

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**SISTEMAS DE CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR**

FERNANDA DANIELE GONÇALVES DANTAS

**RECIFE-PE
JULHO, 2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**SISTEMAS DE CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR**

**FERNANDA DANIELE GONÇALVES DANTAS
(ZOOTECNISTA)**

**RECIFE-PE
JULHO, 2019**

FERNANDA DANIELE GONÇALVES DANTAS

**SISTEMAS DE CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR**

Tese apresentada ao
Programa de Pós-graduação em
Zootecnia, da Universidade Federal
Rural de Pernambuco, como
requisito parcial para obtenção do
título de Doutor (a) em Zootecnia.

Comitê de orientação:

Prof. Dr. Márcio Vieira da Cunha (Orientador)

Profa. Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos (Co-orientadora)

Dr. José Francismar de Medeiros (Co-orientador)

**RECIFE-PE
JULHO, 2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Centra, Recife-PE, Brasil

D192s Dantas, Fernanda Daniele Gonçalves
Sistemas de cultivo da palma forrageira irrigada no semiárido
potiguar / Fernanda Daniele Gonçalves Dantas. – 2019.
135 f. : il.

Orientador: Márcio Vieira da Cunha.
Coorientadores: Mércia Virgínia Ferreira dos Santos, José
Francismar de Medeiros .
Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de
Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Recife,
BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Cactos 2. Palma forrageira 3. Salinidade 4. Irrigação
5. Densidade de plantio 6. Plantio (Cultivo de plantas) I. Cunha,
Márcio Vieira da, orient. II. Santos, Mércia Virgínia Ferreira dos,
coorient. III. Medeiros, José Francismar de, coorient. IV. Título

CDD 636

FERNANDA DANIELE GONÇALVES DANTAS
SISTEMAS DE CULTIVO DA PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA NO
SEMIÁRIDO POTIGUAR

Tese defendida e aprovada pela Comissão Examinadora em 29 de julho de 2019.

Orientador: _____

Prof. Márcio Vieira da Cunha.
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Zootecnia

Comissão Examinadora:

Prof. Alexandre Carneiro Leão de Mello
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Zootecnia

Prof. Thieres George Freire da Silva
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Unidade Acadêmica de Serra Talhada

Profa. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Departamento de Ciências do Solo

Pesq. Maria da Conceição Silva
Instituto Agronômico de Pernambuco
Sede

Recife-PE
Julho-2019

BIOGRAFIA DO (A) AUTOR (A)

FERNANDA DANIELE GONÇALVES DANTAS-Natal/RN, 08/02/1984. Filha de Severina Gonçalves Dantas e Fernandes Ferreira Dantas, irmã de Flávio Gonçalves Dantas e Flademir Gonçalves Dantas. Formação secundária/técnica em meio ambiente (IFRN, Natal/RN, 1999-2003). Atuação técnica em vigilância de saúde ambiental (Pró-Saúde ABASH/Cia Vale do Rio Doce, Parauapebas/PA, 2004-2010). Graduação em Zootecnia (UFRA, Parauapebas/PA, 2005-2009). Bolsista de pesquisa e extensão em produção animal e forragicultura (EMPARN, 2010-2015). Mestrado em Produção Animal (UFRN, Macaíba/RN, 2013-2015). Doutorado em Zootecnia (UFRPE, Recife/PE, 2015-2019).

AGRADECIMENTOS

A Deus ...

A Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE - pelos seus 105 anos de ensino público de qualidade, que por meio de sua estrutura física e de pessoal, me possibilitou a formação e titulação de doutora.

A Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação - PRPPG - pelos seus 56 cursos de mestrado e doutorado na formação de acadêmicos, que através destes tive a oportunidade de cursar o doutorado.

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia - PPGZ - pelas contribuições acadêmicas à agropecuária, principalmente regional. E à toda equipe que faz o funcionamento destas instalações, pelo apoio na minha formação profissional, diante do que me foi disponibilizado e que me proporcionou a obtenção do renomado título.

Ao comitê de orientação: orientador Dr. Márcio Vieira da Cunha, co-orientadora Dra. Mércia Virgínia Ferreira dos Santos e co-orientador Dr. José Francismar de Medeiros, pelo apoio e decisivas considerações no decorrer do doutorado.

Aos Professores e pós-graduandos do grupo de Forragicultura deste Programa pelas colaborações.

Ao Departamento de Zootecnia pelo suporte, e a todos os alunos, servidores, funcionários e docentes que fazem parte deste Departamento, pela fluida convivência.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES - pelo financiamento da bolsa.

A Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte - EMPARN - pela disponibilização da estrutura de campo para realização da pesquisa. Aos engenheiros Florisvaldo Xavier Guedes e Jorge Ferreira Torres pelo suporte na instalação e manutenção dos experimentos. A funcionária Júlia de Sousa e a gerente Najara Melo, que sempre me acomodaram bem, assim como aos demais trabalhadores que me prestaram favores na Estação Experimental de Apodi. E ao Dr. Guilherme Ferreira da Costa Lima, coordenador do projeto de palma forrageira irrigada, pessoa generosa e profissional gabaritado, de essencial, constante e dedicada parceria técnica.

A Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, pelo financiamento da pesquisa. Aos bolsistas desse projeto, que estiveram na labuta dos ensaios: Akelina Márcia Bezerra de Morais,

Elaine Cristine Souza da Silva e Lindeberg da Silva Magalhães. Obrigada pela disposição física, tão necessária, e paciência comigo. E aos funcionários do campo, dezenas deles, que passaram pela equipe e mantiveram os palmais em bom trato.

Ao Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN - campus Apodi, pela disponibilização dos laboratórios para realização de medições e pesagens de amostras de palma. Notoriamente e com simpatia ao casal de professores Ângela Patrícia Alves e Genildo Fonseca Pereira que me interligaram gentilmente nessa importante Instituição.

A Universidade Federal Rural do Semiárido - UFERSA - pela disponibilização do Laboratório de Solos na moagem das quase 500 amostras de palma e casca de arroz.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA - pelas seis décadas de pesquisa de referência internacional sobre a palma forrageira, destacadamente os pesquisadores Djalma Cordeiro Santos, grande Mestre, e o renomado Professor Doutor Mário de Andrade Lira (*in memoriam*).

À banca examinadora, os doutores (a) Alexandre Carneiro Leão de Mello, Thieres George Freire da Silva, Maria Betânia Galvão dos Santos Freire e Maria da Conceição Silva por aceitarem participar da banca e pelas pertinentes e excelentes contribuições.

Aos familiares, de maneira emocionada e especial aos meus pais, exemplos de superação, dedicação e abdicção pela boa criação dos filhos, e aos meus dois irmãos, modelos de determinação aos estudos. E aos demais parentes que torcem por mim.

Aos amigos, notadamente à disciplinada Rayanne Thalita de Almeida Souza, amizade muito estimada, cultivada no decorrer do doutoramento. Aos conterrâneos potiguares Elaine Lopes, Camilla Costa, Jeska Fernandes e Heráclito Lima pelo companheirismo além deste Departamento. À Milena Paula e sua família pelo inestimável e fraterno acolhimento durante minha estada por quase três anos no Alto Oeste potiguar. E àqueles também queridos que emitem energia positiva para mim, principalmente enquanto acompanham, de perto ou de longe, as lutas rotineiras da vida, e aos que se identificam com as batalhas vinculadas à educação e a quem se dedica a essa tão nobre causa.

Enfim, à cada um, mesmo não citado nesta ocasião, mas que contribuí direta ou indiretamente na minha caminhada como ser humano e Zootecnista.

Gratidão ...

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	xi
CAPÍTULO 2	xi
CAPÍTULO 3	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
CAPÍTULO 2	xiii
CAPÍTULO 3	xiii
RESUMO GERAL.....	xiv
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
CAPÍTULO 1	4
REVISÃO DE LITERATURA	4
1. Caracterização política, socioeconômica e edafoclimática do semiárido brasileiro	4
2. Importância da palma forrageira	5
3. Sertões de baixa altitude e o cultivo da palma forrageira	6
4. Irrigação no Semiárido	7
5. Irrigação e palma forrageira	8
6. Palma forrageira e irrigação com água salina	10
7. Benefícios da cobertura morta em cultivos agrícolas	12
8. Cultivo adensado da palma forrageira.....	13
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
CAPÍTULO 2	23
Respostas morfofisiológicas e produtivas da palma forrageira a níveis de salinidade na água de irrigação e cobertura do solo com resíduo orgânico	23
RESUMO	23
ABSTRACT.....	25
INTRODUÇÃO	26
MATERIAL E MÉTODOS	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
CAPÍTULO 3	76
Respostas morfológicas e produtivas de cultivares de palma forrageira sob densidades de plantio e horários de irrigação	76

RESUMO	76
ABSTRACT.....	78
INTRODUÇÃO	80
MATERIAL E MÉTODOS	81
RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área antes da instalação do experimento (12/2016).....	31
Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental após primeira colheita anual (02/2018)	33
Tabela 3. Caracterização química do solo da área experimental na época das chuvas (06/2018).....	34
Tabela 4. Caracterização química e física do solo da área experimental após segunda colheita anual (02/2019).....	35
Tabela 5. Espessura e índice de área de cladódio (IAC), produtividades de matéria verde e seca (PMV e PMS) e eficiência do uso da água (EUA) da palma forrageira IPA Sertânia em função dos níveis de salinidade e anos de avaliação	44
Tabela 6. Participação (%) da ordem dos cladódios na produtividade de matéria seca, pH e teor relativo de água (TRA) da palma forrageira IPA Sertânia em função da cobertura de solo com casca de arroz e anos de avaliação.....	58
Tabela 7. Espessura e área de cladódio (AC), teor de matéria seca (MS), número de cladódios por planta e produtividade de matéria verde (PMV) da palma forrageira IPA Sertânia em função da cobertura de solo com casca de arroz	63
Tabela 8. Altura e largura das plantas, número de cladódios por planta, espessura, perímetro, comprimento, largura e área de cladódio e teor de matéria seca da palma forrageira IPA Sertânia em função do ciclo de crescimento.....	64

