferentes estratégias de irrigação adotadas.

Caracterização dos fatores

Na Tabela 5 são apresentadas as cargas das variáveis originais ou pesos fatoriais dessas em cada fator. Essas cargas representam o grau de adaptação das variáveis aos fatores, ou seja, os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os fatores e as variáveis originais de crescimento, fisiologia e produção da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 5. Cargas fatoriais rotacionadas pelo método *Varimax raw* para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Variáveis	Fatores					
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
Altura de planta (AP)	0,15	0,52	-0,12	-0,08	0,11	0,63
Largura de planta (LP)	0,29	0,71	-0,02	-0,08	0,13	0,48
Número de cladódio primário (NCP)	0,06	0,06	-0,05	0,08	0,93	0,08
Comprimento de cladódio primário (CCP)	0,09	0,14	0,16	0,02	0,09	0,92
Largura de cladódio primário (LCP)	0,15	0,22	0,09	0,08	-0,03	0,91
Espessura de cladódio primário (ECP)	0,44	0,15	0,22	0,08	-0,05	0,64
Número de cladódio secundário (NCS)	0,53	0,38	-0,05	0,00	0,68	-0,03
Comprimento de cladódio secundário (CCS)	0,26	0,93	-0,06	-0,02	0,09	0,15
Largura de cladódio secundário (LCS)	0,25	0,93	-0,07	-0,06	0,09	0,16
Espessura de cladódio secundário (ECS)	0,45	0,79	0,20	0,03	-0,02	0,11
Concentração interna de carbono (ci)	0,17	-0,09	0,62	-0,12	0,01	0,12
Transpiração (E)	0,03	0,05	0,91	-0,08	-0,08	0,04
Condutância estomática (gs)	0,32	-0,05	0,87	0,08	-0,01	0,22
Taxa de captação de CO ₂ (A)	0,40	-0,07	0,37	0,82	0,02	0,06
Eficiência momentânea do uso da água (EmUA)	0,38	-0,05	-0,25	0,85	0,07	0,12
Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA)	0,08	0,03	-0,40	0,88	0,00	-0,08
Eficiência instantânea de carboxilação (EiC)	0,36	-0,06	0,26	0,87	0,02	0,03
Peso da planta (PP)	0,92	0,23	0,08	0,20	0,15	0,09
Produtividade de massa verde (PMV)	0,92	0,23	0,08	0,20	0,15	0,09
Teor de matéria seca (MS)	-0,69	0,10	-0,33	-0,17	0,27	-0,26
Produtividade de matéria seca (PMS)	0,95	0,17	0,10	0,19	0,02	0,12
Acúmulo de água (ACA)	0,91	0,24	0,08	0,20	0,16	0,08
Eficiência no uso da água (EUA)	0,95	0,23	0,00	0,14	0,00	0,11
Capacidade de suporte de ovinos (CSO)	0,95	0,17	0,10	0,19	0,02	0,12
Capacidade de suporte de vacas (CSV)	0,95	0,17	0,10	0,19	0,02	0,12

Valores em negrito representam as cargas fatoriais expressivas maiores ou iguais a 0,60.

Para o Fator 1, que reúne 44,36% da s^2 , as variáveis com maior associação foram: peso da planta (PP), produtividade de matéria verde (PMV), teor de matéria seca (MS), produtividade de matéria seca (PMS), acúmulo de água (ACA), eficiência no uso da água (EUA), capacidade de suporte de ovinos (CSO) e capacidade de suporte de vacas (CSV). Neste fator, a ordem de importância das variáveis para explicar os efeitos de regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas, com base na carga fatorial, foi PMS, EUA, CSO, CSV, PP, PMV, ACA e MS.

O Fator 2 foi responsável por explicar 15,50% da s^2 e teve elevados coeficientes de correlação com as variáveis de largura de planta (LP), comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio secundário (LCS) e espessura de cladódio secundário (ECS). Com

base na carga fatorial, a ordem de importância das variáveis para explicar os efeitos dos fatores em estudo foi CCS, LCS, ECS e LP.

O Fator 3 foi formado pelas variáveis: concentração interna de carbono (ci), transpiração (E) e condutância estomática (gs), que juntas representam 12,05% da variância explicada. Verifica-se que a ordem de relevância das variáveis para explicar os efeitos de regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas, com base na carga fatorial, foi E, gs e ci.

No Fator 4, foram retidas as variáveis: taxa de captação de CO₂ (A), eficiência momentânea do uso da água (EmUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC), que juntas representam 8,10% da variância explicada. Com base na carga fatorial, a ordem de importância das variáveis para explicar os efeitos de regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas foi EiUA, EiC, EmUA e A.

O Fator 5 foi formado pela combinação linear entre o número de cladódios primários (NCP) e número de cladódios secundários (NCS), correspondendo a 5,05% da variância explicada. A ordem de relevância das variáveis para explicar os efeitos dos fatores em estudo, com base na carga fatorial, foi NCP seguido do NCS.

O Fator 6 foi formado pela combinação entre altura de planta (AP), comprimento de cladódio primário (CCP), largura de cladódio primário (LCP) e espessura de cladódio primário (ECP), representando 4,41% da s². A ordem de relevância das variáveis para explicar os efeitos dos fatores em estudo foi CCP, LCP, ECP e AP.

O resumo das análises de variância para seis fatores formados a partir de 25 variáveis originais para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Resumo das análises de variância para seis fatores formados a partir de 25 variáveis originais para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio					
		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6
Regime Hídrico (R)	1	15,10**	1,65 ^{ns}	18,30**	6,68 ^{ns}	0,08 ^{ns}	4,17**
Doses de Esterco (E)	1	10,53**	14,54**	0,47 ^{ns}	0,39 ^{ns}	1,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}
Doses de Cinza (C)	4	0,54 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,21 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,13 ^{ns}	0,66 ^{ns}
Interação R x E	1	6,61**	0,03 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,56 ^{ns}	4,51**
Interação R x C	4	0,71 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,33 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,72 ^{ns}
Interação E x C	4	1,30**	0,99 ^{ns}	0,52 ^{ns}	1,10 ^{ns}	1,53 ^{ns}	0,98 ^{ns}
Interação R x E x C	4	0,41 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,87 ^{ns}	3,00**	2,01 ^{ns}	1,31 ^{ns}
Resíduo	40	0,37	0,81	0,80	0,73	0,81	0,79

** : Significativo para 0,1% (p < 0,001); ns: não significativo (p > 0,05); GL, graus de liberdade

Nos fatores 1, 3 e 6 foi observada diferença significativa ($p < 0,001$) em função do regime hídrico (R). As doses de esterco (E) influenciaram significativamente os fatores 1 e 2. Também foram constatadas interações entre regime hídrico \times doses de esterco nos fatores 1 e 6, e doses de esterco \times doses de cinza no fator 1. Interação tripla foi observada no fator 4, conforme resumo das ANAVAs apresentado na Tabela 6.

F1 – Rendimento produtivo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana

O Fator 1 (F1) é caracterizado pelo processo de rendimento produtivo, onde foi observada correlação positiva entre as variáveis de PP, PMV, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV, as quais tiveram correlação inversa com a MS. Assim, o aumento do peso das plantas devido ao acúmulo de água e nutrientes nos cladódios proporciona ganho de produtividade e resulta em maior eficiência no aproveitamento da água. Em contrapartida, o aumento da capacidade de armazenamento de água ocasiona redução do teor de matéria seca da planta (Tabela 5).

Ao analisar a interação dupla entre doses de esterco e doses de cinza, observou-se que nas doses de 0, 2,6, 3,9 e 5,2 Mg ha^{-1} de cinza as plantas sem esterco (E1) não diferem das plantas com esterco (E2). A aplicação da dose 1,3 Mg ha^{-1} de cinza promove aumento no processo das plantas com esterco, ocasionando diferença entre E1 e E2. Assim o maior rendimento produtivo é verificado nas plantas adubadas com esterco bovino e com a dose 1,3 Mg ha^{-1} de cinza de biomassa, conforme Figura 11.

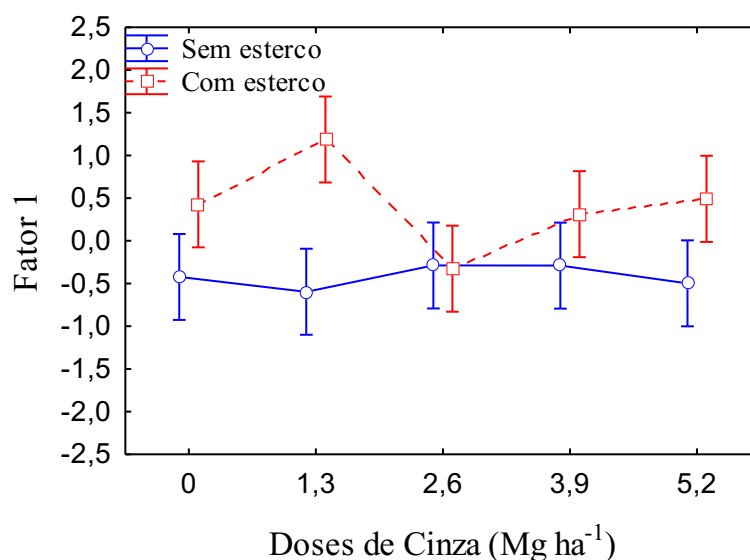


Figura 11. Projeção bidimensional da interação dupla entre as doses de cinza e o esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 1 (PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV).

Na Tabela 7, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 1: peso da planta (PP), produtividade de matéria verde (PMV), teor de matéria seca (MS), produtividade de matéria seca (PMS), acúmulo de água (ACA), eficiência no uso da água (EUA), capacidade de suporte de ovinos (CSO) e capacidade de suporte de vacas (CSV), em função das doses de cinza e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 7. Médias das variáveis que formaram o Fator 1 (PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV), em função das doses de cinza e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Variáveis	Esterco	Doses de Cinza (Mg ha ⁻¹)				
		0	1,3	2,6	3,9	5,2
Peso da planta (kg planta ⁻¹)	Sem	2,70	2,29	2,88	2,82	2,89
	Com	4,83	5,53	3,56	4,84	4,64
Produtividade de matéria verde (Mg ha ⁻¹)	Sem	112,43	95,37	120,05	117,67	120,38
	Com	201,30	230,26	148,31	201,61	193,12
Teor de matéria seca (%)	Sem	14,45	13,08	12,63	12,79	12,59
	Com	11,88	11,97	13,20	13,35	13,15
Produtividade de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	Sem	7,99	7,35	9,64	10,22	10,30
	Com	18,54	21,93	11,96	15,97	15,99
Acúmulo de água (Mg ha ⁻¹)	Sem	104,44	88,02	110,41	107,45	110,08
	Com	182,76	208,33	136,36	185,64	177,13
Eficiência no uso da água (kg MS ha ⁻¹ /mm ⁻¹)	Sem	12,19	11,57	15,33	15,05	15,64
	Com	28,06	32,30	18,03	23,85	23,47
Capacidade de suporte de ovinos (animais ha ⁻¹)	Sem	197	181	238	252	254
	Com	458	541	295	394	395
Capacidade de suporte de vacas (animais ha ⁻¹)	Sem	6	6	7	8	8
	Com	14	17	9	12	12

Sem esterco: 0,0 Mg ha⁻¹; Com esterco: 33,3 Mg ha⁻¹

Outros autores também verificaram efeito positivo da aplicação de cinzas na produção das plantas, atribuindo este efeito às melhorias das características químicas do solo. Por exemplo, Souza et al. (2013) verificaram que a aplicação de doses de cinza (0; 4; 8; 12 e 16 Mg ha⁻¹ de cinza de caldeira) resultante da queima da madeira de eucalipto, aumentou a produção de biomassa em alface. Segundo os autores o efeito positivo da aplicação de cinzas na produção das plantas foi atribuído à elevação do pH e das concentrações de Ca, Mg, P e K, que tiveram resposta linear à aplicação das doses de cinza.

Bonfim-Silva et al. (2020b) reiteraram o potencial de correção do solo pela cinza vegetal e constataram que doses de cinza entre 16 e 24 g dm⁻³ favoreceram a produção da cebolinha. A correção da acidez do solo causada pela utilização das cinzas favorece a atividade biológica, estimulando a decomposição de matéria orgânica e a atividade de

algumas enzimas, como a urease, fosfatase, nitrogenase, dentre outras (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; ARRUDA et al., 2016).

De acordo com Araújo et al. (2019), a adubação orgânica é fator determinante para alcançar altas produtividades da palma forrageira, principalmente em cultivos adensados, pois favorece o solo do ponto de vista físico, químico e biológico além de contribuir para redução do uso da adubação mineral com fertilizantes sintéticos.

Segundo Peixoto et al. (2018), a adubação com esterco bovino promove maior incremento de produtividade na palma forrageira. De fato, em cultivo de sequeiro, utilizando 20 Mg ha⁻¹ de esterco bovino (1 kg por cova) com adensamento de 20.000 plantas ha⁻¹, esses pesquisadores constataram que os incrementos na produtividade de matéria verde (de 30,94 Mg ha⁻¹ para 41,16 Mg ha⁻¹) e matéria seca (de 5,52 Mg ha⁻¹ para 8,96 Mg ha⁻¹) foram de 33,03% e 62,32%, respectivamente.

Outros autores também constataram os efeitos positivos do uso do esterco bovino no cultivo dessa cactácea. Donato et al. (2017) verificaram aumento de produtividade de matéria seca para a maior dose de esterco bovino (90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) em comparação ao tratamento sem adubação de 71,31% (de 12,20 para 20,90 Mg ha⁻¹), 600 dias após o plantio, em condição de sequeiro para a variedade Gigante, esses resultados corroboram com o presente estudo.

Para Lédo et al. (2019), a adubação é fator de aumento da produtividade, visto que, avaliando três ciclos de produção da variedade Gigante, em cultivo de sequeiro, encontraram no primeiro ciclo produtividade de 150,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de massa verde preservando os cladódios primários, com adubação organomineral aportando 90 Mg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de esterco bovino adicionada de 600 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio. A adubação, nesse caso, promoveu incremento de 104,21% para massa verde no primeiro ciclo, pois na área sem adubação foi observada produtividade de massa verde de 73,7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Esse primeiro ciclo teve duração de 650 dias e a precipitação foi igual a 912,27 mm. No segundo e terceiro ciclos também foram verificados aumentos na produtividade de massa verde nos tratamentos adubados.

Lima et al. (2018) avaliando o desenvolvimento de três variedades de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Baiana e Miúda/Doce), resistentes à cochonilha do carmim, com diferentes fontes de adubação orgânica (Esterco, Ácido fúlvico, Ácido húmico e Testemunha), em cultivo de sequeiro e densidade de 20 mil plantas ha⁻¹, observaram que a maior produtividade média de massa verde foi obtida para a variedade de palma forrageira

Orelha de Elefante Mexicana (81 Mg ha^{-1}) adubada com esterco bovino (20 Mg ha^{-1}), sem adubação a variedade apresentou produtividade de $18,08 \text{ Mg ha}^{-1}$.

A partir da interação dupla, constatou-se que no regime de sequeiro as plantas sem esterco (E1) não diferem das plantas adubadas com esterco (E2), já nas plantas irrigadas ocorre diferença entre E1 e E2. A aplicação da irrigação aumenta o processo de rendimento produtivo nas plantas sem esterco, embora esse aumento não seja suficiente para diferir do sequeiro. Em contrapartida, as plantas adubadas com esterco bovino responderam com aumento expressivo (Figura 12).

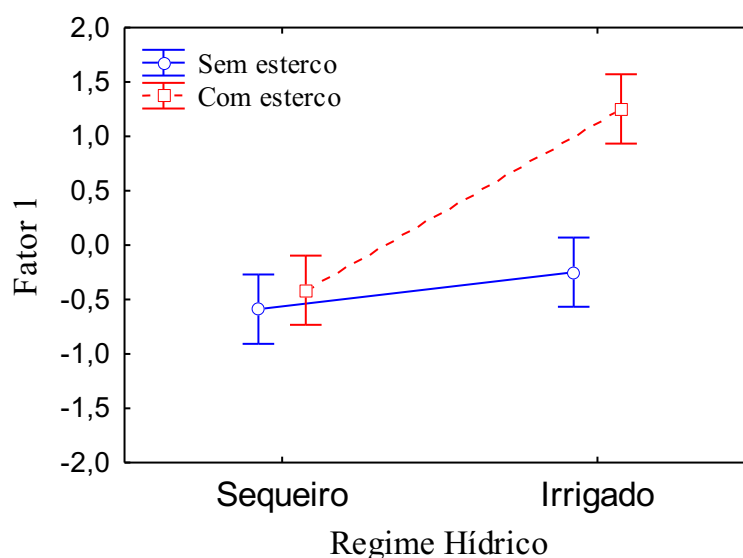


Figura 12. Projeção bidimensional da interação dupla entre o regime hídrico e o esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 1 (PP, PMV, PMS, MS, ACA, EUA, CSO e CSV).

Na Tabela 8, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 1: peso da planta (PP), produtividade de matéria verde (PMV), teor de matéria seca (MS), produtividade de matéria seca (PMS), acúmulo de água (ACA), eficiência no uso da água (EUA), capacidade de suporte de ovinos (CSO) e capacidade de suporte de vacas (CSV), em função do regime hídrico e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 8. Médias das variáveis que formaram o Fator 1 (PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV), em função do regime hídrico e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Variáveis	Esterco	Regime Hídrico	
		Sequeiro	Irrigado
Peso da planta (kg planta ⁻¹)	Sem	2,29	3,15
	Com	3,17	6,19
Produtividade de matéria verde (Mg ha ⁻¹)	Sem	95,26	131,10
	Com	131,98	257,86
Teor de matéria seca (%)	Sem	14,54	11,67
	Com	14,63	10,79
Produtividade de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	Sem	6,70	11,50
	Com	9,19	24,56
Acúmulo de água (Mg ha ⁻¹)	Sem	88,56	119,60
	Com	122,79	233,30
Eficiência no uso da água (kg MS ha ⁻¹ /mm ⁻¹)	Sem	12,22	15,69
	Com	16,76	33,53
Capacidade de suporte de ovinos (animais ha ⁻¹)	Sem	166	284
	Com	227	606
Capacidade de suporte de vacas (animais ha ⁻¹)	Sem	5	9
	Com	7	19

Esses resultados corroboram com os de Campos (2018) que estudou diferentes variedades de palma forrageira e encontraram decréscimos no teor de matéria seca e elevações na produtividade de massa verde e de matéria seca com o uso da irrigação. Na variedade Orelha de Elefante, os teores de MS decresceram da condição sob sequeiro (9,28% de MS) para a irrigada (7,51% de MS), em 19,07%. Segundo o autor, isso ocorreu devido ao fato de que as plantas irrigadas se encontravam com maior grau de turgidez. Enquanto que os incrementos nas produtividades de massa verde e de matéria seca foram de 226,6% (de 95,7 Mg ha⁻¹ para 312,6 Mg ha⁻¹) e 163,84% (de 9,54 Mg ha⁻¹ para 25,17 Mg ha⁻¹), respectivamente.

No regime irrigado, as elevações no conteúdo de água no solo favoreceram a ação dos microrganismos e aceleraram a decomposição do esterco incubado no solo, com consequente liberação dos nutrientes (SOUTO; SOUTO; NASCIMENTO, 2013).

A utilização da irrigação e da adubação induz o crescimento da palma forrageira promovendo o aparecimento de novos cladódios e proporciona o acúmulo de água e nutrientes pela planta, causando um efeito de diluição, o que pode justificar o decréscimo no teor de matéria seca (BARROS et al., 2016). Esse efeito foi constatado, também, por Donato et al.

(2014a) onde verificaram que o teor de matéria seca nas plantas sem aplicação de esterco bovino foi superior quando comparadas às plantas adubadas com doses crescentes de esterco.

Amorim (2015), em trabalho realizado no município de Arcoverde-PE, em cultivo de sequeiro, obteve produção de matéria seca de 32,23 Mg ha⁻¹ e 38,26 Mg ha⁻¹ de palma Orelha de Elefante Mexicana com densidade de 27.777 plantas ha⁻¹ e 55.555 plantas ha⁻¹, respectivamente. Este resultado foi superior ao encontrado no presente estudo o qual pode ter ocorrido devido ao período avaliado referente a dois anos de cultivo.

Silva et al. (2015c) comparando o crescimento e a produtividade de três clones de palma forrageira (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de Elefante Mexicana), resistentes à cochonilha do Carmim, sob condições de sequeiro, verificaram que a Orelha de Elefante Mexicana foi o clone que apresentou maior rendimento de biomassa verde (163 Mg ha⁻¹), sendo o corte realizado dois anos após o plantio. Dessa maneira, os resultados encontrados no presente estudo reforçam a eficiência da complementação hídrica para a cultura da palma forrageira.

Em condições irrigadas utilizando lâmina de irrigação de 16,4 mm a cada 15 dias, Rocha et al. (2017) ao avaliarem os efeitos de intervalos de corte sobre as características produtivas de três genótipos da palma forrageira (Miúda, Orelha de Elefante Mexicana e IPA 20) em condições irrigadas, obtiveram para a Orelha de Elefante Mexicana média de teor de matéria seca de 13,42%, aos 12 meses de corte. Ao todo foram fornecidos 738,50 mm de água à planta, contabilizando a precipitação (443,3 mm) e a irrigação (295,2 mm). Contudo, deve-se considerar que os autores utilizaram uma densidade de 50.000 plantas por hectare, contribuindo para a obtenção de maiores valores.

Estes resultados são superiores aos encontrados por Queiroz et al. (2015) ao avaliar a produtividade da palma Orelha de Elefante Mexicana, irrigada por gotejamento, observaram o teor de matéria seca de 6,33%. No total foram fornecidos 976 mm de água à planta, contabilizando a precipitação e a irrigação, em um ciclo de 380 dias e sob densidade de 15.625 plantas ha⁻¹.

A palma irrigada, com seu baixo teor de matéria seca, constitui assim uma importante reserva de água que contribui para a dessedentação dos animais, principalmente em regiões semiáridas nos períodos de estiagem (SANTOS; DONATO; COTRIM JUNIOR, 2020).

Os dados com base na matéria seca são importantes no estudo da palma forrageira por estes serem utilizados no procedimento de formulação de dietas dos rebanhos (bovinos, caprinos e ovinos). A introdução da palma forrageira à ração animal reduz o uso de

volumosos tradicionais, de concentrado energético e supre grande parte da necessidade de água, contribuindo com a sustentabilidade dos sistemas de produção na região semiárida (SENAR, 2013).

Em cultivo de sequeiro, realizado no município de Tacima –PB, Souza et al. (2019d) verificaram que dentre os genótipos estudados, a Orelha de Elefante apresentou maiores valores médios de acúmulo de água e de eficiência do uso da chuva, 210,87 Litros ha⁻¹ e 42,07 kg MS ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente, sendo recomendado para o cultivo na região semiárida.

Os resultados evidenciam que a utilização da irrigação e da adubação são fatores importantes para o aumento da capacidade de suporte de animais. Souza et al. (2018) realizaram no semiárido paraibano, em cultivo de sequeiro, uma simulação da capacidade de suporte de diferentes genótipos de palma forrageira em um hectare para confinar ovinos por um período de 90 dias, onde o genótipo Orelha de Elefante propiciou maior capacidade de suporte animal 608,2 animais ha⁻¹, os resultados encontrados pelos autores nesse estudo ressaltam a importância da palma forrageira como elemento biológico compatível com as condições edafoclimáticas da região semiárida colaborando para sustentabilidade do sistema pecuário na região.

F2 – Crescimento de cladódio secundário da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana

No Fator 2 (F2), foi observada a correlação positiva entre LP, CCS, LCS e ECS, que refletem parte do crescimento da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, com ênfase para as características morfológicas do cladódio secundário (Tabela 5). Onde o aumento das dimensões dos cladódios secundários, expressos em termos de comprimento, largura e espessura irão proporcionar plantas mais largas.

Analisando a Figura 13, observa-se que a aplicação de esterco bovino aumenta o processo ocasionando diferença entre eles, representando maior crescimento nas plantas adubadas com esterco bovino.

Dessa maneira as plantas adubadas com esterco bovino apresentam maior potencial para a implantação de novos palmais, visto que essas maiores dimensões conferem maior potencial adaptativo ao estresse.

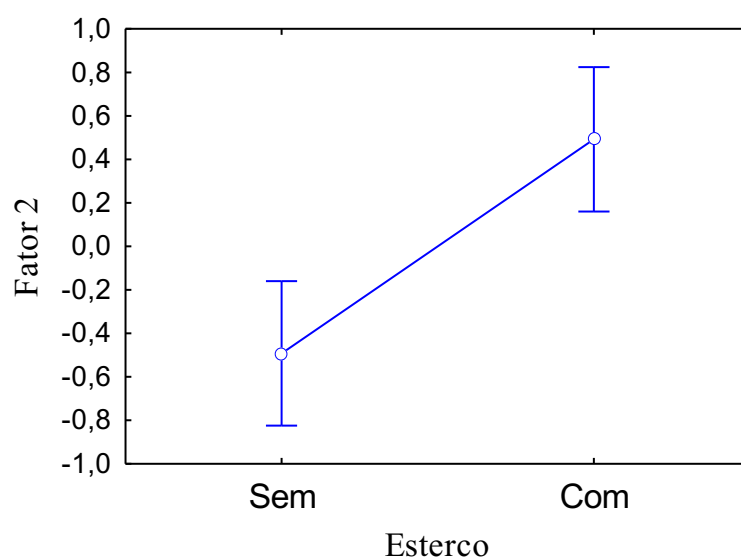


Figura 13. Projeção bidimensional em função do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 2 (LP, CCS, LCS e ECS).

Na Tabela 9, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 2: largura de planta (LP), comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio secundário (LCS) e espessura de cladódio secundário (ECS), em função do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 9. Médias das variáveis que formaram o Fator 2 (LP, CCS, LCS e ECS), em função do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Variáveis	Esterco	
	Sem	Com
Largura de planta (cm)	64,98	82,57
Comprimento de cladódio secundário (cm)	14,04	22,90
Largura de cladódio secundário (cm)	11,42	18,49
Espessura de cladódio secundário (mm)	6,15	9,71

Lima et al. (2018) avaliando o desenvolvimento de três variedades de palma forrageira, resistentes à cochonilha do carmim, com diferentes fontes de adubação orgânica, verificaram que a adubação orgânica com esterco favorece o crescimento da variedade de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo.

Donato et al. (2014b) e Santana et al. (2021), realizando estudos com doses de adubação orgânica observaram que o comprimento dos cladódios tem forte influência da

adubação com esterco, pois o mesmo fez com que as plantas de palma forrageira aumentassem o comprimento dos cladódios. Ver-se assim a importância deste tipo de adubação, pois assim como estes autores o presente trabalho também apresentou influência positiva da adubação com esterco bovino no comprimento e largura dos cladódios. Provavelmente este aumento no comprimento e largura dos cladódios tem relação com a maior disponibilidade de nitrogênio que o esterco bovino proporciona para as plantas, fazendo com que as plantas apresentem maior período vegetativo. Para a palma forrageira o comprimento e largura dos cladódios é um fator importante para a sua colheita, pois a medida que se tem aumento considerável de desenvolvimento linear apenas até certa idade da planta, este pode ser um dos critérios adotados para realizar a colheita do palmal e assim evitar que a planta continue no campo sem apresentar ganhos significativos de crescimento (RAMOS et al., 2015).

F3 - Trocas gasosas da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana

O Fator 3 (F3) está relacionado às variáveis de trocas gasosas da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, em que a c_i , E e gs apresentaram correlação positiva (Tabela 5). Dessa maneira o aumento da condutância estomática facilita a saída de vapor de água por meio da transpiração e a entrada de CO_2 , acarretando o aumento da concentração de carbono no interior da câmara subestomática.

Observa-se na Figura 14 que o sistema em sequeiro difere do sistema irrigado, e que a utilização da irrigação aumentou as trocas gasosas da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

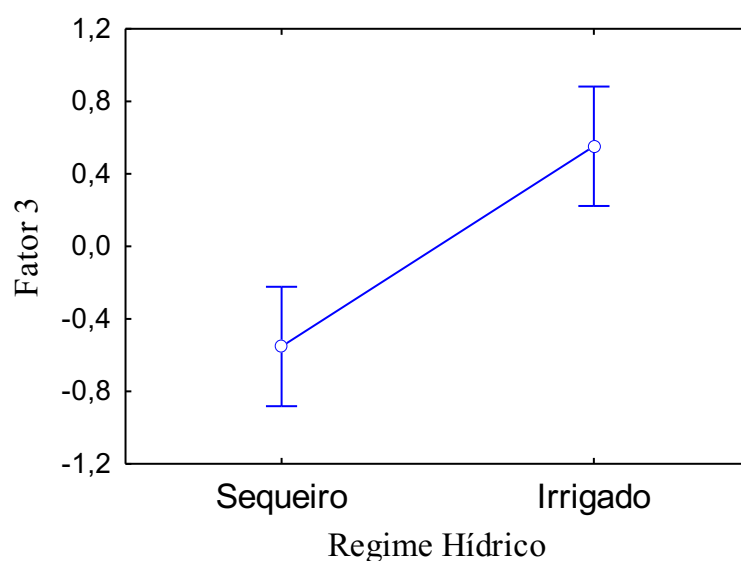


Figura 14. Projeção bidimensional em função do regime hídrico para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 3 (ci, E e gs).

Na Tabela 10, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 3: concentração interna de carbono (ci), transpiração (E) e condutância estomática (gs), em função do regime hídrico para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 10. Médias das variáveis que formaram o Fator 3 (ci, E e gs), em função do regime hídrico para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Variáveis	Regime Hídrico	
	Sequeiro	Irrigado
Concentração interna de carbono ($\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)	391,07	425,17
Transpiração ($\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,67	0,83
Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,10	0,19

A maior concentração interna de CO_2 no cultivo irrigado da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana pode ser justificada, pois, as plantas no cultivo em sequeiro apresentaram taxa de transpiração e condutância estomática inferior às plantas submetidas ao sistema com irrigação. Esse comportamento é semelhante ao encontrado por Campelo et al. (2015) que ao avaliarem as trocas gasosas em plantas adultas de Gonçalo-alves (*Astronium fraxinifolium*), Guanandi (*Calophyllum brasiliens*), Ipê-amarelo (*Handroanthus serratifolius*), e Mogno (*Swietenia macrophylla*), observaram menores valores de transpiração na condição de regime de sequeiro. Cabe ressaltar que os valores para a concentração interna de carbono

obtidos neste trabalho foram superiores aos valores encontrados por Souza et al. (2020a) para a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck), de 338,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, em cultivo de sequeiro.