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Composição químico-física do solo da área experimental	84
Tabela 2. Espessura, comprimento, largura, perímetro, área e índice de área de cladódio, altura e largura de planta e teor de matéria seca de cultivares de palma forrageira no primeiro ano de avaliação	90
Tabela 3. Área e índice de área de cladódio, altura e largura de planta de cultivares de palma forrageira em função da densidade de plantio no primeiro ano de avaliação	92
Tabela 4. Índice de área de cladódio de cultivares de palma forrageira em função dos horários de irrigação e das densidades de plantio no segundo ano de avaliação	94

Tabela 5. Teor de matéria seca e largura da planta em função das cultivares de palma forrageira e das densidades de plantio no segundo ano de avaliação	95
Tabela 6. Número de cladódios por planta de cultivares de palma forrageira em função da densidade de plantio no segundo ano de avaliação	96
Tabela 7. Espessura, comprimento, largura, perímetro, área de cladódio e índice de área de cladódio, altura da planta e número de cladódios por planta de cultivares de palma forrageira no segundo ano de avaliação	97
Tabela 8. Produtividade de matéria verde de cultivares de palma forrageira em função dos horários de irrigação e das densidades de plantio no primeiro ano de avaliação	100
Tabela 9. Número de cladódios por planta, produções de matéria verde e seca e eficiência do uso da água em função das cultivares de palma forrageira e das densidades de plantio no primeiro ano de avaliação	102
Tabela 10. Produtividades de matéria verde e seca e eficiência do uso da água de cultivares de palma forrageira em função do horário de irrigação no segundo ano de avaliação	107
Tabela 11. Produtividade de matéria seca e eficiência do uso da água de cultivares de palma forrageira no segundo ano de avaliação	109

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 2

Figura 1. Mapas do Brasil-RN, RN-Apodi	28
Figura 2. Temperaturas máxima, média e mínima média e histórica mensais da área experimental.....	29
Figura 3. Umidade relativa do ar média e histórica mensais da área experimental	29
Figura 4. Precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial mensais e histórica e lâmina de irrigação mensal (mm) da área experimental	30
Figura 5. Croqui da área experimental	37

CAPÍTULO 3

Figura 1. Precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial mensais e históricas e lâmina de irrigação mensal (mm) da área experimental	82
Figura 2. Croqui da área experimental	85

RESUMO GERAL

A palma forrageira possui importância estratégica como suporte alimentar para a pecuária no Semiárido do Brasil, entretanto, algumas localidades não apresentam clima adequado para seu pleno desenvolvimento, sendo necessária complementação hídrica. Foram realizados dois experimentos no período de 2017 a 2019 em Apodi/RN. No primeiro experimento o objetivo foi avaliar os efeitos de níveis de salinidade da água de irrigação (0,1; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 dS m⁻¹) e da presença ou ausência de cobertura do solo com casca de arroz, sobre a morfofisiologia e produtividade da palma forrageira IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) por dois ciclos anuais. Os tratamentos foram casualizados em faixas (strip-plot), em esquema de parcelas subdivididas, num delineamento em blocos o acaso. Os níveis de salinidade foram aplicados nas parcelas, e a cobertura do solo nas subparcelas, distribuídas em faixas, com quatro repetições. A lâmina de irrigação média por gotejamento foi de 4,0 mm semana⁻¹. A interação entre os níveis de salinidade e os anos foi significativa (P<0,05) para as características de produtividade de matéria verde (PMV) e seca (PMS), eficiência do uso da água (EUA) e espessura dos cladódios, com resposta negativa aos maiores níveis de sal apenas no primeiro ano e ausência de efeitos no segundo ano (117 e 7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de PMV e PMS, respectivamente). A cobertura de solo promoveu maior PMV (96 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), número de cladódios por planta (10 unidades), espessura (2,1 cm) e área dos cladódios (323 cm²) e menor teor de MS (78 g kg⁻¹). Os anos de avaliação influenciaram significativamente, assim, o segundo ciclo anual de cultivo beneficiou a formação de plantas e cladódios maiores. A casca de arroz proporcionou aumento de brotação e da PMV, e a salinidade nos maiores níveis (7,5 e 10,0 dS m⁻¹) contribuiu para menor PMS da palma IPA Sertânia no primeiro ciclo anual, mas sem diferença significativa entre os níveis de salinidade na colheita seguinte. No segundo ensaio experimental, objetivou-se verificar as respostas morfológicas e produtivas das cultivares da palma forrageira - Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dick) e IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) sob diferentes densidades de plantio (20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹) e horários de irrigação (manhã e noite), em duas colheitas anuais. Os tratamentos foram casualizados em parcelas sub-sub-divididas, num delineamento inteiramente ao acaso. Os horários de irrigação representaram as parcelas, as cultivares de palma forrageira as sub

parcelas, e as densidades de plantio as sub-sub parcelas, com quatro repetições. A lâmina de água aplicada foi de 15 mm semana⁻¹ via aspersão. Quanto as características morfológicas, a Orelha de EM e a IPA Sertânia apresentaram maiores dimensões dos cladódios, enquanto a Miúda exibiu plantas mais altas. O maior adensamento favoreceu a elevação do índice de área de cladódio (6,0 m²/m²). Sobre as respostas produtivas, no primeiro ano de crescimento, ocorreu interação significativa (P<0,05) entre os horários de irrigação e as densidades de plantio para a produtividade de matéria verde (PMV), tendo o período diurno e o adensamento de 80 mil plantas ha⁻¹ promovido maior rendimento (197 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Houve efeito significativo de interação das cultivares e densidades de plantio para número de cladódios, PMV, produtividade de matéria seca (PMS) e eficiência do uso da água (EUA), destacando-se a Miúda e Orelha EM. A Miúda emitiu 53 cladódios sob 20 mil plantas ha⁻¹ e PMV, PMS e EUA de 212 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 19 kg de MS kg⁻¹ de água, respectivamente, sob maior adensamento. A Orelha EM apresentou 217 e 22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 19 kg de MS kg⁻¹ de água referente a PMV, PMS e EUA, nesta ordem, sob a menor densidade de plantio. No segundo ciclo anual de crescimento, o horário de irrigação apresentou efeito significativo (P<0,05), de forma que o período diurno possibilitou maior PMV (197 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), PMS (17 Mg ha⁻¹ ano⁻¹) e EUA (12 kg de MS kg⁻¹ de água). O efeito das cultivares foi significativo (P<0,05) para PMS e EUA, com evidência novamente para a Miúda. Portanto, as cultivares de palma forrageira foram influenciadas pelos horários de irrigação e pelas densidades de plantio, sobretudo a Miúda e OEM, ambas de alto potencial produtivo.

Palavras-chave: complementação hídrica, condicionador orgânico, espaçamento de plantio, *Nopalea*, *Opuntia*, Semiárido

CULTIVATION SYSTEMS OF IRRIGATED SPINELESS FORAGE CACTUS IN THE SEMIARID OF RIO GRANDE DO NORTE - BRAZIL

GENERAL OVERVIEW

Cactus pear is strategically important as food support for livestock in the semiarid region of Brazil, however, some localities do not have adequate climate for its full development, requiring hydric complementation. Two experiments were conducted from 2017 to 2019 in Apodi - RN- Brazil. In the first trial the objective was to evaluate the effects of salinity levels of irrigation water (0.1, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 dS m⁻¹) and the presence or absence of soil cover with rice husk on morphophysiology and productivity of spineless forage cactus IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) in two annual cycles. The treatments were randomized in strip plot scheme, in a randomized block design. Salinity levels were applied in the plots, and the soil cover in the subplots with four replicates. The average drip irrigation depth was 4.0 mm week⁻¹. The interaction between salinity levels and years was significant (P <0.05) for fresh matter (FMP) and dry matter (DMP) productivity, water use efficiency (WUE) and cladode thickness characteristics, with negative responses to higher salinity levels only in the first year and absence of effects in the second year (117 and 7 Mg ha⁻¹ year⁻¹ of FMP and DMP, respectively). The soil cover promoted higher FMP (96 Mg ha⁻¹ year⁻¹), number of cladodes per plant (10 units), thickness (2.1 cm) and cladode area (323 cm²) and lower DM content (78 g kg⁻¹). The years of evaluation influenced significantly, so the second annual crop cycle benefited the formation of larger plants and cladodes. Rice husk cover promoted an increase in sprouting and FMP, and salinity at the highest levels (7.5 and 10.0 dS m⁻¹) contributed to lower DMP of IPA Sertânia cactus variety in the first annual cycle, but without significant differences between the levels of water salinity at the next harvest. In the second experimental trial, the objective was to verify the morphological and productive responses of spineless forage cacti cultivars – Orelha de Elefante Mexicana (OEM) (*Opuntia stricta*), Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dick) and IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) under different planting densities (20 , 40 and 80 thousand plants ha⁻¹) and irrigation hours (morning and evening), in two annual harvests. The treatments were randomized in sub-subdivided plots, in a completely randomized design. The

irrigation hours represented the plots, the cacti cultivars the subplots, and the planting densities the sub-subplots, with four replicates. The applied water depth was 15 mm week⁻¹ via sprinkler system. Regarding the morphological characteristics, the OEM and the IPA Sertânia cultivars presented larger cladodes dimensions, while the Miúda cultivar showed higher plants. The higher density favored the increase of cladode area index (6.0 m²/m²). Regarding the productive responses, in the first year of growth, there was a significant interaction (P <0.05) between irrigation hours and planting densities for fresh matter productivity (FMP), with the daytime and the density of 80 thousand plants ha⁻¹ promoting higher yield (197 Mg ha⁻¹ year⁻¹). There was a significant interaction effect between cultivars and planting densities for cladode number, FMP, dry matter productivity (DMP) and water use efficiency (WUE), especially for Miúda and OEM cultivars. The Miúda cultivar emitted 53 cladodes/plant under 20,000 plants ha⁻¹ and FMP, DMP and WUE of 212 Mg ha⁻¹ year⁻¹ and 23 Mg ha⁻¹ year⁻¹ and 19 kg of DM kg of water⁻¹, respectively, under the higher density. *Opuntia* (OEM) reached 217 and 22 Mg ha⁻¹ year⁻¹ and 19 kg of DM kg of water⁻¹ for FMP, DMP and WUE, in this order, under the lowest planting density. In the second annual growth cycle, the irrigation hours had a significant effect (P <0.05), so that the daytime allowed higher FMP (197 Mg ha⁻¹ year⁻¹), DMP (17 Mg ha⁻¹ year⁻¹) and WUE (12 kg of MS kg of water⁻¹). The effect of the cultivars was significant (P <0.05) for DMP and WUE, with evidence for the Miúda cultivar. Spineless forage cactus cultivars were influenced by irrigation hours and planting densities, especially Miúda and OEM, both with high productive potential.