A diminuição na transpiração em função da menor disponibilidade hídrica ocorre a fim de reduzir a perda hídrica na planta e economizar a água disponível no solo (MACHADO FILHO, 2002; KANG et al., 2003), indicando que a palma mesmo em condições de deficiência hídrica tem eficiência no controle das taxas transpiratórias.

Valores dessa ordem de grandeza para a transpiração também foram observados por Alves et al. (2018b) para a palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*), variedade Miúda sob condições de irrigação no Semiárido, que encontraram um valor de 0,44 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, as plantas foram irrigadas a cada sete dias, com 1/3 da evapotranspiração total semanal.

A palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana apresentou maior condutância estomática em cultivo irrigado. Esses resultados demonstram que a variedade estudada promove o fechamento estomático para evitar a perda excessiva de água quando expostas a condições de baixa disponibilidade hídrica (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Influência do déficit hídrico na condutância estomática foi também observada por Araújo et al. (2010) ao estudarem três genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.), onde observaram redução na condutância estomática das plantas dias após a suspensão da irrigação.

Valores dessa magnitude para condutância estomática, próximos ou igual a zero, também foram verificados em outros estudos com palma forrageira (ALVES et al., 2018a; SOUZA et al., 2020a).

F4 - Eficiência fotossintética da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana

No Fator 4 (F4), as variáveis A, EmUA, EiUA e EiC foram positivamente correlacionadas, refletindo a eficiência fotossintética da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (Tabela 5). Assim, a eficiência momentânea do uso da água (EmUA), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foram favorecidas em virtude do aumento da taxa de captação de CO_2 .

Ao analisar a interação tripla (Figura 15), observou-se que na dose de cinza de biomassa (0 Mg ha^{-1}), as plantas de sequeiro não diferem das plantas irrigadas e a aplicação de esterco bovino aumentou a eficiência fotossintética nos dois regimes hídricos.

Na dose de cinza de biomassa ($1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$), a aplicação de esterco bovino acarretou redução na eficiência fotossintética das plantas de sequeiro e estabilização das plantas irrigadas.

Nas doses 2,6 e $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, a adubação com esterco promoveu aumentos na eficiência fotossintética das plantas em regime de sequeiro e reduções no regime irrigado.

Na dose máxima $5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, as plantas de sequeiro não diferem das plantas irrigadas na ausência de esterco bovino (E1). Na presença de esterco, houve redução na eficiência fotossintética das plantas de sequeiro e aumento nas plantas irrigadas, ocasionando diferença entre os regimes hídricos.

A máxima eficiência fotossintética foi obtida na dose $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, sem esterco em cultivo irrigado e a mínima eficiência na dose $5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza associada a presença de esterco em regime de sequeiro.

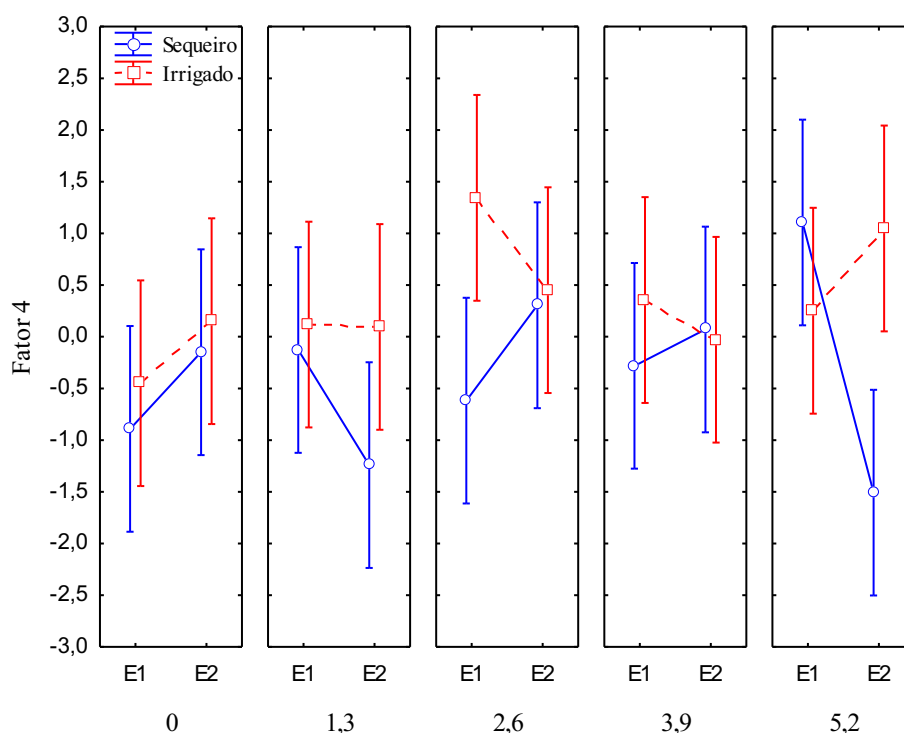


Figura 15. Projeção bidimensional da interação tripla entre o regime hídrico, o esterco e as doses de cinza para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 4 (A, EmUA, EiUA e EiC).

Na Tabela 11, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 4: taxa de captação de CO_2 (A), eficiência momentânea do uso da água (EmUA), eficiência intrínseca do

uso da água (EiUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 11. Médias das variáveis que formaram o Fator 4 (A, EmUA, EiUA e EiC), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Variáveis	Regime Hídrico	Esterco	Doses de Cinza (Mg ha ⁻¹)				
			0	1,3	2,6	3,9	5,2
Taxa de captação de CO ₂ (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	Sequeiro	Sem	0,73	1,30	1,08	1,20	2,05
		Com	1,38	0,68	1,54	1,22	0,38
	Irrigado	Sem	1,62	2,15	2,99	2,37	2,32
		Com	2,56	2,56	2,26	2,45	3,51
Eficiência momentânea do uso da água (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ / mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	Sequeiro	Sem	1,22	2,38	1,75	1,75	3,17
		Com	2,36	1,17	2,46	2,57	0,69
	Irrigado	Sem	2,17	2,16	3,99	3,18	2,70
		Com	2,89	3,98	3,63	3,16	3,87
Eficiência intrínseca do uso da água (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ / mol m ⁻² s ⁻¹)	Sequeiro	Sem	8,35	15,09	12,60	12,98	20,43
		Com	13,61	8,24	15,65	16,60	4,04
	Irrigado	Sem	9,40	9,93	18,73	14,00	11,33
		Com	13,08	15,63	14,53	13,40	17,97
Eficiência instantânea de carboxilação (mol de CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ /mol de CO ₂ mol ⁻¹)	Sequeiro	Sem	0,002	0,003	0,003	0,003	0,006
		Com	0,004	0,002	0,004	0,003	0,001
	Irrigado	Sem	0,004	0,005	0,007	0,005	0,005
		Com	0,006	0,007	0,005	0,006	0,008

Na condição de menor disponibilidade hídrica, uma das primeiras respostas das variedades de palma forrageira pode ser o fechamento dos estômatos, com a finalidade de reduzir a perda de água, diminuindo também a taxa de captação de CO₂ (LARCHER, 2006; TAIZ & ZEIGER, 2013).

Dependendo das condições ambientais, as plantas C3 apresentam atividade fotossintética variando entre 12 e 25 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹; as plantas C4, entre 25 a 40 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹; e as plantas CAM, entre 2,5 a 7,6 μmol de CO₂ m⁻² s⁻¹ (PIMENTEL, 1998). Os valores da taxa de assimilação líquida do CO₂ indicam que a variedade em estudo pertence ao ciclo fotossintético do tipo CAM, sendo similares aos resultados encontrados por Alves et al. (2020) e Souza et al. (2020a).

Silva (2019) avaliando as trocas gasosas de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) encontrou a maior taxa de assimilação líquida de CO₂ na variedade ‘Orelha de Elefante

Mexicana' ($10,733 \mu\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). O resultado para esta variável foi superior aos encontrados neste estudo.

A relação entre a captação de CO_2 e a transpiração indica a eficiência momentânea no uso de água (EmUA), em que os valores observados representam a quantidade de carbono que a planta fixa, por cada unidade de água que perde durante o processo de fotossíntese (JAIMEZ et al., 2005; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Os menores valores observados na EmUA, notadamente no regime de sequeiro, são reflexos das reduções observadas na taxa de assimilação de CO_2 e na transpiração da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Silva (2019) avaliando a existência de variação entre e dentro dos gêneros de palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) quanto às trocas gasosas, encontrou a maior eficiência momentânea do uso da água (EmUA) na variedade Orelha de Elefante Mexicana, detendo $2,41 (\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1})/(\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1})$, valor próximo ao obtido nesta pesquisa.

A relação entre a concentração interna de carbono e a taxa de assimilação de dióxido de carbono é denominada eficiência instantânea de carboxilação (EiC), em que os valores encontrados representam a velocidade que o CO_2 fixado é processado (LARCHER, 2006; MACHADO et al., 2005).

A maior eficiência instantânea de carboxilação (EiC) constatada no cultivo irrigado possivelmente está relacionado ao aumento na atividade da enzima ribulose-1,5-bifosfato-carboxilase/oxigenase (Rubisco), considerando que a eficiência instantânea de carboxilação representa uma estimativa da atividade dessa enzima. Tal resposta pode acontecer devido aumentos na condutância estomática, na taxa fotossintética e na concentração intracelular de CO_2 e, conseqüentemente, em função da maior disponibilidade de ATP e NADPH (SILVA et al., 2015b; SILVA, 2019).

Estes resultados são inferiores aos encontrados por Souza et al. (2020a), ao avaliar as trocas gasosas de *Nopalea cochenillifera* cultivada em condição de sequeiro que relatou para a eficiência instantânea de carboxilação um valor de $0,008 \text{ mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$.

F5 – Quantidade de cladódios da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana

No Fator 5 (F5), os fatores em estudo não influenciaram as variáveis retidas, número de cladódio primário (NCP) e número de cladódio secundário (NCS), que apresentaram correlação positiva entre si. Essa correlação ocorre, pois, os cladódios secundários são

originados por meio de novas brotações de vários cladódios, neste caso, da primeira ordem, já os cladódios primários são provenientes de um único cladódio, chamado de cladódio mãe, também conhecido como cladódio base (SILVA et al., 2010). Dessa maneira, a quantidade de cladódios primários será determinante no número de brotações dos cladódios secundários.

O número de cladódios é uma variável importante para inferir sobre a atividade fotossintética da palma forrageira, visto que a maior quantidade de cladódios proporciona uma maior área de captação de energia solar para realização da fotossíntese pela planta.

F6 - Crescimento do cladódio primário da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana

O Fator 6 (F6) reflete parte do crescimento da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, onde foi observada a correlação positiva entre as variáveis de AP, CCP, LCP e ECP, com destaque para as características morfológicas do cladódio primário (Tabela 5). Assim, o aumento das dimensões dos cladódios primários, expressos em termos de comprimento, largura e espessura irão proporcionar plantas mais altas. Corroborando com esses resultados, Silva et al. (2010) verificaram através dos coeficientes de correlação para a variável altura de planta que as plantas mais altas possuem artículos primários largos e compridos.

A partir da interação dupla, constatou-se que nos dois regimes hídricos as plantas sem esterco (E1) não diferem das plantas adubadas com esterco (E2). A aplicação da irrigação aumentou o crescimento do cladódio primário em E1 e o manteve estável em E2 (Figura 16).

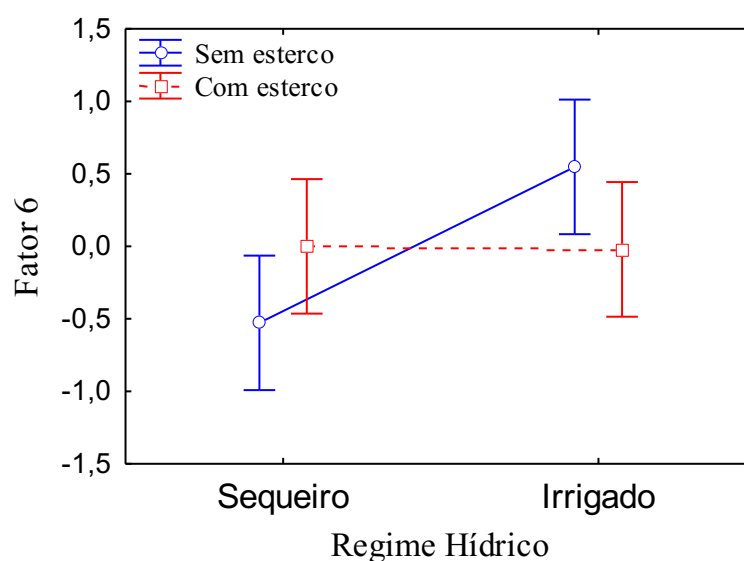


Figura 16. Projeção bidimensional da interação dupla entre o regime hídrico e o esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana no Fator 6 (AP, CCP, LCP e ECP).

Na Tabela 12, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 6: altura de planta (AP), comprimento de cladódio primário (CCP), largura de cladódio primário (LCP), espessura de cladódio primário (ECP) em função do regime hídrico e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Tabela 12. Médias das variáveis que formaram o Fator 6 (AP, CCP, LCP e ECP), em função do regime hídrico e do esterco para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Variáveis	Esterco	Regime Hídrico	
		Sequeiro	Irrigado
Altura de planta (cm)	Sem	49,80	52,13
	Com	60,17	58,03
Comprimento de cladódio primário (cm)	Sem	25,00	30,78
	Com	28,75	30,28
Largura de cladódio primário (cm)	Sem	19,62	23,35
	Com	21,92	23,54
Espessura de cladódio primário (mm)	Sem	10,66	14,55
	Com	12,04	14,39

O aumento da altura de planta com a dose de adubação orgânica também foi observado por Padilha Junior et al. (2016) avaliando as características morfométricas da palma forrageira 'Gigante' no município de Guanambi, Bahia, aos 650 dias após o plantio,

constatarem valores médios de 87,37 cm e 104,17 cm, sem adubação e com adubação de 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de esterco bovino, respectivamente.

Ramos et al. (2015) ao estudarem o crescimento da palma forrageira Gigante em função da adubação orgânica verificaram que a altura de planta, comprimento e largura de cladódios foram incrementados com as doses de esterco. Estes resultados corroboram com o presente estudo, uma vez que, os maiores valores de crescimento foram observados nas plantas adubadas.

Os resultados encontrados no presente estudo foram superiores aos encontrados por Rocha et al. (2017), em cultivo irrigado de palma Orelha de Elefante Mexicana. Esses autores utilizaram lâmina de 16,4 mm a cada 15 dias (32,8 mm mês⁻¹), obtendo valores médios de comprimento de cladódio de 25,66 cm e largura de cladódio de 21,36 cm, aos 16 meses após o plantio.