Key words: hydric complementation, *Nopalea*, *Opuntia*, organic conditioner, plant spacing, semiarid

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As espécies de palma são originárias de regiões desérticas no México e evoluíram seu processo fotossintético através de adaptações anatômicas e fisiológicas, sendo capazes de se desenvolverem sob as condições climáticas das zonas semiáridas. Esses cactos forrageiros apresentam elevado potencial produtivo, desde que manejados adequadamente, alcançando média de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca no Nordeste do Brasil e até 50 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no Chile. Ressalta-se ainda, o quanto são resilientes sob restrições hídricas, devido à alta eficiência no uso da água (EUA), em função do metabolismo ácido da crassuláceas (MAC).

No que se refere a qualidade nutricional da palma forrageira, estudos desenvolvidos na região nordestina brasileira, caracterizam-na como excelente fonte de energia, contendo aproximadamente 60% de carboidratos não fibrosos. Apresenta ainda altos teores de água (900 g kg⁻¹), um recurso escasso no semiárido.

Por estas razões, as cactáceas forrageiras são recursos alimentares estratégicos para a pecuária no semiárido do Brasil.

Na região Nordeste brasileira foram implantados centenas de milhares de hectares de palma forrageira, mas devido a intensa infestação pelo inseto da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockrell), consideráveis áreas foram dizimadas nesse início de século. Diante deste cenário, outros cultivares tolerantes passaram a ser recomendados para o cultivo, tais como a IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), que continuam sendo testadas no semiárido brasileiro.

A palma forrageira precisa de clima noturno ameno para atingir seu potencial produtivo, notadamente quanto a temperatura e umidade relativa do ar, considerados ideais em torno de 15 °C e 60%, respectivamente. Estes dois fatores ambientais favorecem a formação de orvalho, e estas condições são necessárias para que seja baixa a perda de água por ocasião da abertura dos estômatos durante a captação do dióxido de carbono (CO₂) no período da noite.

Quando o ambiente é permanentemente quente e seco durante à noite, os cladódios perdem turgescência, murcham severamente e as plantas morrem na época seca, quando há maior necessidade de forragem. Essa implicação ocorre em áreas dos sertões de baixa altitude, razão pela qual o cultivo da palma forrageira não se estabeleceu favoravelmente nestes locais, como por exemplo, parte do Rio Grande do Norte.

A fim de atender esta demanda, neste Estado, a aplicação de irrigação foi testada nessa cultura, na forma de complementação hídrica, utilizando pequena quantidade de água. Os campos irrigados viabilizaram a produtividade da palma forrageira, inicialmente, de forma empírica e posteriormente por comprovação científica. Os primeiros resultados, foram um marco para implantação de áreas de palma forrageira naqueles territórios com restrições climáticas para referida cultura, a partir da adesão da prática da complementação hídrica. Desse modo, tem-se impulsionado novas pesquisas no âmbito do manejo hídrico, haja vista as diversas lacunas dessa temática nas lavouras dessas cactáceas.

Entretanto, é sabido que a disponibilidade de água em regiões semiáridas é escassa, e tipicamente de baixa qualidade pela elevada concentração de sais. Portanto, o uso deste recurso exige práticas sustentáveis, especialmente porque os solos nesses ambientes são comumente rasos, devido a sua formação geológica, o que potencializa problemas de salinização, sobretudo pela utilização de um inadequado manejo de irrigação.

Uma prática utilizada quando sob sistemas de irrigação é o uso da cobertura de solo, sobretudo em zonas semiáridas, nas quais ocorrem altas temperaturas e evaporação da água do solo. A aplicação desses resíduos orgânicos na superfície favorece a manutenção da umidade e a redução da temperatura do solo. Essas condições contribuem para a formação de um adequado microclima para o cultivo, e colabora para incrementos nos rendimentos.

Ao considerar o manejo de plantio quanto a densidade de plantas por hectare da palma forrageira, verifica-se que há necessidade de respostas sobre quais arranjos de plantio são satisfatórios, conforme os hábitos de crescimento das cultivares. A falta desses resultados ocorre sobretudo em sistemas de cultivo sob irrigação, pois a utilização dessa prática é recente, sendo primordial utilizar eficientemente os recursos naturais, especialmente a água, a fim de manter a produção por área numa perspectiva sustentável.

Face às questões mencionadas, objetivou-se demonstrar os efeitos da salinidade da água de irrigação e da cobertura do solo sobre a morfofisiologia e produtividade da palma IPA Sertânia. Em outra perspectiva, também foram estudadas as respostas morfológicas e produtivas de cultivares de palma forrageira sob diferentes densidades de plantio e horários de irrigação.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1. Caracterização política, socioeconômica e edafoclimática do semiárido brasileiro

O território do Brasil tem 11,5% de sua superfície ocupada pela porção semiárida (IBGE, 2013). Nesta área vivem mais de 23,5 milhões de habitantes (IBGE, 2010) e, portanto, é um dos semiáridos mais populosos do mundo (Malvezzi, 2007). Nele existem cerca 1,7 milhão de estabelecimentos rurais, sendo um milhão de minifúndios com menos de cinco hectares (Silva e Costa, 2014). Neste semiárido constam 1.262 municípios, perfazendo quase 23% das cidades brasileiras (SUDENE, 2017). Sobre o índice de desenvolvimento humano (IDH), é baixo (<0,550) e ainda, inferior ao do Brasil (0,727), segundo PNUD (2013). Dessa forma, há um apelo social e torna-se urgente avaliar atividades com potencial de geração de emprego e renda nessa extensa área.

Com relação ao clima, a precipitação pluviométrica no Semiárido brasileiro é marcada pela distribuição irregular ao longo do tempo e com ampla variação geográfica. Ainda, o volume total de chuva anual é relativamente baixo (800 mm), e há longos intervalos de estiagem, considerado evento de “seca” (Correia et al., 2005).

Nessa zona semiárida brasileira, os solos possuem variada classificação e segundo levantamento de Jacomine (1996) estão distribuídos percentualmente em Neossolos Litólicos (19,2%), Latossolos (21%), Argissolos (14,7%), Luvisolos (13,3%), Neossolos Quartzarênicos (9,3%), Planossolos (9,1%), Neossolos Regolíticos (4,4%) e Cambissolos (3,6%). Podem também ser encontrados Neossolos Flúvicos, Vertissolos, Chernossolos, entre outros (5,4%).

Nesse cenário, a pecuária é uma atividade tradicionalmente estratégica nas condições do semiárido (Araújo Filho, 2013). Apresenta maior resiliência à seca que a agricultura (Dubeux Jr. et al., 2015). Possui função estabilizadora, por diminuir os impactos social e econômico dos sistemas de cultivos agrícolas (Coutinho et al., 2013). Contribui, em grande parte, com a fixação do homem no campo, principalmente quando novos modelos de sistemas agrosilvipastoris, encontram-se em evidência (Dantas et al., 2012).

Por outro lado, a melhoria da produção animal, por meio de seus índices zootécnicos, muitas vezes é apontada como inviável no semiárido, principalmente nas pequenas propriedades, devido à baixa capacidade de suporte forrageiro da vegetação nativa (Caatinga). Estima-se a necessidade de 12 a 15 ha desse pasto nativo para manutenção de uma unidade animal (Lira et al., 2009). Ressalta-se ainda a insuficiência na produção e armazenamento de forragens, e da baixa eficiência dos sistemas produtivos (Lima et al., 2013).

Segundo Araújo Filho (2013), os modelos extrativistas nos ecossistemas naturais devem ser substituídos por técnicas agropecuárias que simulem o funcionamento natural desses ambientes, atuando na recuperação de áreas que se encontram degradadas, como é o caso da Caatinga. Neste bioma, as pastagens nativas podem ser utilizadas para pastejo dos rebanhos, abrigo para os animais silvestres, produção de madeira, recreação, recuperação e preservação ambiental e outros bens demandados pela sociedade, atendendo aos moldes agroecológicos.

2. Importância da palma forrageira

A palma forrageira pertence à família *Cactaceae*. É originária do México, natural de zonas desérticas (Hoffmann, 2001). Em função de sua origem, trata-se de uma planta xerófita, adaptada às condições climáticas de aridez e semiaridez, com alta eficiência do uso da água, resultado de seu metabolismo MAC - metabolismo ácido das crassuláceas (Taiz et al., 2017; Sampaio, 2005).