Os resultados obtidos por Xavier et al. (2020) para espessura de cladódios foram inferiores aos observados no presente trabalho. Esses autores avaliaram os efeitos de lâminas de irrigação e fontes de adubação orgânica sobre as características biométricas de cladódios da palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana, e obtiveram média de espessura de cladódios entre 2,6 mm, para os tratamentos com ausência de irrigação, e 9,3 mm, para os tratamentos com lâmina de 5,5 L semana⁻¹. Os referidos autores não verificaram efeitos da adubação orgânica sobre a espessura dos cladódios, estes resultados diferem do presente estudo, uma vez que, as doses de esterco influenciaram positivamente a espessura do cladódio. Entretanto, as avaliações ocorreram aos 90 dias, diferente do atual trabalho, em que a análise dessa variável foi realizada aos 360 dias após o plantio.

Sarmento et al. (2019) avaliaram a influência das diferentes frequências de irrigação (0, 7, 14 e 21 dias) sobre o crescimento e produtividade da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana. Os valores observados para a altura de planta foram de: 78,47 cm (sequeiro) e 84,67 cm (7 dias). As médias observadas para comprimento de cladódio primário foram de: 31,16 cm (sem irrigação) e 36,07 cm (7 dias). Em relação à largura de cladódio primário, foram encontrados valores de: 23,86 (sem irrigação) e 28,90 (7 dias). A espessura de cladódio primário observada foi de: 19,14 mm (0 dias) e 17,32 mm (7 dias). Embora superiores, os resultados encontrados pelos autores corroboram os resultados do presente estudo pelo fato de que o fornecimento de água pela irrigação aumenta as variáveis de crescimento da palma forrageira em comparação ao cultivo de sequeiro.

Pereira et al. (2015) utilizando uma lâmina de 7,5 mm em cultivo da mesma variedade obtiveram aos 12 meses uma média de 46,9 cm de altura da planta, 23,8 cm de comprimento de cladódio primário, 11,8 cm de espessura de cladódio primário, portanto, inferiores aos observados no presente estudo.

5.1.2 Negro Michoacan

Verifica-se na Tabela 13 que o espaço multidimensional das 28 variáveis originais analisadas foi reduzido para quatro fatores. O primeiro fator possui o autovalor de 15,87 e variância explicada de 56,66%, ou seja, esse é o percentual da variância compartilhada para a formação do primeiro fator que, a priori, é um valor bem significativo para um único fator. Logo em seguida, estão os fatores F2, F3 e F4 com autovalores de 2,63, 1,96 e 1,32. Juntos, os fatores extraídos explicam 77,77% da variância total dos dados (s^2).

Tabela 13. Autovalores maiores que a unidade, porção da variância explicada e acumulada para a palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Fatores	Autovalor	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
Fator 1	15,87	56,66	56,66
Fator 2	2,63	9,38	66,04
Fator 3	1,96	7,01	73,05
Fator 4	1,32	4,72	77,77

Rotação: *Biquartimax raw*

Caracterização dos fatores

Observam-se na Tabela 14, os quatro fatores selecionados e suas respectivas cargas fatoriais para a palma forrageira Negro Michoacan.

Tabela 14. Cargas fatoriais rotacionadas pelo método Biquartimax raw para a palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Variáveis	Fatores			
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Altura de planta (AP)	0,75	-0,23	0,16	0,05
Largura de planta (LP)	0,83	0,06	0,19	0,10
Número de cladódio primário (NCP)	-0,16	0,38	-0,04	0,78
Comprimento de cladódio primário (CCP)	0,09	-0,09	0,79	0,09
Largura de cladódio primário (LCP)	0,30	-0,19	0,80	0,04

Espessura de cladódio primário (ECP)	0,73	-0,13	0,03	0,11
Número de cladódio secundário (NCS)	0,23	-0,33	0,30	0,67
Largura de cladódio secundário (LCS)	0,63	0,25	0,45	-0,11
Espessura de cladódio secundário (ECS)	0,77	0,22	0,13	-0,02
Número de cladódio terciário (NCT)	0,87	-0,25	0,02	0,10
Comprimento de cladódio terciário (CCT)	0,66	-0,02	0,33	0,02
Espessura de cladódio terciário (ECT)	0,67	0,26	0,16	0,05
Número de cladódio quaternário (NCQ)	0,81	-0,17	-0,10	0,10
Comprimento de cladódio quaternário (CCQ)	0,93	-0,09	-0,15	-0,02
Largura de cladódio quaternário (LCQ)	0,93	-0,08	-0,17	-0,01
Espessura de cladódio quaternário (ECQ)	0,92	-0,04	-0,18	-0,04
Condutância estomática (gs)	0,66	0,01	-0,14	-0,17
Taxa de captação de CO ₂ (A)	0,34	0,66	-0,28	-0,01
Eficiência momentânea do uso da água (EmUA)	0,08	0,68	-0,20	0,12
Eficiência instantânea de carboxilação (EiC)	0,05	0,74	-0,04	0,13
Peso da planta (PP)	0,98	0,03	0,06	0,02
Produtividade de matéria verde (PMV)	0,98	0,03	0,06	0,02
Teor de matéria seca (MS)	-0,65	-0,49	-0,21	0,31
Produtividade de matéria seca (PMS)	0,96	0,14	0,10	-0,05
Acúmulo de água (ACA)	0,98	0,01	0,06	0,03
Eficiência no uso da água (EUA)	0,96	0,11	0,11	-0,03
Capacidade de suporte de ovinos (CSO)	0,96	0,14	0,10	-0,05
Capacidade de suporte de vacas (CSV)	0,96	0,14	0,10	-0,05

Valores em negrito representam as cargas fatorais expressivas maiores ou iguais a 0,60.

O Fator 1 foi formado pelas variáveis: altura de planta (AP), largura de planta (LP), espessura de cladódio primário (ECP), largura de cladódio secundário (LCS), espessura de cladódio secundário (ECS), número de cladódio terciário (NCT), comprimento de cladódio terciário (CCT), espessura de cladódio terciário (ECT), número de cladódio quaternário (NCQ), comprimento de cladódio quaternário (CCQ), largura de cladódio quaternário (LCQ), espessura de cladódio quaternário (ECQ), condutância estomática (gs), peso da planta (PP), produtividade de matéria verde (PMV), teor de matéria seca (MS), produtividade de matéria seca (PMS), acúmulo de água (ACA), eficiência no uso da água (EUA), capacidade de suporte de ovinos (CSO) e capacidade de suporte de vacas (CSV); O Fator 2 foi formado pelas variáveis: taxa de captação de CO₂ (A), eficiência momentânea do uso da água (EmUA), eficiência instantânea de carboxilação (EiC); o Fator 3 pelas variáveis comprimento de cladódio primário (CCP) e largura de cladódio primário (LCP) e o Fator 4 pelas variáveis: número de cladódio primário (NCP) e número de cladódio secundário (NCS), conforme Tabela 14.

Nos fatores 1 e 2 foi observada diferença significativa ($p < 0,001$) em função dos efeitos isolados do regime hídrico (R) e das doses de cinza (C). As doses de esterco (E) influenciaram significativamente os fatores 1 e 4. Também foram encontradas interações entre regime hídrico \times doses de esterco e regime hídrico \times doses de cinza no fator 1, e doses de esterco \times doses de cinza no fator 4. A interação tripla foi observada nos fatores 1 e 3 (Tabela 15).

Tabela 15. Resumo das análises de variância para quatro fatores formados a partir de 28 variáveis originais para a palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio			
		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4
Regime Hídrico (R)	1	31,70**	5,80**	0,32 ^{ns}	2,22 ^{ns}
Doses de Esterco (E)	1	1,52**	0,87 ^{ns}	0,48 ^{ns}	4,30**
Doses de Cinza (C)	4	2,28**	3,42**	1,71 ^{ns}	1,46 ^{ns}
Interação R x E	1	0,92**	1,28 ^{ns}	1,01 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Interação R x C	4	1,50**	0,97 ^{ns}	0,82 ^{ns}	1,31 ^{ns}
Interação E x C	4	0,26 ^{ns}	0,13 ^{ns}	0,91 ^{ns}	2,29**
Interação R x E x C	4	0,52**	1,30 ^{ns}	3,75**	0,63 ^{ns}
Resíduo	40	0,16	0,69	0,71	0,74

** : Significativo para 0,1% ($p < 0,001$); ns: não significativo ($p > 0,05$); GL, graus de liberdade

F1 – Desempenho Agrônômico da palma forrageira Negro Michoacan

O Fator 1 (F1) é constituído por 21 variáveis, tendo como características valores elevados em suas cargas fatoriais de variáveis que estão relacionadas aos aspectos das características morfológicas, fisiológicas e produtivas da palma forrageira Negro Michoacan.

Observa-se correlação positiva entre as variáveis de crescimento (AP, LP, ECP, LCS, ECS, NCT, CCT, ECT, NCQ, CCQ, LCQ, ECQ), fisiologia (gs) e produção (PP, PMV, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV). Para esse mesmo fator, o teor de matéria seca (MS) foi a única variável que apresentou carga fatorial negativa (-0,65), ou seja, uma correlação negativa com as demais variáveis do fator, indicando que nesse processo o aumento das outras variáveis ocasiona redução do teor de matéria seca.

Silva et al. (2010) avaliando a relação entre as características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira para identificação daqueles que contribuem diretamente na produção, constataram que a altura e a largura da planta são características morfológicas importantes, pois apresentam alta correlação positiva com a produção de massa seca.

Neder et al. (2013) em estudo das correlações de características morfológicas e de produção de acessos de palma forrageira constataram que a produção de matéria verde apresentou elevada associação com a produção de matéria seca e que a espessura dos cladódios apresentaram efeito direto sobre a produção, podendo ser empregados na seleção indireta ou como auxiliares no processo seletivo do acesso mais produtivo.

Ao analisar a interação tripla, observou-se que no tratamento sem cinza de biomassa (0 Mg ha^{-1}), as plantas de sequeiro não diferem das plantas irrigadas na ausência de esterco bovino (E1), ao aplicar o esterco, houve redução no processo das plantas de sequeiro e aumento nas plantas irrigadas, ocasionando diferença entre os regimes hídricos. Em relação à aplicação da dose $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza de biomassa no sistema de sequeiro não houve diferença entre a ausência e a presença de esterco bovino. Entretanto, observa-se que o tratamento com esterco (E2) aumentou o processo no regime irrigado. O sistema irrigado com esterco e dose $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza não diferiu apenas da dose $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza. Na dose $2,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, o regime de sequeiro diferiu do irrigado no tratamento sem esterco bovino. Na presença de esterco os tratamentos não diferiram. Em ambos, a aplicação de esterco acarretou aumento do processo. Na dose $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, assim como em $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, as plantas em sistema de sequeiro diferem das plantas irrigadas. Na dose máxima de cinza de biomassa ($5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$), os tratamentos não diferem entre si. De modo geral, em sistema irrigado, o tratamento com esterco bovino aumenta o processo em todas as condições, e a associação da adubação com esterco e dose $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza, no regime irrigado confere as plantas maior desempenho agrônomico da palma forrageira Negro Michoacan, conforme Figura 17.

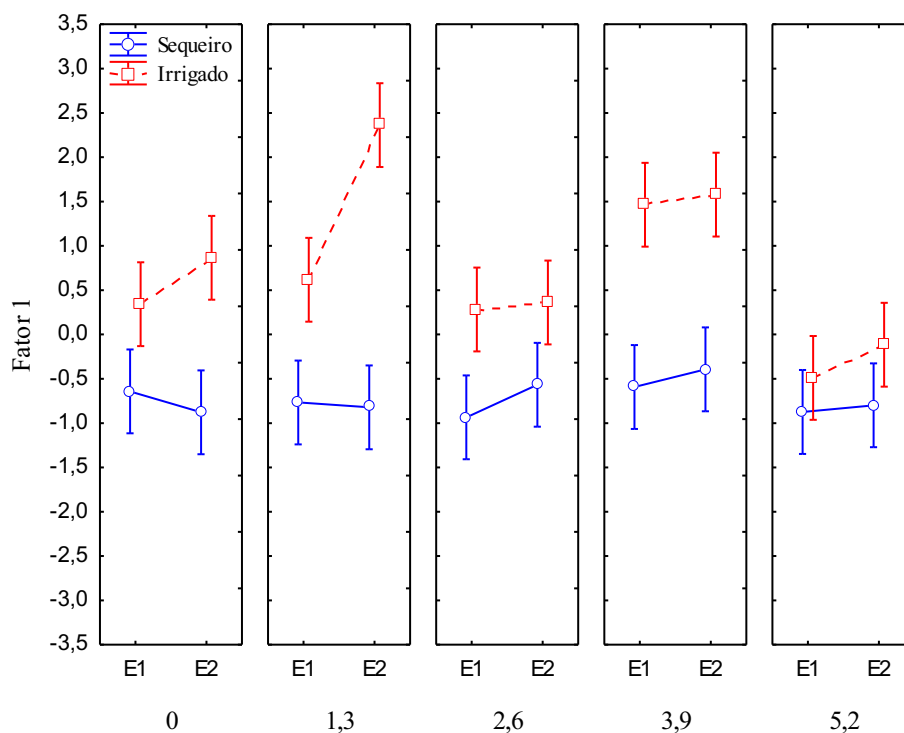


Figura 17. Projeção bidimensional da interação tripla entre o regime hídrico, o esterco e as doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 1 (AP, LP, ECP, LCS, ECS, NCT, CCT, ECT, NCQ, CCQ, LCQ, ECQ, gs, PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV).

Na Tabela 16, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 1: altura de planta (AP), largura de planta (LP), espessura de cladódio primário (ECP), largura de cladódio secundário (LCS), espessura de cladódio secundário (ECS), número de cladódio terciário (NCT), comprimento de cladódio terciário (CCT), espessura de cladódio terciário (ECT), número de cladódio quaternário (NCQ), comprimento de cladódio quaternário (CCQ), largura de cladódio quaternário (LCQ), espessura de cladódio quaternário (ECQ), condutância estomática (gs), peso da planta (PP), produtividade de matéria verde (PMV), teor de matéria seca (MS), produtividade de matéria seca (PMS), acúmulo de água (ACA), eficiência no uso da água (EUA), capacidade de suporte de ovinos (CSO) e capacidade de suporte de vacas (CSV) em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.

Tabela 16. Médias das variáveis que formaram o Fator 1 (AP, LP, ECP, LCS, ECS, NCT, CCT, ECT, NCQ, CCQ, LCQ, ECQ, gs, PP, PMV, MS, PMS, ACA, EUA, CSO e CSV), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.