Diante do cenário que a pecuária representa para o Semiárido do Brasil e das características morfofisiológicas da palma forrageira, o cultivo desta cactácea forrageira é indiscutivelmente utilizado para atender parte da demanda alimentar dos rebanhos bovinos, caprinos e ovinos locais. Estima-se que a área cultivada chegou a 600.000 hectares sobretudo no Nordeste brasileiro, o qual detém a quase totalidade da produção dessa cultura no país (Assis et al., 2011). Atualmente a estimativa aponta 247 mil hectares cultivados com essas cactáceas forrageiras (IBGE, 2017).

Os satisfatórios resultados de produtividade apresentados pela palma forrageira no Brasil, apontam-na de importância estratégica, haja vista os rendimentos médios de 20

Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca serem considerados alto para área do Semiárido (Dubeux Jr. et al., 2015; Lira et al., 2006; Santos et al., 2006).

As variedades dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, quando bem manejadas, sobretudo quando cultivadas em solos férteis, podem produzir 50-60 vezes mais forragem por unidade de área que as pastagens nativas em ambientes semiáridos (Dubeux Jr. et al., 2015). Para Snyman (2006), mesmo chuvas de poucos milímetros, que são quase de nenhum valor para as plantas forrageiras comuns, podem ser eficientemente usadas pelas palmas forrageiras.

O valor nutricional da palma forrageira é outra vantagem que justifica sua utilização. É uma excelente fonte de água e energia. O teor de matéria seca, em torno de 10%, é considerado baixo. Entretanto apresenta altos valores de nutrientes digestíveis totais (em torno de 65%), de carboidratos totais (próximo de 80%), de carboidratos não fibrosos (média de 58%) e digestibilidade da matéria seca, com aproximadamente 75% (Lopes et al., 2019; Ferreira et al., 2012; Oliveira et al., 2007; Vêras et al., 2005; Melo et al., 2003; Wanderley et al., 2002).

Todavia, na última década, a praga da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockrell), chegou a dizimar vastas áreas de palmais no Nordeste do Brasil, situação que impulsionou pesquisas em melhoramento genético para identificar variedades resistentes ao inseto, como a palma Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm. Dick.), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw) (Santos et al., 2013). Assim, é imperativa a utilização dessas novas cultivares na implantação dos campos de palma.

3. Sertões de baixa altitude e o cultivo da palma forrageira

A palma forrageira necessita de clima adequado para seu pleno desenvolvimento, sobretudo no período noturno. Nobel (2001) relata captação atmosférica diária máxima de CO₂ sob temperaturas do ar diurna e noturna de 25 °C e 15 °C, respectivamente. Essa captação se reduz em 60% em relação ao valor máximo, quando essas médias se elevam para 35 °C e 25 °C (dia e noite, nesta ordem). Essas elevações são muito comuns no período seco de várias regiões do sertão nordestino, especialmente no estado potiguar, no qual historicamente sempre houveram baixos rendimentos dessa cultura.

Lira et al. (2006) destacam que, no Agreste pernambucano, região que possibilita excelente desempenho da palma forrageira, de uma maneira geral as noites são frias e têm elevada umidade do ar, especialmente com frequente ocorrência de orvalho, que promove uma menor perda de água da planta por ocasião da abertura noturna dos estômatos.

De maneira geral, o cultivo da palma Miúda tem sido recomendado para regiões com precipitações em torno de 600 mm ano⁻¹, com forte interação com outras questões geoclimáticas, como a altitude e temperatura, principalmente (Farias et al., 2005).

Desta forma, nos sertões de baixa altitude, em que as noites são quentes e de baixa umidade, o clima é limitante para o desempenho da palma forrageira (Lira et al., 2006), podendo ocasionar murcha severa dos cladódios e até a morte das plantas, especialmente no período de estiagem. Tal situação é observada nas regiões Seridó e Sertão Central do Rio Grande do Norte, bem como áreas no Ceará e Paraíba (Lima, et al., 2016; Rêgo et al., 2014; Farias et al., 2005; Duque, 2004).

Scalisi et al. (2016) conduziram experimento em casa de vegetação, testando a influência de diferentes idades das plantas, disponibilidade de água e temperatura diurna sobre a redução dos cladódios de palma forrageira. Os autores observaram diminuição da espessura dos cladódios, do teor relativo de água, do acúmulo de ácido málico, da condutância estomática e do desenvolvimento dos cladódios. Ainda, que sob condições de plena rega, as flutuações de temperatura durante o dia, estiveram diretamente relacionadas com as variações de turgescência dos cladódios.

Felker e Inglese (2003), em trabalho realizado na Índia com clones de *Opuntia*, verificaram que, em locais onde o índice pluviométrico foi inferior a 350 mm ano⁻¹ e a temperatura excedeu a 40 °C por um longo período do ano, necessitou-se de irrigação para que a palma atingisse um significativo índice de crescimento.

4. Irrigação no Semiárido

No Semiárido brasileiro, os períodos secos são intercalados com precipitações distribuídas irregularmente. Assim, a ocorrência de déficit de umidade no solo, na maior parte do ano, é recorrente e se torna uma limitação agrícola, entrave este que pode deixar de existir com uma irrigação complementar, possibilitando cultivo durante o ano.

A irrigação no semiárido nordestino seria viável em apenas 2 ~ 3% de seu território, em função de limitações quantitativas e qualitativas da água, bem como restrições edáficas (Dubeux Jr. et al., 2010). Entretanto, altos rendimentos têm sido obtidos com a palma forrageira, mesmo com utilização mínima de água (50 a 75 m³ ha⁻¹ mês⁻¹). Esses baixos volumes utilizados, muitas vezes demandados em apenas um dia para outras culturas, apontam para um potencial produtivo dessa cactácea forrageira. Indica ainda, a necessidade de continuidade de pesquisas para avaliar a sustentabilidade desses sistemas sob irrigação no cultivo da palma.

A utilização de fontes alternativas de captação hídrica (chuva, poços de baixa vazão, açudes) pode ser uma alternativa para o uso de água nos sistemas de irrigação que utilizam pequena quantidade de recurso hídrico. Ressalta-se a existência de centenas de milhares de poços perfurados no Semiárido, apesar de que em sua maioria, a qualidade da água contida neles, não é boa, devido a salinidade.

A problemática da utilização de água salobra e/ou salina é um fator fundamental para estudo e acompanhamento devido ao risco de salinização dos solos. Outra questão, é quanto à escassez de água potável no planeta e a existência desse recurso hídrico contendo determinados teores de sais. Portanto, deve-se ter em vista pesquisas que apontem meios que viabilizem seu uso nos cultivos agrícolas, sobretudo seus efeitos ao sistema ambiental a longo prazo.

Amador et al. (2001) ressaltam que é preciso levar em conta o fato que a extensão agrícola em zonas áridas e semiáridas requer grandes quantidades de água de irrigação e os recursos de água doce não são suficientes para os cultivos. Assim, explorar a possibilidade de usar água salina para irrigação é de grande importância, principalmente quando se trata de uma irrigação complementar e a água de qualidade superior não está disponível para esse uso.

5. Irrigação e palma forrageira

Murchas severas dos cladódios de palma podem ser revertidas quando se usa a irrigação, utilizando quantidades mínimas de água, por complementação hídrica. Nesse sentido, De Kock (2001) relata produtividades de *Opuntias* da ordem de 10 a 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS em zonas semiáridas, ressaltando que nessas regiões, o cultivo dessas

cactáceas é eficiente com uma pequena suplementação de irrigação. Nobel (1995) menciona que sob irrigação, a palma tem potencial produtivo de 40 a 50 Mg de MS ha⁻¹ ano⁻¹.

Hernandez et al. (2004) avaliaram rendimento de cladódios jovens de *Opuntia spp.* em sistema de irrigação por gotejamento suprindo 30, 45 e 60% da evaporação semanal acumulada e observaram que a irrigação acima de 30%, que representa uma lâmina de irrigação anual de 740 mm, não aumentou a produção agrícola.

O alto potencial de produtividade de matéria verde da palma forrageira é confirmado na literatura mundial com produções de 226,9 Mg ha⁻¹ de MV em irrigação por gotejamento com 75 dias de crescimento no México (Rodriguez et al., 2010) e 450,0 Mg ha⁻¹ de MV por hidroponia aos seis meses de cultivo no país mexicano (Tobias et al., 2010).

Portanto, a irrigação como complementação hídrica é uma opção de tecnologia viabilizadora para o cultivo da palma em áreas inclusive onde a cultura nunca havia prosperado, alcançando produtividades de matéria seca de 20 a 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ sob lâmina de 20 mm mês⁻¹ (Lima, et al., 2016; Lima et al., 2015; Rêgo et al., 2014; Lima et al., 2013).

Por se tratar de um tema relativamente recente, irrigação no cultivo de palma forrageira demanda diversos estudos. Para tanto, diferentes tipos e manejos de irrigação têm sido testados. Zegbe e Perez (2018) avaliaram as opções de irrigação e seus efeitos sobre a economia de água, rendimento, qualidade dos frutos e desempenho pós-colheita de *Opuntias* por dois anos no México. Os autores observaram que os tipos de irrigação por secagem parcial da raiz (no qual metade do volume de água foi aplicado em um lado do sistema radicular) e por déficit (aplicado nos dois lados do sistema radicular) foram os viáveis para a produção sustentável da palma, em relação à irrigação total ou sequeiro.

Outra questão que carece de informações na literatura é quanto ao requerimento de água via irrigação para um manejo eficiente dos palmais, principalmente em relação às lâminas de água, frequência de irrigação e a obtenção do coeficiente de cultura. Apontam-se volume de água por ciclo anual de 912 a 1.418 mm (Diniz et al., 2017; Silva et al., 2015; Queiroz et al., 2015; Silva et al., 2014; Consoli et al., 2013), principalmente devido as altas evapotranspirações da palma forrageira no semiárido.

Morais et al. (2017) ressaltam que a maioria das características hidrodinâmicas dos solos cultivados com palma forrageira são alteradas pelas lâminas e frequências de irrigação e pelos tipos de cultivares.