Variáveis	Regime Hídrico	Esterco	Doses de Cinza (Mg ha ⁻¹)				
			0	1,3	2,6	3,9	5,2
Altura de planta (cm)	Sequeiro	Sem	56,67	66,67	40,00	66,67	65,00
		Com	47,50	67,50	65,00	75,00	60,75
	Irrigado	Sem	60,67	78,33	69,00	85,50	57,50
		Com	71,50	88,33	76,00	87,50	67,75
Largura de planta (cm)	Sequeiro	Sem	96,67	95,00	80,33	93,33	80,00
		Com	92,50	85,00	116,67	100,00	83,50
	Irrigado	Sem	126,67	121,00	120,33	150,00	120,50
		Com	140,00	150,00	129,50	152,00	140,50
Espessura de cladódio primário (mm)	Sequeiro	Sem	14,67	10,91	8,33	16,12	9,77
		Com	11,26	10,43	15,78	16,63	6,44
	Irrigado	Sem	16,04	22,35	17,02	18,00	15,91
		Com	16,94	29,46	22,91	21,31	17,04
Largura de cladódio secundário (cm)	Sequeiro	Sem	13,17	12,83	11,17	11,67	11,75
		Com	10,50	11,00	10,83	10,50	13,31
	Irrigado	Sem	13,17	14,83	12,83	13,75	12,75
		Com	15,00	15,33	14,00	13,75	14,31
Espessura de cladódio secundário (mm)	Sequeiro	Sem	10,30	6,74	5,41	7,10	6,75
		Com	6,45	6,33	5,88	9,11	6,62
	Irrigado	Sem	14,53	12,85	12,22	14,49	14,08
		Com	13,70	15,26	14,82	14,52	12,86
Número de cladódio terciário (unidade)	Sequeiro	Sem	9,33	6,00	3,67	10,33	4,50
		Com	3,00	6,50	13,67	16,33	2,25
	Irrigado	Sem	13,00	18,33	17,00	33,50	7,00
		Com	14,00	35,67	16,00	30,00	11,25
Comprimento de cladódio terciário (cm)	Sequeiro	Sem	14,33	14,67	9,00	18,83	7,00
		Com	13,50	8,75	16,33	17,67	11,44
	Irrigado	Sem	20,83	20,00	20,17	22,75	21,00
		Com	24,00	25,00	21,00	21,75	19,94
Espessura de cladódio terciário (mm)	Sequeiro	Sem	8,43	6,12	3,97	6,60	3,96
		Com	7,50	2,49	5,98	5,48	6,23
	Irrigado	Sem	10,91	9,02	10,85	10,47	12,05
		Com	11,29	14,17	12,34	10,62	12,73
Número de cladódio quaternário (unidade)	Sequeiro	Sem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Com	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigado	Sem	3,67	3,00	2,00	6,00	0,00
		Com	1,50	16,67	1,00	8,50	0,00
Comprimento de cladódio quaternário (cm)	Sequeiro	Sem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Com	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigado	Sem	7,33	11,17	6,00	19,00	0,00
		Com	6,75	19,17	9,00	16,50	0,00

Largura de cladódio quaternário (cm)	Sequeiro	Sem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Com	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigado	Sem	5,17	6,83	3,50	11,50	0,00
		Com	4,50	12,00	5,50	10,00	0,00
Espessura de cladódio quaternário (mm)	Sequeiro	Sem	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Com	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Irrigado	Sem	3,64	7,45	2,29	8,64	0,00
		Com	4,73	9,97	4,04	7,50	0,00
Condutância estomática (mol m ⁻² s ⁻¹)	Sequeiro	Sem	0,05	0,06	0,05	0,03	0,06
		Com	0,06	0,09	0,06	0,06	0,01
	Irrigado	Sem	0,12	0,13	0,14	0,16	0,12
		Com	0,11	0,13	0,12	0,13	0,09
Peso da planta (kg planta ⁻¹)	Sequeiro	Sem	4,23	2,93	1,84	3,85	1,49
		Com	1,90	1,86	4,68	6,10	2,68
	Irrigado	Sem	11,01	10,20	10,82	16,80	5,47
		Com	14,86	24,36	10,05	17,86	7,73
Produtividade de matéria verde (Mg ha ⁻¹)	Sequeiro	Sem	176,11	122,22	76,53	160,34	62,19
		Com	79,17	77,61	195,14	254,02	111,53
	Irrigado	Sem	458,81	424,85	450,76	699,78	227,91
		Com	619,16	1015,12	418,81	744,34	321,94
Teor de matéria seca (%)	Sequeiro	Sem	13,25	14,12	14,57	13,62	13,62
		Com	13,17	14,38	14,83	13,74	11,83
	Irrigado	Sem	10,98	10,48	10,78	10,21	10,81
		Com	8,10	9,82	10,04	8,85	9,61
Produtividade de matéria seca (Mg ha ⁻¹)	Sequeiro	Sem	13,32	8,73	5,19	12,12	4,56
		Com	6,15	5,35	13,35	18,40	9,63
	Irrigado	Sem	42,34	40,96	42,05	69,42	21,18
		Com	76,36	103,15	41,61	84,78	33,48
Acúmulo de água (Mg ha ⁻¹)	Sequeiro	Sem	162,79	113,49	71,33	148,22	57,63
		Com	73,01	72,26	181,79	235,62	101,90
	Irrigado	Sem	416,47	383,90	408,71	630,36	206,74
		Com	542,80	911,98	377,21	659,56	288,46
Eficiência no uso da água (kg MS ha ⁻¹ /mm ⁻¹)	Sequeiro	Sem	24,29	15,91	9,47	22,10	8,31
		Com	11,22	9,74	24,33	33,55	17,56
	Irrigado	Sem	57,80	55,91	57,39	94,75	28,91
		Com	104,23	140,80	56,79	115,72	45,70
Capacidade de suporte de ovinos (animais ha ⁻¹)	Sequeiro	Sem	329	215	128	299	113
		Com	152	132	330	454	238
	Irrigado	Sem	1045	1011	1038	1714	523
		Com	1885	2547	1027	2093	827
Capacidade de suporte de vacas (animais ha ⁻¹)	Sequeiro	Sem	10	7	4	9	4
		Com	5	4	10	14	7
	Irrigado	Sem	33	32	32	53	16
		Com	59	79	32	65	26

O aumento da condutância estomática está relacionado à maior disponibilidade de água no solo proporcionado no cultivo irrigado associado com a adubação orgânica, permitindo maior abertura dos estômatos, aumentando a absorção de CO₂ e a produção de fotoassimilados, estimulando maior crescimento da planta e aumentando a capacidade de armazenamento de água, acúmulo de nutrientes e capacidade de converter água em massa de forragem, favorecendo que a planta expresse maior potencial produtivo.

A menor disponibilidade hídrica no cultivo de sequeiro promoveu o fechamento estomático, reduzindo a absorção de CO₂ e a produção de fotoassimilados como açúcares e ácidos orgânicos, influenciando no desenvolvimento da planta, verificada pelo menor crescimento e produção quando comparado ao cultivo irrigado (TAIZ et al., 2017).

De acordo com Fonseca et al. (2019), alterações no manejo da cultura através da irrigação indicam que, mesmo com a utilização de água salina, a irrigação favorece o aumento das características morfológicas e produtivas da palma forrageira.

Observou-se que a adoção da irrigação favoreceu o maior conteúdo hídrico nas células em comparação a palma forrageira em cultivo de sequeiro, e apresentou relação com a espessura das diferentes ordens dos cladódios.

A maior espessura verificada no cultivo irrigado está relacionada à maior disponibilidade de água nesse sistema, pois essa variável se correlaciona diretamente com a turgidez das plantas. Dessa maneira, quanto maior a espessura, maior a capacidade de reserva hídrica em seus cladódios, sendo este um dos principais atributos das plantas CAM (TAIZ & ZEIGER, 2013).

A umidade adequada do solo proporcionada pela irrigação é fator determinante para otimizar a absorção de nutrientes advindos dos adubos orgânicos pelas plantas. A água atua no movimento e absorção de nutrientes essenciais para as plantas, pelo processo conhecido como fluxo de massa (TAIZ & ZEIGER, 2009).

Decréscimos no teor de matéria seca e aumento das produtividades de massa verde e de matéria seca com uso de irrigação e adubação com esterco bovino também foram verificadas por Camelo (2018) avaliando o efeito da água residuária no cultivo da palma forrageira 'Gigante' onde verificou que o tratamento com adubação orgânica via esterco bovino (60 Mg ha⁻¹) e suplementação hídrica com água comum (1,2 L semana⁻¹ planta⁻¹) obteve menor teor de matéria seca (6,75%) e a maior produtividade de matéria verde (258,7 Mg ha⁻¹) e de matéria seca (16,82 Mg ha⁻¹), representando uma redução de 43,66% e

incrementos de 183,22% e 52,22%, em comparação ao tratamento em sequeiro e sem adubação (11,98%), (91.35 Mg ha⁻¹) e (11,05 Mg ha⁻¹), respectivamente.

Dantas (2015) irrigando palma Miúda com água salina observou que a utilização de uma lâmina de irrigação de 30 mm por mês elevou a produtividade de matéria verde de 58,83 Mg ha⁻¹ para 191,25 Mg ha⁻¹, correspondendo a um acréscimo de 225% na produtividade quando comparado com o cultivo em sequeiro. Esse resultado evidencia a elevação na produtividade de massa verde com pequena quantidade de água aplicada, assim como no presente estudo.

A adubação orgânica promove maior capacidade de interceptação da luz pela palma forrageira para produção da fotossíntese de modo a estimular o crescimento e a produtividade da planta (REGO et al., 2014).

Souza et al. (2019a) em estudo da ação de diferentes formas de adubação sob os componentes de produção de quatro genótipos de amendoim verificaram que os adubos orgânicos biofertilizante bovino e cinza vegetal alcançaram produtividades elevadas a semelhança da adubação com NPK, demonstrando a eficiência da adubação orgânica.

Bonfim-Silva et al. (2020b) avaliando a produção e eficiência no uso da água na cultura da cebolinha adubada com cinza vegetal observou que considerando as variáveis de crescimento, produção e eficiência no uso da água, em geral a cultura apresenta maior desempenho nas doses de cinza vegetal entre 16 e 24 g dm⁻³, e que os valores de pH aumentaram linearmente com o incremento das doses de cinza vegetal, justificando essa elevação à liberação de bases trocáveis, como Ca, Mg e K, presentes na cinza, que contribuem com o efeito corretivo.

Lima et al. (2016) avaliaram as características morfológicas e produtivas da palma forrageira Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) sob condições de irrigação, adensamento e adubação, e verificaram que a adoção de práticas de manejo da palma forrageira resulta em efeitos significativos no crescimento da planta e altos rendimentos de forragem, e podem ser resultado de uma maior eficiência dos processos fisiológicos e bioquímicos da planta, como fotossíntese, respiração e transpiração.

F2 - Eficiência fotossintética da palma forrageira Negro Michoacan

No Fator 2 (F2), as variáveis A, EmUA e EiC foram positivamente correlacionadas, refletindo a eficiência fotossintética da palma forrageira Negro Michoacan. Constata-se que a ordem de importância das variáveis para explicar os efeitos de regimes hídricos, doses de

esterco e de cinzas foi EiC, EmUA e A (Tabela 2). Assim, o aumento da assimilação de CO₂ contribui para uma maior eficiência momentânea do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação.

Analisando a Figura 18A, observa-se que o tratamento controle de cinza de biomassa (0 Mg ha⁻¹) não difere das aplicações de dose 2,6 e 5,2 Mg ha⁻¹ de cinza. As aplicações de cinza de biomassa 1,3 e 3,9 Mg ha⁻¹ reduz o processo, apresentando menores valores. Observa-se maior eficiência fotossintética nas plantas que não foram adubadas com cinza de biomassa. Através da Figura 18B observa-se que o sistema em sequeiro difere do sistema irrigado, e que a utilização da irrigação aumentou o processo de eficiência fotossintética da palma forrageira Negro Michoacan.

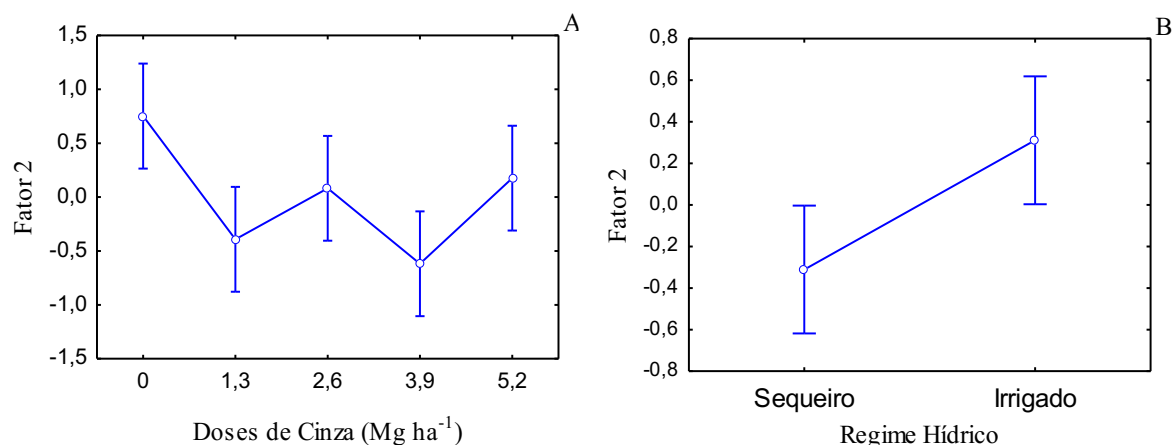


Figura 18. Projeção bidimensional das doses de cinza (A) e do regime hídrico (B) para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 2 (A, EmUA e EiC).

Na Tabela 17, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 2: taxa de captação de CO₂ (A), eficiência momentânea do uso da água (EmUA), e eficiência instantânea de carboxilação (EiC), em função das doses de cinza e do regime hídrico para a palma forrageira Negro Michoacan.

Tabela 17. Médias das variáveis que formaram o Fator 2 (A, EmUA e EiC), em função das doses de cinza e do regime hídrico para a palma forrageira Negro Michoacan.

Variáveis	Doses de Cinza (Mg ha ⁻¹)					Regime Hídrico	
	0	1,3	2,6	3,9	5,2	Sequeiro	Irrigado
Taxa de captação de CO ₂ (μmol m ⁻² s ⁻¹)	2,19	1,71	1,57	1,26	1,28	1,19	2,01
Eficiência momentânea do uso da água (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹ / mmol H ₂ O)	7,45	9,53	5,52	3,87	5,72	6,56	6,27

m⁻² s⁻¹)

Eficiência instantânea de

carboxilação (mol de CO₂ m⁻² s⁻¹ /mol de CO₂ mol⁻¹)

0,007 0,004 0,007 0,003 0,003 0,004 0,006

Nobel (2009) ressalta que os vegetais regidos pelo metabolismo ácido das crassuláceas (MAC) apresentam taxa fotossintética de 2,5 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ podendo apresentar máxima de 7,6 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹. Observa-se que as plantas avaliadas nesta pesquisa mantiveram níveis fotossintéticos abaixo do adequado.

Esses resultados divergem dos encontrados por Alves et al. (2020), ao avaliarem as características fisiológicas da palma forrageira Clone IPA-20 – IPA-100003 (*Opuntia ficus-indica*) cultivada no telado, sob irrigação e em sequeiro, observaram que não houve diferença entre os regimes avaliados para a taxa de assimilação líquida de CO₂, reportando valores de 0,62 μmol m⁻² s⁻¹ (sequeiro) e 0,65 μmol m⁻² s⁻¹ (irrigado). Fato este que pode estar relacionado aos horários de avaliação (9:00 e 14:00 horas), enquanto que no presente estudo as plantas foram avaliadas entre 20:00 e 01:00 horas.

No cultivo de sequeiro, a menor disponibilidade hídrica acarretou menor eficiência momentânea do uso de água (EmUA) quando comparado ao cultivo irrigado. Comportamento semelhante foi verificado por Silva (2014), ao avaliar os componentes fisiológicos em feijão-caupi sob níveis de reposição da irrigação, verificou que a EmUA foi de 4,90 e 3,78 [(μmol m⁻²s⁻¹)(mmol m⁻²s⁻¹)] com a lâmina de 100% e 40% da ETc, respectivamente.