Consoli et al. (2013) estimaram evapotranspiração de 912 mm ano⁻¹ para *Opuntia* na Itália, sendo cerca de 286 e 252 mm de água durante duas estações de crescimento. A evapotranspiração real foi da ordem de 2,5 e 5,0 mm por dia, com um valor correspondente do coeficiente de cultura médio de 0,40. Silva et al. (2015) calcularam a evapotranspiração real (ET) de três clones de palma forrageira como resíduo do método do balanço hídrico do solo em Serra Talhada – PE e encontraram uma ET acumulada de 1.173 mm durante 499 dias de experimento, com uma média diária de 2,35 mm.

Esses quantitativos podem ser diminuídos no caso de lâminas localizadas, aplicadas em área restrita do solo, conforme indicado por Silva et al. (2014) exemplificando irrigações por gotejamento. A partir desses requerimentos, Queiroz et al. (2016) e Consoli et al. (2013) estimaram coeficiente de cultivo médio (Kc) da palma de 0,52 e 0,40, no Brasil e na Itália, respectivamente.

6. Palma forrageira e irrigação com água salina

O primeiro ponto a ressaltar é que palma forrageira não cresce bem em solos com altos teores de sódio, característicos dos solos sódicos e salino-sódicos (Sampaio, 2005). Farias et al. (2005) também afirmam que a cultura não se desenvolve em áreas salinizadas.

Segundo Nobel (2001), a salinidade do solo a 100 ppm (Na⁺) inibe a captação atmosférica de CO₂ e o crescimento das *Opuntias* em 30%. Esses níveis geralmente são ultrapassados em solos irrigados, bem como sob condições naturais, quando as altas temperaturas provocam altas taxas de evaporação com o consequente acúmulo de sais na superfície do solo.

Em relação à utilização de água salina na irrigação da palma, a literatura aponta que a cultura é sensível ao estresse salino. Dubeux Jr. e Santos (2005) destacam que a cactácea não apresenta tolerância a estresse salino, havendo de maneira geral, uma inibição do desenvolvimento radicular e da parte aérea no cultivo da palma em áreas salinas, porque níveis elevados de sódio no solo inibem a fixação de CO₂ pela palma.

Em casa de vegetação, Freire et al. (2018) avaliaram o desempenho da palma Miúda, testando frequências de irrigação (7, 14, 21 e 28 dias) e níveis de salinidade (0,3; 0,5; 1,5 e 3,6 dS m⁻¹ de NaCl). Os resultados demonstraram que a cultivar não tolerou a salinidade, influenciando o desempenho produtivo, quando exposta ao menor intervalo de rega e maior teor de sais na água. Mesmo assim, segundo observações de produtores mexicanos em duas cultivares de *Nopalea*, foram, aparentemente, mais tolerantes ao sal (NaCl) da água de irrigação que as *Opuntias* (Amador et al., 2001).

Todavia, essa característica da palma forrageira apresentar sensibilidade à salinidade da água requer maior número de pesquisas, visto que existem palmais prosperando há sete anos com utilização de águas salinas, em áreas do nordeste brasileiro. E esta condição de recurso hídrico salino é comumente encontrado no semiárido nordestino (Medeiros et al., 2016).

No Rio Grande do Norte foram obtidas produções entre 20 e 30 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS com *Opuntia* e *Nopalea* utilizando água de alta salinidade, com condutividade elétrica (CE) superior a 5 dS m⁻¹ e classificada como C₄S₁T₃, com níveis elevados de cloreto (Lima, et al., 2016; Lima et al., 2015; Rêgo et al, 2014; Lima et al., 2013). Diante disso, ressalta-se a importância do desenvolvimento e validação de práticas de manejo que otimizem a produção da palma forrageira com a utilização de água salina, com a identificação dos tipos de solo recomendados, níveis de salinidade da água permitidos, formas de aplicação, utilização de condicionadores orgânicos e de técnicas de monitoramento que previnam a salinização dos solos.

A salinidade em solos tem se constituído num dos mais sérios problemas para a agricultura irrigada em diversas partes do mundo. Só no Nordeste brasileiro são aproximadamente nove milhões de hectares salinizados (Ribeiro et al., 2003).

O aumento de terras salinizadas tem-se tornado motivo de grande preocupação. Em regiões áridas e semiáridas, o emprego da irrigação sem um manejo adequado e com drenagem deficiente contribui para que o processo de salinização seja acelerado, podendo atingir níveis prejudiciais à maioria das culturas em um espaço de tempo relativamente curto (Holanda et al., 2001).

Ruiz et al. (2004) em relatos sobre solos da região semiárida, mencionam que a alta taxa de evaporação, contribui para aumento das concentrações de sais solúveis na superfície. Oliveira et al. (2002) reafirmam que além dos solos naturalmente

halomórficos, estes se tornam salinizados ou sodificados pela ação antrópica, devido a utilização inadequada da água irrigada. Práticas de irrigação impróprias ocasionam acúmulo de sais, degradando os solos e os tornando impróprios para cultivos. A falta de chuvas para lixiviação daqueles elementos salinos é mais um elemento que colabora para o processo de salinização. Outro fator muito importante é quanto a drenagem do solo, seja natural, através da física do solo (maior teor de areia) ou projetada no sistema de irrigação.

Dentre as técnicas disponíveis para recuperar solos com excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, destaca-se o uso de condicionadores orgânicos via matéria orgânica (Amorim et al., 2010). Freire e Freire (2007) sugerem a casca de arroz, material encontrado em várias regiões do Brasil, inclusive no sertão central potiguar, e que pode ser usada como cobertura de solo na cultura da palma irrigada.

7. Benefícios da cobertura morta em cultivos agrícolas

É expressiva a literatura confirmando os efeitos benéficos do uso de coberturas de solo para os sistemas de produção na agricultura. Entre as vantagens, notadamente estão a redução do aquecimento e das perdas de água na superfície de cultivo (Souza et al., 2017). Desta forma, as coberturas mortas influenciam o fluxo de calor do solo e ainda protegem o solo do impacto direto da chuva e dos raios solares (Cunha et al., 2011). A diminuição da evaporação de água na superfície é devido a presença da cobertura aumentar a capacidade de armazenamento da umidade (Van Donk et al., 2010). Entre outras finalidades, reduz a desagregação de partículas do solo, controla as plantas daninhas e diminui a ocorrência de pragas (Santos et al., 2018).

Diferentes tipos de matérias podem ser usados como cobertura de solo nas mais variadas culturas. A casca de arroz em hortas de alface foi avaliada por Santos et al. (2018). Palha de carnaúba sob bananal (Araújo et al., 2018). O Capim elefante (*Penisetum purpureum*) triturado no cultivo da palma forrageira (*Opuntia* spp e *Nopalea* spp) foi avaliado por Amorim et al. (2017). A aveia-branca (*Avena sativa*) com capim-sudão (*Shorghum sudanense*) sob solo desnudo ou com “mulching” foi testado por Ribas et al. (2015). Palhada de aveia preta (*Avena sativa*) na produção de soja (*Glycine max*) avaliado por Wazilewski et al. (2011). E crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp), mucuna-preta (*Mucuna aterrima*) e sorgo-vassoura (*Sorghum*

technicum) nas culturas de feijão e milho (Cunha et al., 2011). Esses estudos são alguns exemplos das opções e dinamismo da utilização dessa prática.

Quanto o controle da temperatura, as palhadas, por exemplo, funcionam como isolantes térmicos (Wazilewski et al., 2011). Ribas et al. (2015) quantificaram as temperaturas do solo desnudo com e sem irrigação, e sob diferentes coberturas, em Santa Maria/RS. Foi verificado que as palhas de aveia-branca (*Avena sativa*) com capim-sudão (*Shorghum sudanense*) proporcionaram as menores amplitudes térmicas no solo entre os tratamentos testados.

O uso dessas coberturas é essencial em sistemas irrigados e muito importante sobretudo em climas sob altas temperaturas, típica condição no semiárido. Cortez et al. (2015), avaliando a temperatura e a umidade do solo na cultura do milho, em Petrolina/PE, confirmaram que os maiores valores de umidade ocorreram no período da manhã. Esta condição esteve relacionada com a disponibilidade de água. E quanto a temperatura do solo, foi mais alta, acima de 40 °C, às 12 h. Os autores verificaram que no estágio de desenvolvimento mais avançado da cultura, a parte aérea do milho já protegeu o solo, e contribuiu para estes resultados.

Diante das vantagens do uso da cobertura de solo, um ponto a considerar é a disponibilidade do material na localidade do cultivo. Esse planejamento tornará viável a prática, haja vista que os resíduos orgânicos sofrem decomposição ao longo do tempo, e dependendo da cultura será necessário reposição.

8. Cultivo adensado da palma forrageira

O arranjo de plantio e a densidade de plantas também são temas importantes na cultura da palma forrageira, principalmente quando submetida a irrigação.

Alguns modelos de plantio foram testados por Silva et al. (2016), que utilizaram espaçamentos de 1,0 x 0,50 m; 2,0 x 0,25 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m equivalendo a 20 mil plantas ha⁻¹ em palma Gigante, em sistema de sequeiro. Os autores verificaram que o crescimento da palma dependeu da forma de acomodação das plantas e que o melhor desenho foi o de 1,0 x 0,50 m.

Testando densidades de plantas, Silva et al. (2014a) estudaram as cultivares Miúda, Redonda e Gigante sob adensamento de plantio (10, 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹)

em condições de sequeiro, e observaram que houve resposta positiva e quadrática ao cultivo adensado testado.

Contudo, Teles et al. (2002) já alertavam que sob maiores adensamentos de plantas, o manejo de adubação é essencial, por ocorrer maior demanda de nutrientes extraídos do solo, sendo necessária a reposição nutricional para sustentabilidade do palmal.