A eficiência instantânea de carboxilação (EiC) possui estreita relação com taxa de captação de CO₂ (A) e a concentração interna de CO₂ (ci). Neste sentido, os maiores valores verificados na eficiência instantânea de carboxilação no cultivo irrigado, no presente trabalho, devem-se, sobretudo, aos ganhos na taxa de fotossíntese líquida de CO₂ e na concentração interna de dióxido de carbono.

A menor disponibilidade de água para as plantas no cultivo de sequeiro pode acarretar dificuldades na distribuição de nutrientes específicos que atuam no metabolismo, afetando a fisiologia a tal ponto de comprometer o rendimento fotossintético e produtivo da palma forrageira (AYERS & WESTCOT, 1991).

F3 - Área do cladódio primário da palma forrageira Negro Michoacan

No Fator 3 (F3) foram retidas as variáveis de comprimento de cladódio primário (CCP) e largura de cladódio primário (LCP), as quais apresentaram correlação positiva entre

si, visto que não é possível, em condições ambientais normais, que o cladódio aumente seu comprimento sem que ocorra o aumento proporcional de sua largura.

Ao analisar a interação tripla, verifica-se que no tratamento controle de cinza (0 Mg ha⁻¹), as plantas do regime sequeiro não diferem das plantas irrigadas na ausência de esterco bovino, ao adubar com esterco bovino, houve redução no processo das plantas de sequeiro e aumento nas plantas irrigadas, ocasionando diferença entre os regimes hídricos. Nas doses 1,3, 2,6 e 3,9 Mg ha⁻¹ de cinza não existem diferença entre os regimes tampouco entre a ausência e a presença de esterco bovino. Na dose máxima de cinza de biomassa (5,2 Mg ha⁻¹), a adubação com esterco aumenta o processo nas plantas de sequeiro ocasionando diferença com relação às plantas não adubadas, e reduz o processo no regime irrigado, porém sem acarretar diferenças entre as plantas com e sem esterco (Figura 19).

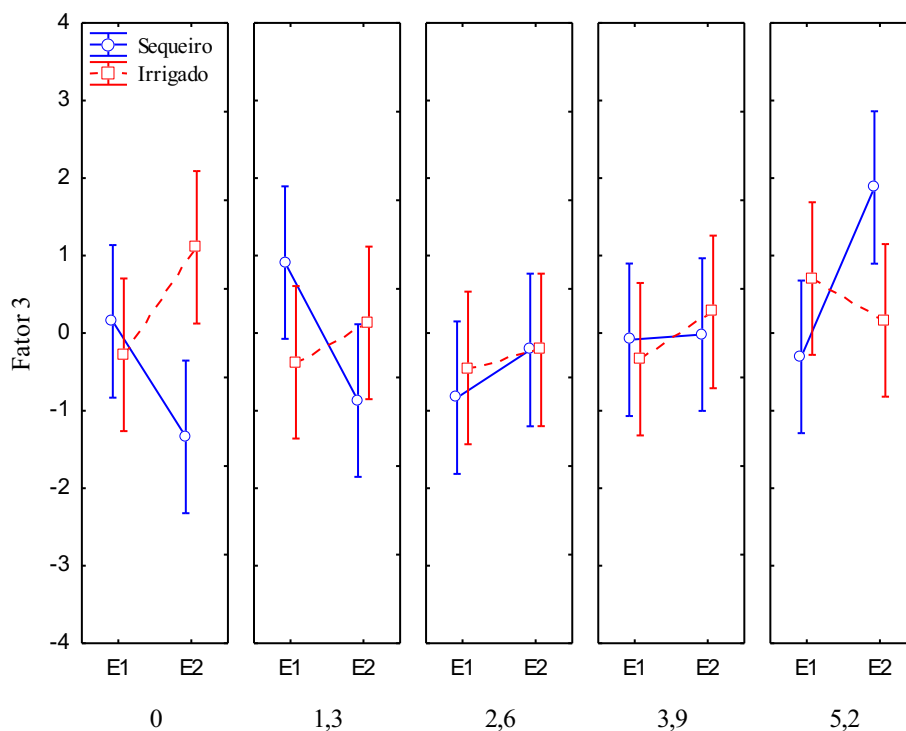


Figura 19. Projeção bidimensional da interação tripla entre o regime hídrico, o esterco e as doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 3 (CCP e LCP).

Na Tabela 18, observam-se as médias que formaram o Fator 3: comprimento de cladódio primário (CCP) e largura de cladódio primário (LCP) em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.

Tabela 18. Médias das variáveis que formaram o Fator 3 (CCP e LCP), em função do regime hídrico, esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.

Variáveis	Regime Hídrico	Esterco	Doses de Cinza (Mg ha ⁻¹)				
			0	1,3	2,6	3,9	5,2
Comprimento de cladódio primário (cm)	Sequeiro	Sem	26,33	25,67	22,50	22,67	26,25
		Com	21,00	23,00	24,17	24,00	29,44
	Irrigado	Sem	24,50	23,17	24,33	25,50	28,75
		Com	26,50	25,17	25,25	28,50	23,44
Largura de cladódio primário (cm)	Sequeiro	Sem	13,33	16,00	12,00	13,50	12,75
		Com	12,00	13,50	13,83	14,33	16,19
	Irrigado	Sem	13,83	14,50	13,17	14,50	14,25
		Com	15,25	16,17	13,50	14,75	12,69

Os resultados neste fator apontam que houve resposta das plantas ao manejo de adubação aplicado, corroborando com a afirmação de Donato et al. (2014b), que alegam que estas variáveis são influenciadas pela adubação orgânica e se configura como uma estratégia de manejo eficiente para essa forrageira.

De acordo com Nascimento et al. (2011) o comprimento de cladódio da palma forrageira é influenciado pelo manejo da adubação, corroborando com os dados obtidos neste estudo.

O cladódio é a estrutura que tem a função de captar a luminosidade, portanto uma maior área total de exposição à luz, ou seja, uma maior área fotossintética indica um maior acúmulo de reservas e conseqüentemente um maior potencial produtivo desta planta (RAMOS et al., 2015).

F4 - Quantidade de cladódios da palma forrageira Negro Michoacan

No Fator 4 (F4) foram retidas as variáveis de número de cladódio primário (NCP) e número de cladódio secundário (NCS), que apresentaram correlação positiva entre si, fato que pode ser justificado, pois os cladódios primários são mais antigos e tem a função de proporcionar o surgimento de novos cladódios, no caso os de segunda ordem.

Ao analisar a interação dupla, observou-se que nas doses 0, 1,3, 3,9 e 5,2 Mg ha⁻¹ de cinza, as plantas sem esterco (E1) não diferem das plantas adubadas com esterco (E2). Na dose 2,6 Mg ha⁻¹ de cinza houve diferença entre E1 e E2, com redução da quantidade de cladódios em E1 e aumento considerável em E2, quando comparado ao tratamento 1,3 Mg ha⁻¹ de cinza, conforme Figura 20.

Dessa maneira as plantas que apresentaram maiores quantidades de cladódios foram as adubadas com esterco bovino e 2,6 Mg ha⁻¹ de cinza de biomassa. Vale salientar que a obtenção de um maior número de cladódios por planta, não necessariamente significa que estes estão aptos a serem utilizados para plantio de novos palmais, decisão que é influenciada principalmente por outras variáveis como a espessura, o comprimento, a largura, peso do cladódio, além de estar livre de ferimentos, essa escolha criteriosa é de fundamental importância para a uniformidade das plantas, evitando a mortalidade e a baixa emissão de brotos (SENAR, 2013).

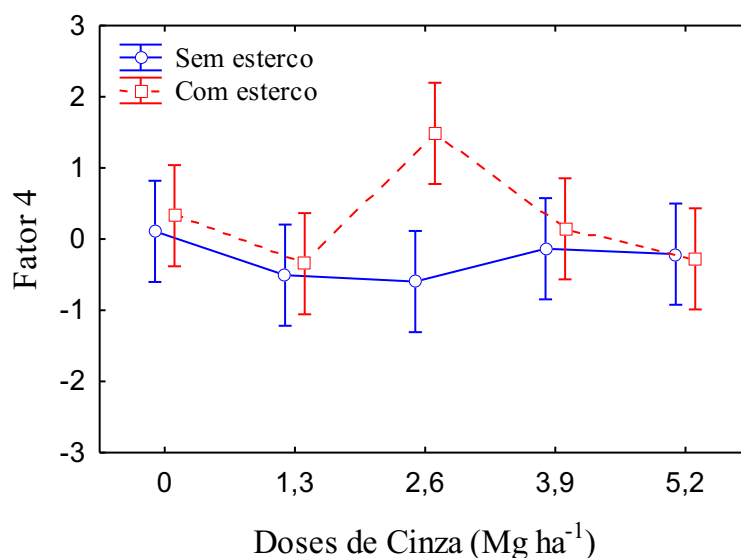


Figura 20. Projeção bidimensional da interação dupla entre as doses de cinza e o esterco para a palma forrageira Negro Michoacan no Fator 4 (NCP e NCS).

Na Tabela 19, observam-se as médias das variáveis que formaram o Fator 4: número de cladódio primário (NCP) e número de cladódio secundário (NCS) em função do esterco e doses de cinza para a palma forrageira Negro Michoacan.

Tabela 19. Médias das variáveis que formaram o Fator 4 (NCP e NCS), em função das doses de cinza e do esterco para a palma forrageira Negro Michoacan.

Variáveis	Esterco	Doses de Cinza (Mg ha ⁻¹)				
		0	1,3	2,6	3,9	5,2
Número de cladódio primário (unidade)	Sem	5,33	4,17	4,00	4,08	5,25
	Com	6,25	4,75	7,17	4,83	4,75
Número de cladódio secundário (unidade)	Sem	13,50	15,33	13,17	16,75	12,50
	Com	15,00	11,17	17,75	16,25	16,25

De acordo com Lima et al. (2016) o aumento do número de cladódios promovido pelo efeito cumulativo dos adubos orgânicos e químicos, tende a aumentar a captura de CO₂ o que acarreta na maior taxa fotossintética e, desta forma, favorece aumentos em produtividade.

Ramos et al. (2015) avaliando o crescimento da palma forrageira Gigante em função da adubação orgânica com esterco caprino verificaram que as doses de 10 a 20 Mg ha⁻¹ apresentaram os maiores números de cladódio totais. Os autores justificaram que a adubação favoreceu absorção dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento da cultura e aumentou a capacidade de infiltração e retenção de água no solo.

O efeito positivo da adubação orgânica com esterco bovino sobre a variável de número de cladódio também foi verificada por Barros et al. (2016) que ao avaliarem as características estruturais da palma forrageira 'Gigante' cultivada em diferentes espaçamentos de plantio e doses de adubação orgânica, no segundo corte, observaram que o número de cladódios por planta variou de forma linear crescente com o incremento das doses de esterco bovino, apresentando incremento de 191,77% ao comparar a maior dose de esterco bovino (90 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) ao tratamento sem adubação (de 7,17 para 20,9 cladódios).

A cultura da palma forrageira é cultivada em propriedades que muitas vezes possuem rebanhos bovinos e caprinos, sendo o esterco um material abundante e sem custo para o produtor, além dessa vantagem, a utilização de adubos orgânicos é mais benéfica em relação à aplicação de fertilizantes químicos no que se refere à liberação lenta e gradual dos nutrientes à medida que são demandados para o crescimento da planta, seu uso reduz as perdas por volatilização e lixiviação (SEVERINO et al., 2004, XAVIER et al., 2020).

5.2 Análise univariada

Os resultados referentes às análises de variância para as variáveis retiradas da análise multivariada encontram-se na Tabela 20. Para a variedade Orelha de Elefante Mexicana foi retirada apenas a variável taxa de mortalidade e para a variedade Negro Michoacan foram retiradas o comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio terciário (LCT), concentração interna de carbono (ci), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e taxa de mortalidade (TM). Essas variáveis foram retiradas da análise fatorial por não atender às premissas básicas recomendadas para compor um fator consistente.

Tabela 20. Resumo das análises de variância referente a taxa de mortalidade (TM) em palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana e comprimento de cladódio secundário (CCS), largura de cladódio terciário (LCT), concentração interna de carbono (ci), transpiração (E), eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) e taxa de mortalidade (TM) em palma forrageira Negro Michoacan em função dos regimes hídricos, doses de esterco e de cinzas.

Fontes de Variação	GL	Quadrado médio						
		Orelha		Negro Michoacan				
		TM	CCS	LCT	ci	E	EiUA	TM
Bloco	2	11,57	10,9	15,24	18,78	0,09	19,79	12,59
Regime Hídrico (R)	1	21,55**	57,03 ^{ns}	298,15*	3,17 ^{ns}	0,04 ^{ns}	20,27 ^{ns}	6,68 ^{ns}
Erro 1	2	0,05	8,73	14,8	23,59	0,02	4,68	17,44
Doses de Esterco (E)	1	39,61**	1,62 ^{ns}	4,07 ^{ns}	57,69 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,46 ^{ns}	1,12 ^{ns}
R x E	1	0,92 ^{ns}	22,20 ^{ns}	0,30 ^{ns}	15,51 ^{ns}	0,01 ^{ns}	8,19 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Erro 2	4	0,17	2,86	1,93	26,37	0,06	9,73	0,65
Doses de Cinza (C)	4	10,72 ^{ns}	29,47 ^{ns}	14,59 ^{ns}	40,26 ^{ns}	0,01 ^{ns}	5,60**	1,08 ^{ns}
E x C	4	9,42 ^{ns}	2,39 ^{ns}	4,39 ^{ns}	23,46 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,65 ^{ns}	2,28 ^{ns}
R x C	4	1,77 ^{ns}	3,13 ^{ns}	9,47 ^{ns}	16,63 ^{ns}	0,07 ^{ns}	6,58 ^{ns}	1,50 ^{ns}
R x E x C	4	2,81 ^{ns}	3,06 ^{ns}	17,67 ^{ns}	11,30 ^{ns}	0,08 ^{ns}	3,54 ^{ns}	3,06 ^{ns}
Erro 3	32	3,46	8,84	6,88	14,87	0,06	1,38	1,49
Média Geral	-	26,66	23,23	10,94	452,8	0,37	25,87	71,13
CV 1(%)	-	5,08	12,72	35,16	23,29	15,95	25,62	20,24
CV 2(%)	-	8,86	7,29	12,71	24,63	8,4	25,78	9,76
CV 3(%)	-	29,5	12,81	23,97	18,5	8,68	24,81	14,72

GL = Grau de liberdade; ns: não significativo; *: significativo a 5%; **: significativo a 1%

Conforme o resumo das análises de variância (Tabela 20) foram observadas diferenças estatísticas significativas ($p \leq 0,01$) para a taxa de mortalidade (TM), em relação aos fatores isolados regime hídrico (R) e esterco (E) na palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

Para a variedade Negro Michoacan a largura de cladódio terciário (LCT) foi influenciada estatisticamente ($p \leq 0,05$) pelo fator isolado regime hídrico (R). O fator doses de cinza (C) propiciou efeito significativo ($p \leq 0,01$) apenas para variável eficiência intrínseca do uso da água (EiUA). Não sendo observado efeito significativo para o comprimento de cladódio secundário (CCS), concentração interna de carbono (ci), transpiração (E), e taxa de mortalidade (TM) em nenhum dos fatores estudados na palma forrageira Negro Michoacan.