Desta forma, elevados adensamentos e níveis de adubação orgânica foram avaliados por Sales et al. (2013), que testaram 50, 100 e 150 mil plantas ha⁻¹ na palma Gigante, e observaram que com 100.000 plantas por hectare, a produtividade de matéria verde, a eficiência de utilização do adubo orgânico e o índice de área de cladódio foram maiores nas condições ambientais do experimento.

Silva et al. (2016a) testando 20, 40, 80 e 160 mil plantas ha⁻¹ com a cultivar IPA-20 (*Opuntia ficus-indica* Mill), verificaram maior rendimento com o aumento populacional da palma sob aplicação de 80 Mg ha⁻¹ de esterco por dois anos, sendo as produtividades de matéria seca de 61; 90; 117 e 139 Mg ha⁻¹ em dois anos, respectivamente nas densidades testadas.

Souza et al. (2017) avaliaram a produtividade e a concentração de nutrientes na palma Miúda sob diferentes níveis de adubações nitrogenada e fosfatada nas e densidades de plantio de 5.000 e 40.000 plantas ha⁻¹. Foi verificado que o adensamento elevou o rendimento, mas diminuiu os teores de N e P da planta. Assim, os autores indicaram que a associação de altas densidades de plantas com fertilização química é necessária para elevar a produção por área e atender a manutenção dos níveis adequados de nutrientes da palma Miúda.

Por fim, o estudo da morfologia na palma forrageira pode indicar se o crescimento das plantas sofre impacto do manejo imposto nas condições de estudo, pois a relação entre características morfológicas e a produtividade de forragem, envolve aspectos importantes para entendimento das respostas da palma forrageira às condições do ambiente de cultivo.

Assim, há lacunas quanto à diversos segmentos na pesquisa da palma forrageira, por exemplo, sobre quais adensamentos e arranjos de plantio são mais adequados para as novas cultivares disponíveis. Essas informações são mais escassas especialmente sob sistemas de irrigação, principalmente utilizando água salinas. Os diversos

questionamentos objetivam eficiência na utilização dos recursos naturais, matérias primas e insumos visando produtividade do palmar num sistema sustentável.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amador, B.M.; Avila, A.C.; Dieâguez, E.T.; Garibay, A.N.; Jones, H.G. Effects of NaCl salinity on growth and production of young cladodes of *Opuntia ficus-indica*. Journal Agronomy e Crop Science. v.187, p.269-279, 2001.

Amorim, D.M.; Silva, T.G.F.; Pereira, P.C.; Souza, L.S.B.; Minuzzi, R.B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.47, n.1, p.62-71, 2017.

Amorim, J.R.A.; Cruz, M.A.S.; Resende, R.S.; Bassoi, L.H.; Silva Filho, J.G. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no Perímetro Irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe. Boletim de Pesquisa. (61). Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2010. 17 p.

Araújo Filho, J.A. Manejo pastoril sustentável da caatinga. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013. 200 p.

Araújo, M.B.F.; Machado, N.A.F.; Andrade, H.A.F.; Leite, M.R.L.; Pinheiro, J.B.S.; Matos, R.R.S.S. Produtividade da bananeira ‘Nanicão’ sob doses de cloreto de potássio associado a cobertura do solo em Chapadinha, MA Revista Trópica, v.10, n.2, p.41-49, 2018.

Assis, J.G.A.; Resende, S.V.; Bellintani, M.V.; Coelho, P.J.A.; Correia, D.; Marchi, M.N.G.; Cruz, B.M.; Nahoum, P.I.V.; Menezes, M.O.T.; Meiado, M.V. Conservação ex situ. In: Silva, S.R.; Zappi, D.; Taylor, N.; Machado, M. (Orgs.). Plano de ação nacional para a conservação das Cactáceas. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO, 2011. p.44-54. (Série Espécies Ameaçadas, 24).

Consoli, S.; Inglese, G.; Inglese, P. Determination of Evapotranspiration and Annual Biomass Productivity of a Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.)] Orchard in a Semiarid Environment. Journal of irrigation and drainage engineering. v.139, p.680-890. 2013.

Correia, R.C.; Kiill, L.H.P.; Moura, M.S.B.; Cunha, T.J.F.; Jesus, L.A.; Araújo, J.J.L.P. A região semiárida brasileira. Cap. 1, p.21/48. In: Kill, L.H.P.; Menezes, E.A. (Orgs.). Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semiárido brasileiro. 1ªed.Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2005, v.1.

Cortez, J.W.; Nagahama, H.J.; Olszewski, N.; Patrocínio Filho, A.P.; Souza, E.B. Umidade e temperatura de argissolo amarelo em sistemas de preparo e estádios de desenvolvimento do milho. Revista Engenharia Agrícola, v.35, n.4, p.699-710, 2015.

Coutinho, M.J.F.; Carneiro, M.S.D.S.; Edvan, R.L.; Pinto, A.P.A. A pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro. *Revista Veterinária e Zootecnia*. v.20. n.3, p.1-9. 2013.

Cunha, E.Q.; Stone, L.F.; Moreira, J.A.A.; Ferreira, E.P.B; Didonet, A.D.; Leandro, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.589-602, 2011.

Dantas, J.O.; Santos, M.J.C.; Santos, F.R.; Pereira, T.P.B.; Oliveira, A.V.S.; Araújo, C.C.; Passos, C.S.; Rita, M.R. Levantamento da entomofauna associada em sistema agroflorestal. *Revista Scientia Plena*. v.8, n.44, p.1-8, 2012.

De Kock, G.C. The use of *Opuntia* as a fodder source in arid areas of Southern Africa. 2001. Disponível em <<http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2808E/y2808e0f.htm>>. Acesso em 02 de julho de 2019.

Diniz, W.J.S.; Silva, T.G.F.; Ferreira, J.M.S.; Santos, D.C.; Moura, M.S.B.; Araújo, G.G.L.; Zolnier, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.52, n.9, p.724-733, 2017.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V. F.; Mello, A.C.L.; Santos, D.C.; Cunha, M.V; Lira, M.A.; Andrade, M.A; Silva, M.C. Forage potential of cacti on drylands. *Acta Horticulturae*, (ISHS). v.1067, p.181-186, 2015.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V.F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds). *A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. 1. Recife. Ed.UFPE, p.105-128, 2005.

Dubeux Jr., J.C.B.; Silva, N.G.M.; Santos, M.V.F.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Pessoa, R.A.S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira Clone IPA-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.5, n.1, p.129-135, 2010.

Duque, J.G. Solo e água no polígono das secas. 6ª ed. – Fortaleza: Banco do Nordeste, 2004. 334 p.

Farias, I.; Santos, D.C.; Dubeux Jr., J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds.) *A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Universitária: UFPE, p.81-103, 2005.

Felker, P.; Inglese, P. Short-Term and Long-Term research needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Utilization in arid areas. *Journal of Arid Environments*. v.5, p.131-152, 2003.

Ferreira, M.A.; Bispo, S.V.; Rocha Filho, R.R.; Urbano, S.A.; Costa, C.T.F. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In: Konvalina, P. (ed.) *Agricultural and Biological Sciences. Organic Farming and Food Production*, v.8, p.169-189, 2012.

Freire, J.L.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Bezerra Neto, E.; Lira, M.A.; Cunha, M.V.; Santos, D.C.; Amorim, S.O.; Mello, A.C.L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, n.4, p.3893-3900, 2018.

Freire, M.B.G.S.; Freire, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R.F.; Alvarez V.H.; Barros, N.F. et al. (eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, cap.16, p.929-954, 2007.

Hernández, A.F.; Castillo, I.O.; Amador, B.M.; Hernandez, J.L.G.; Dieguez, E.T. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water Management*. v.70. p.97-107, 2004.

Hoffmann, W.; Etnobotânica. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Barrios, E.P. (Eds) *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. João pessoa: SEBRAE/PB. 2001. 216 p.

Holanda, F.S.R.; Marciano, C.R.; Pedrotti, A.; Aguiar, J.F.; Santos, V.P. Recuperação de áreas com problemas de salinização. *Informe Agropecuário*. EPAMIG. v.22, n.210, p.57-61. 2001.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Área Territorial Brasileira. Censo 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/default_territ_area.shtm>. Acesso em 02 de julho de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo Agropecuário 2017 - Resultados preliminares. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/pesquisa/24/0>>. Acesso em 02 de julho de 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em 02 de julho de 2019.

Jacomine, P.T.K. Solos sob Caatinga: Características e uso agrícola. In: Alvarez V.V.H.; Fontes, L.E.F.; Fontes, M.P.F. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo:

Lima, G.F.C.; Rêgo, M.M.T.; Aguiar, E.M.; Silva, J.G.M.; Dantas, F.D.G.; Guedes, F.X.; Lôbo, R.N.B. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Nopalea* forage cactus. *Acta Horticulturae (ISHS)*. v.1067, p.253-258, 2015.

Lima, G.F.C.; Rêgo, M.M.T.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, R.N.B.; Silva, J.G.M.; Aguiar, E.M. 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.; Rêgo, M.M.T.; Silva, J.G.M.; Aguiar, E.M.; Dantas, F.D.G.; Guedes, F.X.; Novaes, L.P. Situación actual de las técnicas de producción de nopal forrajero en Brasil:

avances y limitaciones. In: Jacobo, M.C. (Ed). Simposio Internacional Tuna Nopal. 1., 2013. Puebla: Resumos... SAGARPA, 2013. p. 94-105.

Lira, M.A.; Farias, I.; Santos, D.C.; Dubeux Jr, J.C.B.; Mello, A.C.L.; Santos, M.V.F. Cactus forage and semiarid sustainability. *Acta horticulturae*. v.811, p.327-331, 2009.

Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Farias, I.; Cunha, M.V.; Santos, D.C. Meio século de pesquisa com a palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) - Ênfase em manejo. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia. 16. 2006. Recife: Anais... ZOOTEC, 2006. 22 p. Disponível em: <<http://www.abz.org.br/publicacoes-tecnicas/anais-zootec/palestras/3729-Meio-Sculo-Pesquisa-com-Palma-Forageira-Opuntia-Nopalea---Enfase-Manejo.html>>. Acesso em 04 de julho de 2019.

Lopes, L.A.; Cardoso, D.B.; Camargo, K.S.; Silva, T.G.P.; Souza, J.S.R.; Silva, J.R.C.; Morais, J.S.; Araújo, T.P.M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. *PUBVET*, v.13, n.2, a277, p.1-10, 2019.

Malvezzi, R. Semiárido - uma visão holística. Brasília; CONFEA, 2007. p.9-21, 140 p.

Medeiros, J.F.; Gheyi, H.R. Costa, A.R.F.C.; Tomaz, A.V.Q. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F.; Gomes Filho, E. (Org.). Manejo da Salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. Ed. Fortaleza: Inctsal, 2016. v.1, p.318-335.

Melo, A.A.S.; Ferreira, M.A.; Vêras, A.S.C.; Lira, M.A.; Lima, L.E.; Vilela, M.S.; Melo, E.O.S.; Araújo, P.R.B. Substituição parcial do farelo de soja por ureia e palma forrageira (*Opuntia fícus indica* Mill) em dietas para vacas em lactação. I. Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.3, p.727-736, 2003.

Morais, J.E.F.; Silva, T.G.F.; Queiroz, M.G.; Araújo, G.G.L.; Moura, M.S.B.; Araújo Jr., G.N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.4, p.273-278, 2017.

Nobel, P. S. Recent ecophysiological advances of *Opuntia fícus-indica* and other cacti. In: Annual Conference of the Professional Association for cactus development, 1.1995. San Antonio. Abstracts... Proceedings. Dallas: Professional Association for cactus development, 1995. p. 1-11.

Nobel, P.S. *Biologia Ambiental*. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Barrios, E.P. (Eds) *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. João pessoa: SEBRAE/PB. 2001. 216 p.

Oliveira, L.B.; Ribeiro, M.R.; Ferreira, M.G.V. X.; Lima, J.F.W.F.; Marques, F.A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, p.1477-1486, 2002.

Oliveira, V.S.; Ferreira, M.A.; Guim, A.; Modesto, E.C.; Lima, L.E.; Silva, F.M. Substituição total do milho e parcial do feno do capim-tifton por palma forrageira em

dietas para vacas em lactação. Produção, composição do leite e custos com alimentação. Revista Brasileira de Zootecnia, v.36, n.4, p.928-935, 2007.

Pinheiro, K.M.; Silva, T.G.F.; Carvalho, F.S.; Santos, J.E.O.; Moraes, J.E.F.; Zolnier, S.; Santos, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.49, n.12, p.939-947, 2014.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. Atlas do desenvolvimento humano e IDH do Brasil. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/consulta/>>. Acesso em 01 de agosto de 2019.

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.

Queiroz, M.G.; Silva, T.G.F.; Zolnier, S.; Silva, S.M.S.; Souza, C.A.A.; Carvalho, H.F.S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. Irriga, Ed.Esp.:p.141-154, 2016.

Rêgo, M.M.T.; Lima, G.F.C.; Silva, J.G.M.; Guedes, F.X.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, 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.

Ribas, G.G.; Streck, N.A.; Silva, S.D.; Rocha, T.S.M.; Langner, J.A. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. Revista Engenharia Agrícola, v.35, n.5, p.817-828, 2015.

Ribeiro, M.R.; Freire, F.J.; Montenegro, A.A.A. Solos halomórficos no Brasil: caracterização, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: Curi, N.; Marques, J. J.; Guilherme, L.R.G. et al. (Orgs). Tópicos em Ciência do Solo. v.3, p.165-208. 2003.

Rodriguez, J.M.P.; Velázquez, J.C.; González, S.S.; Aguirre, J.R.; García, J.C.; Álvarez, G.; Jasso, Y. Effects of cladode age on biomass yield and nutritional value of intensively produced spineless cactus for ruminants. South African Journal of Animal Science. v.40, n.3, p.245-250, 2010.

Ruiz, H.A.; Sampaio, R.A.; Oliveira, M.; Venegas, V.H.A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, n.11, p.1119-1126, 2004.

Sales, A.T.; Leite, M.L.M.V.; Alves, A.Q.; Ramos, J.P.F.; Nascimento, J.P. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. Tecnologia e Ciência Agropecuária, v.7, n.1, p.19-24, 2013.

Sampaio, E.V.S. Fisiologia da palma. In: Menezes R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds). A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. UFPE, p.43-56, 2005.

Santos, D.C.; Farias, I.; Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Arruda, G.R.; Coelho, R.S.B.; Dias, F.M.; Melo, J.N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2006. 48 p.

Santos, D.C.; Silva, M.C.; Dubeux Jr., J.C.B.; Lira, M.A.; Silva, R.N. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: Novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. Revista Científica de Produção Animal, v.15, n.2, p.111-121, 2013.

Santos, J.R.C.; Fernandes, C.N.V.; Filho, J.N.O.; Silva, A.R.A.; Fernandes, J.N.V.; Saraiva, K.R. Adubação nitrogenada e cobertura do solo no cultivo da alface irrigada. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.12, n.1, p.2327-2337, 2018.

Scalisi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Lo Bianco, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. Environmental and Experimental Botany. v.122, p.158-167, 2016.

Silva, A.G.; Costa, F.B. Os estabelecimentos rurais de menor porte econômico do semiárido nordestino frente às novas tendências da agropecuária brasileira. In: Buainain, A.M.; Alves, E.; Silveira, J.M. et al. (Eds). O mundo rural no Brasil do século 21: a formação de um novo padrão agrário e agrícola. Brasília: Embrapa. p.950-977, 2014.

Silva, J.A.; Donato, S.L.R.; Donato, P.E.R.; Souza, E.S.; Padilha Jr., M.C.; Silva Jr., A.A. Yield and vegetative growth of cactus pear at different spacings and under chemical fertilizations. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.20, p.564-569, 2016.

Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Viegas, P.A.A.; Muniz, E.N.; Rangel, J.H.A.; Moreira, A.L.; Backes, A.A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. Ciência Rural, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014a.

Silva, N.G.M.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Cunha, M.V.; Lira, M.A.; Ferraz, I. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. Revista Caatinga, v.29, n.4, p.976-983, 2016a.

Silva, T.G.F.; Primo, J.T.A.; Moura, M.S.B.; Silva, S.M.S.; Morais, J.E.F.; Pereira, P.C.; Souza, C.A.A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.50, n.7, p.515-525, 2015.

Silva, T.G.F.; Primo, J.T.A.; Silva, S.M.S.; Moura, M.S.B.; Santos, D.C.; Silva, M.C.; Araújo, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro. Bragantia, v.73, n.2, p.184-191, 2014.

Snyman, H.A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. South Africa Journal of Botany, v.72, p.434-441, 2006.

Sousa, P.G.R.; Viana, T.V.A.; Carvalho, C.M.; Sousa, A.M.; Costa, C.P.M.; Azevedo, B.M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, p.1528-1537, 2017.

Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. Resolução nº 115, de 23/11/2017.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.

Teles, M.M.; Mércia Virgínia Ferreira dos Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R.L.C.; Lucena, J.E.C.; Lira, M.A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.52-60, 2002.

Tobias, H.M.R.; Rivera, J.R.A.; Rodriguez, J.M.P. Nopalito and forage productivity of *Opuntia* spp. and *Nopalea* sp. (Cactaceae) growing under greenhouse hydroponics system. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. v.8, n.3 e 4, p.660-665, 2010. Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 96-111.

Van Donk, S.J.; Martin, D.L.; Irmak, S.; Melvin, S.R.; Petersen, J.L.; Davison, D.R. Crop residue cover effects on evaporation, soil water content, and yield of deficit-irrigated corn in west-central Nebraska. *Transactions of the ASABE*, v.56, p.1787-1797, 2010.

Véras, R.M.L.; Ferreira, M.A.; Cavalcanti, C.V.A.; Véras, A.S.C.; Carvalho, F.F.R.; Santos, G.R.A.; Alves, K.S.; Maior Jr., R.J.S. Substituição do milho por farelo de palma forrageira em dieta de ovinos em crescimento. Desempenho. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.34, n.1, p.249-256, 2005.

Wanderley, W.L.; Ferreira, M.A.; Andrade, D.K.B.; Véras, A.S.C.; Farias, I.; Lima, L.E.; Dias, A.M.A. Palma forrageira (*Opuntia ficus indica*, Mill) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.)) na alimentação de vacas leiteiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.273-281, 2002.

Wazilewski, W.T.; Werner, O.V.; Medeiros, M. Influência da temperatura do perfil do solo no desenvolvimento da cultura da soja na região oeste do Paraná. *Cultivando o Saber*, v.3, p.66-76, 2011.

Zegbe, J.A.; Pérez, A.S. Irrigation options to save water while enhancing export-size fruit and storability of 'Smooth Red' cactus pear. *Journal Science Food Agriculture*, v.98, p.5503-5508, 2018.