As variáveis apresentaram valores médios, independentemente do tratamento aplicado, de: 23,23 cm para comprimento de cladódio secundário (CCS), 452,80 $\mu\text{mol de CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ para concentração interna de carbono (ci), 0,37 $\text{mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para transpiração (E) e 71,13% para taxa de mortalidade (TM) em palma forrageira Negro Michoacan. De maneira

geral as plantas mortas apresentaram o sintoma de podridão na base do cladódio mãe, seguido de tombamento das plantas.

Verificou-se que a aplicação da irrigação ocasionou redução de 35,30% na taxa de mortalidade da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, apresentando médias de 32,38% no regime de sequeiro e 20,95% no regime irrigado (Figura 21A). A adubação com esterco bovino elevou a taxa de mortalidade de 19,76 a 33,57 %, representando um acréscimo de 69,89% em relação ao cultivo sem adubação (Figura 21B).

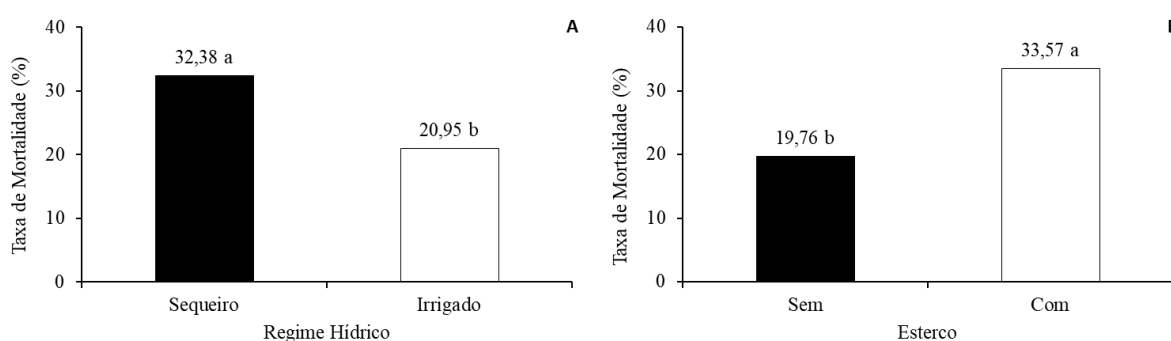


Figura 21. Taxa de mortalidade (TM) em função dos efeitos isolados regime hídrico (A) e esterco (B) para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana.

A irrigação utilizada de forma complementar a precipitação pluvial garante a sobrevivência da palma forrageira tornando seu cultivo mais estável ao longo do ciclo, uma vez que não é atingido pelos longos períodos de estiagem e retardo no início da estação chuvosa em função da maior variabilidade climática (SANTOS; DONATO; COTRIM JUNIOR, 2020).

No cultivo de sequeiro, houve razoável quantidade de água disponibilizada no sistema via precipitação ($548,5 \text{ mm ano}^{-1}$), essas chuvas correspondem a 74,87% do total da água disponibilizado para o tratamento irrigado e também estaria de acordo com Souza et al. (2008), dentro da faixa ideal de precipitação para o cultivo da palma forrageira, que se concentra entre 368,4 e 812 mm. Entretanto a presença de longos períodos de estiagem e distribuição irregular ao longo dos meses avaliados pode ter contribuído para a maior mortalidade quando comparado ao cultivo irrigado.

Sintomas como mudança na coloração e enrugamento foram observados visualmente na condição de sequeiro no decorrer do estudo.

Lima et al. (2018) avaliando o desenvolvimento de três variedades de palma forrageira, resistentes à cochonilha do carmim, com diferentes fontes de adubação orgânica,

constatarem taxa de sobrevivência de 100% para a Orelha de Elefante Mexicana nos tratamentos com e sem esterco bovino. Fato que discorda dos dados obtidos no presente estudo uma vez que foi verificada diferença significativa da adubação com esterco bovino para taxa de mortalidade da mesma variedade de palma forrageira.

A relação entre a taxa fotossintética e a condutância estomática indica a eficiência intrínseca do uso da água (EiUA). O incremento das doses de cinza de biomassa reduziu inicialmente a eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) de palma forrageira Negro Michoacan (Figura 22) de 32,54 para 18,50 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na dose de 2,6 Mg ha^{-1} , aumentando a partir dessa dose, até o valor de 31,18 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ mol}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) com o fornecimento da maior dose do insumo.

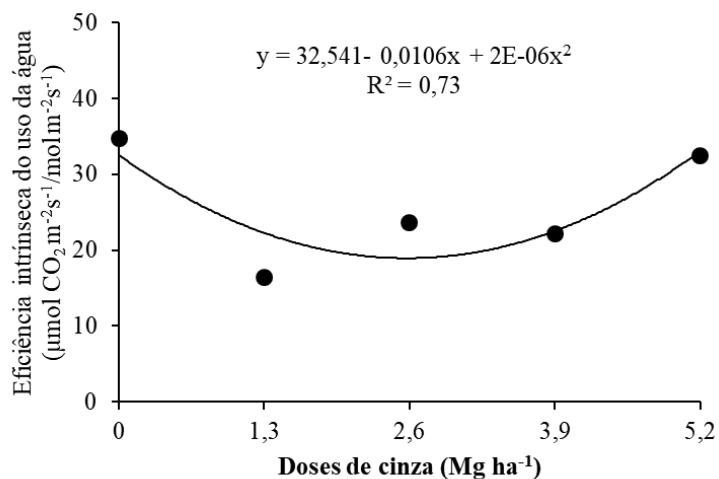


Figura 22. Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) de palma forrageira Negro Michoacan, em função de doses de cinza de biomassa.

Silva (2019) avaliando as trocas gasosas de cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) encontrou maior eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) nas cultivares *Nopalea* 4 ('Miúda') e *Opuntia ficus-indica* 1 ('Copena'), com 18,83 e 18,20 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}^{-1}$), respectivamente.

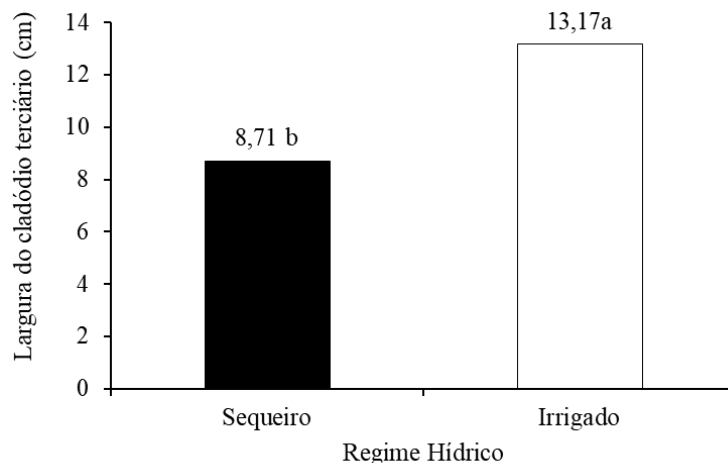


Figura 23. Largura do cladódio terciário (LCT) em função do regime hídrico para a palma forrageira Negro Michoacan.

A utilização da irrigação elevou a largura do cladódio terciário da palma forrageira Negro Michoacan de 8,71 a 13,1 cm, com acréscimo de 51,21% em relação ao regime de sequeiro (Figura 23).

Sendo a água a principal responsável pela expansão celular, a menor largura do cladódio terciário observada no sistema de sequeiro é justificada, pois quando a planta passa por estresse hídrico ocorre um menor crescimento das suas células e tecidos, acarretando em um menor incremento em sua dimensão.

Em cultivo de sequeiro, Silva et al. (2015c) ao avaliarem o crescimento de clones de palma forrageira em condições de Semiárido brasileiro e suas relações com as variáveis meteorológicas, aos dois anos após o plantio, encontraram para largura de cladódio terciário valor de 6,50 cm na Orelha de Elefante Mexicana. Este valor é inferior ao observado no presente estudo para a mesma variedade de palma forrageira.

6. CONCLUSÕES

A utilização da irrigação, do esterco bovino e da cinza de biomassa favoreceu o crescimento, as trocas gasosas e a produtividade das duas variedades de palma forrageira analisadas, com exceção das variáveis comprimento de cladódio secundário, concentração interna de carbono, transpiração e taxa de mortalidade na palma forrageira Negro Michoacan.

O tratamento que possibilitou maior produtividade de matéria verde para a palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana ($257,9 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi o associado à irrigação e adubação com esterco bovino. Para o cultivo dessa variedade em condição de sequeiro, recomenda-se a aplicação de $33,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de esterco bovino.

O máximo rendimento produtivo obtido para a variedade Negro Michoacan ocorreu por meio da irrigação e adubação orgânica com esterco bovino e $1,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza de biomassa. Em condição de sequeiro, recomenda-se a aplicação de $33,3 \text{ Mg ha}^{-1}$ de esterco bovino e $3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$ de cinza de biomassa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. A. L. SANTOS, D. C.; SILVA, S. M. S.; OLIVEIRA, M. A. B.; SILVA, F. L. Trocas gasosas e eficiência no uso da água de palma forrageira (*Opuntia stricta*) cultivadas em telado sob irrigação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS PARA PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO, 3., 2018, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SIMPROVS, 2018a. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/sinprovs/trabalhos/TRABALHO_EV105_MD4_SA4_ID163_29032018163813.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2021.

ALVES, F. A. L. SANTOS, D. C.; SILVA, S. M. S.; OLIVEIRA, M. A. B. Variabilidade das trocas gasosas entre cladódios de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*) cultivadas em telado sob irrigação. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS PARA PRODUÇÃO VEGETAL NO SEMIÁRIDO, 3., 2018, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SIMPROVS, 2018b. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/sinprovs/trabalhos/TRABALHO_EV105_MD1_SA2_ID163_29032018162933.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2021.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, F. A. L.; SANTOS, D. C.; SILVA, S. M. S.; SILVA, M. C.; MELLO, D. R. Metabolismo fotossintético de variedades de palma forrageira cultivadas no Semiárido brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, Recife, v. 25, n. 2, e2262252020, 2020.

ALVES, R. N.; FARIAS, I.; MENEZES, R. S. C.; LIRA, M. de A.; SANTOS, D. C. dos. Produção de forragem pela palma após 19 anos sob diferentes intensidades de corte e espaçamentos. **Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 38-44, 2007.

AMORIM, S. O. **Características morfológicas e produtivas da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana submetida a diferentes densidades de plantio e intensidades de corte no semiárido pernambucano**. 2015. 56f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C.; FÉLIX, E. S.; SOUZA, J. T. A.; LIMA, W. B. **Palma Forrageira: Plantio e Manejo**. Campina Grande: INSA, 2019, 60p.

ARAÚJO, S. A. C.; VASQUEZ, H. M.; CAMPOSTRINI, E.; NETTO, A. T.; DEMINICIS, B. B.; LIMA É, da S. Características fotossintéticas de genótipos de capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum Schum.*), em estresse hídrico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 1-7, 2010.

ARRUDA, J. A.; AZEVEDO, T. A. O.; FREIRE, J. L. O.; BANDEIRA, L. B.; ESTRELA, J. W. M.; SANTOS, S. J. A. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, João Pessoa, n. 30, p. 13, 2016.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Qualidade de água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p.

BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; PADILHA JÚNIOR, M.C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com adubação orgânica. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016.

BONFIM-SILVA, E. M.; CABRAL, C. E. A.; SILVA, T. J. A.; MOREIRA, J. C. F.; CARVALHO, J. C. S. Cinza vegetal: características produtivas e teor de clorofila do capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1215-1225, 2013.

BONFIM-SILVA, E. M.; FERNANDES, G. B.; ALVES, R. D. S.; CASTAÑÓN, T. H. F. M.; SILVA, T. J. A. Mineral, organic and organomineral fertilization in rabanet culture. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 5, p. 23300-23318, 2020a.

BONFIM-SILVA, E. M.; OLIVEIRA, E. S.; BEZERRA, M. D. L.; CASTAÑÓN, T. H. F. M.; FENNER, W. SILVA, T. J. A. Application of wood ash, organomineral and mineral fertilizers to increase the growth of arugula (*Eruca sativa* Miller) at Different Base Saturation on Oxisol. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 17, n. 3, p. 1-6, 2017.

BONFIM-SILVA, E. M.; PINTO, M. R. F.; FERRAZ, A. P. F.; NONATO, J. J.; SILVA, T. J. A. Production of chives fertilized with wood ash in adapted Leonard pots. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 37347-37373, 2020b.

BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, T. J. A.; CABRAL, C. E. A.; VALADARES, E. M.; GOLDONI, G. Características morfológicas e estruturais de capim marandu adubado com cinza vegetal em Latossolo Vermelho do Cerrado. **Enciclopédia Biosfera**, Jandaia, v. 7, n. 12, p. 1-9, 2011.

CAMELO, T. C. **Produtividade e aporte de nutriente em palma forrageira ‘Gigante’ irrigada com água residuária**. 2018. 36f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano. Guanambi, 2018.

CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973-983, 2015.

CAMPOS, A. R. F. **Manejo de irrigação na palma forrageira: definição de critérios com base no potencial matricial da água no solo**. 2018. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2018.

CAVALCANTE, A. B.; LEITE, M. L. M. V.; PEREIRA, J. S.; LUCENA, L. R. R. Crescimento de palma forrageira em função da cura de segmentos dos cladódios. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 11, n. 5, p. 15-20, 2017.

CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.

CUNHA, D. N. F. V.; GOMES, E. S.; MARTUSCELLO, J. A.; AMORIM, P. L.; SILVA, C. R.; FERREIRA, P. S. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 13, n. 4, p. 1156-1165, 2012.

DANTAS, F. D. G. **Lâminas de água salina e doses de adubação orgânica na produção de palma Miúda adensada no semiárido**. 2015. 92f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba, 2015.

DONAGEMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B.; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W.G.; VIANA, J. H. M. (Org.). **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; ROSA, R. C. C.; AQUINO, A. A. Nutrição e produtividade da palma forrageira 'Gigante' cultivada com diferentes espaçamentos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 12, p. 1083-1088, 2016.

DONATO, P. E. R.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; PIRES, A. J. V.; SILVA JUNIOR, A. E. A. Extração / exportação de macronutrientes por cladódios de palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 238-243, 2017.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; BONOMO, P.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 1, p. 151-158, 2014b.

DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira Gigante cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 163-172, 2014a.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FIELD, A. **Descobrimo a Estatística usando o SPSS**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

FEITOSA, D. G.; MALTONI, K. L.; SILVA, I. P. F. Avaliação da cinza oriunda da queima do bagaço da cana-de-açúcar na substituição da adubação química convencional para produção de alimentos e preservação do meio ambiente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2412-2415, 2009.

FERRAZ, R. L. S.; BARBOSA, M. A.; VIÉGAS, P. R. A.; COSTA, P. S.; MELO, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; NETO, J. D.; MEDEIROS, A. S. Nutritional status of orange tree 'Pêra Rio' variety after Huanglongbing disease infection, leaf spray fertilization and application of resistance-inducing bioinductors. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 12, p. 1642–1650, 2017.

FERRAZ, R. L. S.; COSTA, P. S.; DANTAS NETO, J.; VIÉGAS, PRA; MELO, A. S.; COSTA, F. S.; MEDEIROS, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; LIMA, A. S.; CAVALCANTE JÚNIOR, C. A.; LIMA, V. L. A. Estimativa do ganho de produtividade por palmeiras forrageiras fertilizadas e irrigadas (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. E *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck): revisão sistemática e meta-análise. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 11, p. 1873-1882, 2019.

FONSECA, V. A.; RODRIGUES, C. S.; ALVARENGA, R. R.; SANTOS, D. B.; 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, n. 9, p. 633-640, 2021.

FONSECA, V. A.; SANTOS, M. R.; SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, C. S.; BRITO, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water use efficiency on *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 41, p. 1-11, 2019.

HAIR JR., J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. L.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário 2017**: Resultados preliminares. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: < <https://censoagro2017.ibge.gov.br> >. Acesso em: 06 de novembro 2020.

JAIMEZ, R. E.; RADA, F.; GARCIA-NUNEZ, C.; AZOCAR, A. Seasonal variations in leaf gas exchange of plantain cv. Harton (Musa AAB) under different soil water conditions in a humid tropical region. **Scientia Horticulturae**, v. 104, n. 1, p. 79–89, 2005.

JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, T. G. F.; SOUZA, L. S. B.; SOUZA, M. S.; MORAIS, J. E. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N. Multivariate analysis in the morpho-yield evaluation of forage cactus intercropped with sorghum. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 24, n. 11, p. 756-761, 2020.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 3. ed. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1992.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.

KANG, S.; GU, B.; DU, T.; ZHANG, J. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semihumid region. **Agricultural Water Management**, v. 59, n. 3, p. 239-254, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: Rima. 2006. 504p.

LIMA, G. F. C.; DANTAS, F. D. G.; CHAGAS, M. C. M.; GUEDES, F. X.; TORRES, J. F.; HOLANDA, J. S.; SILVA, E. C. S.; MORAIS, A. M. B.; NASCIMENTO, S. M. **Caminhos para a expansão e o desenvolvimento da palma forrageira no Rio Grande do Norte**. Parnamirim, RN: EMPARN, 2019. 81p.

LIMA, G. F. C.; REGO, M.; TELES, M.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, J. G. M. D.; AGUIAR, E. M. D. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, v. 29, n. 2, p. 481-488, 2016.

LIMA, G. F. C.; WANDERLEY, A. M.; GUEDES, F. X.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; SILVA, J. G. M.; NOVAIS, L. P.; AGUIAR, E. M. **Palma forrageira irrigada e adensada: uma reserva forrageira estratégica para o Semiárido Potiguar**. Parnamirim: EMPARN, 2015.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; BELTRÃO, N. E. M.; FERREIRA, G. B. Efeito da adição de cinza de madeira e esterco bovino no crescimento inicial da mamoneira cultivada em solo ácido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 2. 2006, Aracaju. Cenário atual e perspectivas. **Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2006.

LIMA, W. S.; PEREZ-MARIN, A. M.; LAMBAIS, G. R. Adubos orgânicos no desenvolvimento de variedades da palma forrageira. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 2, p. 170-175, 2018.

LEDO, A. A.; DONATO, S. L. R.; ASPIAZU, I.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R.; CARVALHO, A. J. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 6, p. 413-418, 2019.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 12, p. 1161-1170, 2005.

MACHADO FILHO, J. A. **Estudos ecofisiológicos de dois genótipos de mamoeiro (Carica papaya L.) cultivados sob condições de campo no cerrado baiano**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MATOS; D. A. S.; RODRIGUES, E. C. **Análise fatorial**. 1.ed. Brasília: Enap, 2019. 74p.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2006. 729 p.

NASCIMENTO, J. A. M. CAVALCANTE, L. F.;CAVALCANTE, I. H.; PEREIRA, W. DANTAS, S. A. G.; MEDEIROS, S. A. S. The impacts of biofertilizer and mineral fertilization on the growth and production of yellow passion fruit irrigated with moderately saline water. **Ciencia e Investigacion Agraria**, Santiago, v. 43, n. 2, p. 253-262, 2016.

NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, J. S.; SANTOS, E. S.; DAMASCENO, M. M.; RAMOS, J. P. F.; SALES, A. T.; VIEIRA LEITE, M. L. M. Caracterização morfológica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Tecnologia & Ciências Agropecuária**, v. 5, n. 3, p. 21-26, 2011.

NASCIMENTO, S. M.; AGUIAR, E. M.; LIMA, G. F. C.; NOVAES, L. P.; COSTA, P. R. Aspectos gerais da palma forrageira e alternativas de manejo: uma associação do hidrogel agrícola e da adubação foliar. **Nutritime Revista Eletrônica**, v. 17, n. 2, p. 8681-8698, 2020.

NEDER, D. G.; COSTA, F. R. da; EDVAN, R. L.; SOUTO FILHO, L. T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 13, n. 3, p. 203-207, 2013.

NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA BARROS, E. **Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira**. João Pessoa: SEBRAE/PB, p. 36-48, 2001.

NOBEL, P. S. **Physicochemical and Environmental Plant Physiology**. California: Academic Press, 2009. 604p.

NORONHA, C. T. 2017. **Padrão morfo-anatômico de variedades de palma forrageira dos gêneros Opuntia e Nopalea cultivadas no semiárido pernambucano**. 2017. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2017.

OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P.; ANDRADE FILHO, F. C.; PEREIRA JÚNIOR, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas Áridos e Semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 5, n. 4, p. 27- 37, 2010.

OLIVEIRA, L. R.; FRIAS, D. F. R.; LEMA, A. C. F.; ANDREANI JUNIOR, R. Viabilidad del uso de cenizas de vinaza como fertilizante para forrajeras. **Multitemas**, Campo Grande, v. 25, n. 61, p. 313-326, 2020.

PADILHA JÚNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A. da. Attributes of the soil with cactus pear under organic fertilization, different spacings and sampling times. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 7, p. 444-450, 2020.

PADILHA JUNIOR, M. C.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. B.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S. Características morfométricas e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes adubações e configurações de plantio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal, v. 11, n. 1, p. 67-72, 2016.

PEIXOTO, M. J. A.; CARNEIRO, M. S. S.; AMORIM, D. S.; EDVAN, R. L.; PEREIRA, E. S.; COSTA, M. R. G. F. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 67, n. 257, p. 35-39, 2018.

PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS, D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150p.

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015.

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. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 16, n. 12, p. 1-11, 2015.

RAMOS, J. P. F.; SOUZA, J. T. A.; SANTOS, E. M.; PIMENTA FILHO, E. C.; RIBEIRO, O. L. Crescimento e Produtividade de *Nopalea Cochenillifera* em função de diferentes densidades de plantio em cultivo com e sem capina. **Revista Electrónica de Veterinária**, v. 18, n. 8, p. 1-12, 2017.

- RIBEIRO, R. M., AMENDOLA, E. C.; ANDRADE, V. H. F. MIRANDA, B. P. Utilização da cinza vegetal para calagem e correção de solos – um estudo de caso para a região metropolitana de Curitiba (rmc). **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 2, n. 3, p. 114-124, 2015.
- REGO, M. M. T.; LIMA, G. F. C.; SILVA, J. G. M.; GUEDES, F. X.; DANTAS, F. D. G.; LOBO, R. N. B. Morfologia e Rendimento de Biomassa da Palma Miúda Irrigada sob Doses de Adubação Orgânica e Intensidades de Corte. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 16, n. 2, p. 118-130, 2014.
- 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**, Córdoba, v. 66, p. 363-371, 2017.
- SALES, J. R. S.; SOUSA, G. G.; ROCHA, R. G. L.; COSTA, F. H. R. C.; FILHO, E. M. C.; LEITE, K. N. Organic and mineral fertilization on productivity and postharvest of okra. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 14, p. 1-13, 2020.
- SANTANA, M. A.; SOUZA, V. A. P.; SERPA, M. F. P.; LEDO, A. A.; MENEZES, A. S. Efeito de doses de adubação orgânica na produção de palma forrageira. **Nativa**, Sinop, v. 9, n. 2, p. 167-172, 2021.
- SANTOS, D. C.; LIRA, M. A.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; MELLO, A. C. L. Recomendação de adubação para a palma forrageira. In: CAVALCANTI, F. J. A. (Ed.) **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação**. Instituto Agrônomo de Pernambuco, Recife-PE, 2008. 178p.
- SANTOS, M. R. dos; DONATO, S. L. R.; COTRIM JUNIOR, P. R. F. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 75-86, 2020.
- SANTOS, M. R.; SILVA, A. J. P.; FONSECA, V. A.; CAMPOS, A. R. F.; LISBOA, M. A. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 76-90, 2017.

SANTOS, P. H. N.; COSTA, J. E. Retrato preliminar do território do Alto Sertão Sergipano pelos dados do censo agropecuário 2017. **Geopauta**, Vitória da Conquista, v. 4, n. 3, p. 153-179, 2020.

SARMENTO, W. G. C.; OLIVEIRA, J. F. F. DE; CARDOSO, D. B.; SANTOS, E. A. DOS; SILVA MENDONÇA, C. G. DA; ANDRADE, A. P. DE; MELO, A. A. S. DE. Crescimento e produtividade da palma forrageira cv. orelha de elefante mexicana (*Opuntia stricta* Haw) submetida a diferentes frequências de irrigação. XXVII SEMANA DE ZOOTECNIA DA UFRPE: RECIFE, 2019.

SEVERINO, L. S.; COSTA, F. X.; BELTRÃO, N. E. DE; LUCENA, M. A. DE; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, p. 1-6, 2004.

SILVA, A. R. F. **Componentes de produção e fisiológicos em ecótipos de vigna sob reposição hídrica**. 2014. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; RAMOS, J. P. F.; PERAZZO, A. F.; MUNIZ, A. C. S.; SANTOS, F. N. S.; PEREIRA, D. M.; CRUZ, G. F. L. Características agrônomicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n. 6, p. 88-96, 2019.

SILVA, A. S.; SANTOS, E. M.; PINTO, I. M. Y. P.; RAMOS, J. P. F. Análise multivariada da palma forrageira: características morfoproductivas sob correlações canônicas. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 13, n. 47, p. 100-106, 2020.

SILVA, C. C. F.; SANTOS, L. C. Palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* Mill) como alternativa na alimentação de ruminantes. **Revista Eletrônica de Veterinária REDVET**. v. 8, n. 5, p. 1-11, 2007.

SILVA, F. D.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas

de irrigação. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946-952, 2015b.

SILVA, J. A.; DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SOUZA, E. S.; PADILHA JR, M. C.; SILVA JR, A. A. Extraction/export of nutrients in *Opuntia ficus-indica* under different spacings and chemical fertilizers. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 20, n. 3, p. 236–242, 2016.

SILVA, N. G. M.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n. 11, p. 2389-2397, 2010.

SILVA, P. F. da; MATOS, R. M. de; BORGES, V. E.; DANTAS JUNIOR, G. J.; DANTAS NETO, J. Crescimento e produção de palma forrageira sob fertilização mineral. **Journal of Agronomic Sciences**, Richmond Hill, v. 4, n. 2, p. 96-115, 2015a.

SILVA, R. T. **Trocas gasosas, caracterização citogenética e vigor de sementes dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea***. 2019. 115f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M.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, 2015c.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Palma forrageira: uso na alimentação de bovinos de leite**. 1. ed. Brasília: SENAR, 2013. 32 p. (Coleção SENAR).

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Palma forrageira: cultivo de palma forrageira no semiárido brasileiro**. 3. ed. Brasília: SENAR, 2018. 52 p. (Coleção SENAR).

SOUTO, P. C.; SOUTO, J. S.; NASCIMENTO, J. A. M. Liberação de nutrientes de esterco em luvisolo no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 4, p. 69-78, 2013.

SOUZA, F. E. C.; SOUSA, G. G.; SOUZA, M. V. P.; FREIRE, M. H. C.; LUZ, L. N.; SILVA, F. D. B. Produtividade de diferentes genótipos de amendoim submetidos a diferentes formas de adubação. **Nativa**, v. 7, n. 4, p. 383-388, 2019a.

SOUZA, J. T. A.; NASCIMENTO, M. G. R.; FIGUEREDO, J. P.; NÁPOLES, F. A. M.; ANDRADE, F. H. A. Caracterização técnico-produtiva do sistema de cultivo de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 6, n. 2, p. 64-71, 2019b.

SOUZA, J. T. A.; RAMOS, J. P. F.; COSTA, F. R.; ARAÚJO, L. D.; GUEDES, P. L. C.; FREITAS, R. P. RIBEIRO, J. E. S.; CAVALCANTE, V. R. Ecofisiologia e rendimento forrageiro do capim elefante roxo em função de adubação nitrogenada. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 264, p. 464–470, 2019c.

SOUZA, J. T. A.; RAMOS, J. P. F.; MACEDO, A. J. S.; VIANA, J. A.; CARTAXO, F. Q.; ORESCA, D.; OLIVEIRA, F. G. O. Crescimento e produtividade de genótipos de palma forrageira no Semiárido Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 12, n. 3, p. 37-42, 2018.

SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; ARAÚJO, J. S.; RAMOS, J. P. F.; NASCIMENTO, J. P.; MEDEIROS, L. T. V. Trocas gasosas e eficiência no uso de água de *Nopalea cochenillifera* consorciada sob práticas edáficas. **Comunicata Scientiae**, v. 11, n. e3035, p. 1-8, 2020a.

SOUZA, J. T. A.; RIBEIRO, J. E. S.; RAMOS, J. P. F.; SOUSA, W. H.; ARAÚJO, J. S.; LIMA, G. F. C.; DIAS, J. A. Rendimento quântico e eficiência de uso da água de genótipos de palma forrageira no Semiárido brasileiro. **Archivos de Zootecnia**, v. 68, n. 262, p. 272–277, 2019d.

SOUZA, L. C.; SILVA FILHO, J. R. V.; ALVES, F. C.; GOMES, M. L. R.; MOTA, M. O.; VOLTOLINI, T. V. Análise multivariada da produção de palma-forrageira Orelha de Elefante Mexicana em diferentes manejos de aplicação de água. In: XV Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 2020, Petrolina. XV Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, 2020b.

SOUZA, L. S. B. de; MOURA, M. S. B. de; SILVA, T. G. F. da; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A. do; BRANDÃO, E. O. Indicadores climáticos para o zoneamento agrícola da palma forrageira (*Opuntia* sp.). In: Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semi-Árido, 3. 2008, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2008. p. 23-28.

SOUZA, R. A.; MONÇÃO, O. P.; SOUZA, H. B.; OLIVEIRA, J. S.; REIS, T. C. Efeito da cinza de caldeira sobre as características químicas de um solo do Cerrado baiano e produtividade da alface. **Cultivando o Saber**, v. 6, n. 4, p. 60-73, 2013.

SOUZA, T. C.; SANTOS, M. V. F.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; CUNHA, M. V.; LIMA, L. E.; SILVA, R. R. Productivity and nutrient concentration in spineless cactus under different fertilizations and plant densities. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 4, p. 555-560, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed., Porto Alegre: Artmed, 2009. 819p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858p

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. P. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Revista Agrarian**, v. 13, n. 47, p. 74-81, 2020.