CAPÍTULO 2

Respostas morfofisiológicas e produtivas da palma forrageira a níveis de salinidade na água de irrigação e cobertura do solo com resíduo orgânico

CAPÍTULO 2

Respostas morfofisiológicas e produtivas da palma forrageira a níveis de salinidade na água de irrigação e cobertura do solo com resíduo orgânico

RESUMO

A palma forrageira quando cultivada sob altas temperaturas noturnas, necessita de complementação hídrica. O uso de água salina é uma alternativa, desde que sob estratégias de manejo. Objetivou-se avaliar os efeitos de níveis de salinidade da água (0,1; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 dS.m⁻¹) e da cobertura do solo com casca de arroz sobre a morfofisiologia e a produtividade da palma forrageira IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) sob complementação hídrica, por dois ciclos anuais. O experimento foi conduzido em Apodi-RN, Brasil. Os tratamentos foram casualizados em blocos em faixas (strip-plot). Os níveis de salinidade foram aplicados nas parcelas, e, a cobertura do solo (presença ou ausência), nas subparcelas, distribuída em faixas, com quatro repetições. A lâmina de irrigação média por gotejamento foi de 4,0 mm semana⁻¹. Os dados de morfofisiologia e produtividade foram submetidos a análise de variância, de regressão e teste de médias, a 5% de probabilidade. A interação entre os níveis de salinidade e os anos foi significativa (P<0,05) para as produtividades de matéria verde (PMV) e seca (PMS), eficiência do uso da água (EUA) e espessura dos cladódios, com resposta negativa aos maiores níveis de sais no primeiro ano e ausência de efeitos no segundo ano (117 e 7 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de PMV e PMS, respectivamente). Houve interação significativa entre a cobertura do solo e o ano para a proporção das ordens de cladódio na PMS. A cobertura do solo promoveu maior PMV (96 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), número de cladódios por planta (10 unidades), espessura (2,1 cm) e área dos cladódios (323 cm²) e menor teor de matéria seca (MS = 78 g kg⁻¹). O segundo ciclo de produção favoreceu a altura (74 cm) e largura (89 cm) das plantas, número de cladódios (11 unidades), espessura (2,39 cm), perímetro (72 cm), comprimento (31 cm), largura (15 cm) e área de cladódios (323 cm²), mas o teor de MS foi menor (59 g kg⁻¹). Neste sentido, o segundo ciclo produtivo proporcionou plantas e cladódios maiores. A casca de arroz e água salina poderiam ser utilizadas, desde que sob manejo e monitoramento semelhantes aos aplicados neste ensaio, isto é, reposição

constante da cobertura de solo, água salina de características similares, complementação hídrica e em solo com satisfatória drenagem.

Palavras-chave: complementação hídrica, condicionador orgânico, forragem, *Nopalea*, semiárido

Morphophysiological and productive responses of spineless forage cactus to salinity levels in irrigation water and soil cover with organic residue

ABSTRACT

Spineless forage cactus when grown under high night temperatures requires water complementation, and the use of saline water is an alternative, provided under management strategies. The objective of this study was to evaluate the effects of water salinity levels (0.1, 2.5, 5.0, 7.5 and 10 dS.m⁻¹) and soil cover with rice husk on morphophysiology and productivity of spineless cactus cultivar IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) under water complementation for two annual cycles. The trial was conducted in Apodi-RN, Brazil. The treatments were randomized in blocks with strips (strip-plot). The salinity levels were applied in the plots, and the soil cover (presence or absence) in the subplots, distributed in strips, with four replicates. The average drip irrigation depth was 4.0 mm week⁻¹. The morphophysiology and productivity data were subjected to analysis of variance and regression, and mean test, at 5% probability. The interaction between salinity levels and years was significant (P <0.05) for fresh (FMP) and dry matter productivity (DMP), water use efficiency (WUE) and cladode thickness, with negative response to higher salt levels in the first year and absence of effects in the second year (117 and 7 Mg ha⁻¹ year⁻¹ of FMP and DMP, respectively). There was significant influence of the interaction between soil cover and years for the contribution of cladode orders in DMP. The soil cover promoted higher FMP (96 Mg ha⁻¹ year⁻¹), number of cladodes per plant (10 units), thickness (2.1 cm) and cladode area (323 cm²) and lower dry matter content (DM = 78 g kg⁻¹). The second production cycle favored plant height (74 cm) and width (89 cm) of the plants, number of cladodes (11 units), thickness (2.39 cm), perimeter (72 cm), length (31 cm), width (15 cm) and cladode area (323 cm²), but the DM content was lower (59 g kg⁻¹). In this sense, the second productive cycle provided larger plants and cladodes. Rice husk cover and saline water could be used, provided they are under similar management and monitoring conditions as those applied in this trial, with constant replacement of soil cover, saline water of similar characteristics, water complementation and soil with satisfactory drainage.

Key words: forage, hidric complementation, *Nopalea* spp., organic conditioner, semi-arid

INTRODUÇÃO

O cultivo da palma forrageira tem sido empregado em várias áreas do Semiárido no Brasil, com resultados expressivos, haja vista sua resistência às condições semiáridas, satisfatória produtividade (Dubeux Jr. et al., 2015) e seu estratégico valor nutricional como fonte de energia e água (Ferreira et al., 2012). Trata-se de uma planta xerófita, adaptada às condições do semiárido, de elevada eficiência do uso da água, em função de seu metabolismo MAC - metabolismo ácido das crassuláceas (Taiz et al., 2017).

No início do século XXI, a praga da cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockrell) dizimou vastos palméis no Nordeste brasileiro. Atualmente são conhecidos cultivares resistentes ao inseto, como a IPA Sertânia (*Nopalea* spp.), conforme Santos et al. (2013).

Outro fato relevante, em alguns locais do semiárido, notadamente em áreas de baixa altitude, em que as noites são quentes e de baixa umidade relativa do ar, é que esse ambiente se torna limitante para o desenvolvimento da palma forrageira, podendo ocasionar murcha severa dos cladódios e até a morte das plantas (Lima et al., 2015).

Contudo, esse quadro de desidratação intensa, pode ser revertido quando se utiliza irrigação, como complementação hídrica, com quantidades mínimas de água por métodos localizados. Esta tecnologia tem viabilizado o cultivo da palma em áreas onde a cultura nunca havia prosperado (Lima et al., 2016). Rêgo et al. (2014) obtiveram produtividade de matéria seca acima de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ no Rio Grande do Norte, Brasil, com lâmina de irrigação de 20 mm mês⁻¹.

É pequeno o volume de água que tem se utilizado na irrigação de palma, da ordem de 50 a 75 m³ ha⁻¹ mês⁻¹, conforme utilizado por Rêgo et al. (2014) e Lima et al. (2016). Esta quantidade muitas vezes é requerida para apenas um dia por culturas tradicionais, como o milho.

Nas zonas semiáridas em todo mundo, a quantidade e qualidade de água para irrigação são limitantes, e muitas fontes de água são salinas (FAO, 2011). Neste sentido, torna-se importante avaliar fontes alternativas como poços de baixa vazão e de água salina, açudes e outras estruturas semelhantes.

Em relação à utilização de água salina na complementação hídrica da palma, a literatura descreve que a planta apresenta sensibilidade ao estresse salino. Véliz et al.

(2007) cultivaram *Opuntia ficus-indica* em sistema de hidroponia e estudaram o efeito do NaCl nas concentrações de 0, 50, 100 e 150 mols m⁻³ por 75 dias. Os autores observaram que a salinidade afetou negativamente o volume dos órgãos aéreos das plantas, notadamente no maior nível salino. Por outro lado, a pesquisa também registrou algum mecanismo de adaptação da palma, haja vista que nos menores teores de sal, as respostas foram atenuadas.

Em condições de campo, Lima et al. (2016) obtiveram produtividades acima de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca com palma Miúda, monitorada por seis anos, sob cortes anuais, irrigada com água salina de condutividade elétrica (CE) superior a 5 dS.m⁻¹ e classificada como C₄S₁T₃, considerada de muito alta salinidade e de níveis elevados de cloreto. Nadaf et al. (2018) cultivaram 33 acessos de *Opuntia* spp. sob água salina (5,37 a 14,75 dS.m⁻¹), num sistema de gotejo em ambiente árido (Omã, península árabe), por três anos, e verificaram potencial da cultura sob estresse salino, que apresentou PMS entre 4 a 33 Mg ha⁻¹ ano⁻¹. Dessa forma torna-se necessário a realização de outros ensaios à nível de campo para avaliar essa possibilidade, sobretudo com outras cultivares.

Uma outra questão relativa ao uso de águas salinas na irrigação é o risco da salinização dos solos. Todavia, há técnicas disponíveis para diminuir os efeitos do excesso de sais solúveis e/ou sódio trocável, destacadamente o uso de condicionadores via matéria orgânica (Amorim et al., 2010). Freire e Freire (2007) sugerem a casca de arroz (*Oryza* spp.) para esta finalidade.

A matéria orgânica também é utilizada como cobertura de solo nos cultivos, podendo reduzir as perdas de água por evaporação e modificando o microclima do ambiente no solo. Os benefícios dessa prática são reportados na literatura. Diminuição da temperatura e manutenção da umidade no solo são as principais vantagens de sua aplicação (Souza et al., 2017). Também protegem o solo da erosão e dos raios solares (Cunha et al., 2011). E ainda, agregam as partículas do solo, controla as plantas daninhas e diminui a ocorrência de pragas (Santos et al., 2018).

Diferentes materiais podem ser usados como cobertura morta. Amorim et al. (2017) observaram que, no cultivo de palma forrageira com cobertura morta (capim Elefante triturado), houve incremento na taxa de acúmulo mensal de matéria seca de forragem.

Com base nestas questões do estresse salino, busca-se dados no cultivo da palma forrageira, quanto às implicações da salinidade da água de irrigação nesta cultura. O intuito é confrontar as respostas obtidas com os resultados da literatura. A partir de fatores como a utilização de complementação hídrica, em solos com satisfatória drenagem, e o monitoramento do sistema de produção, por dois ciclos anuais, presume-se que seja possível observar indicativos desses manejos aplicados.

Portanto, objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes níveis de salinidade da água da complementação hídrica, e da cobertura do solo com casca de arroz (*Oryza sativa*) sobre características morfofisiológicas e produtivas da palma forrageira cv. IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*), por dois ciclos produtivos anuais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Apodi, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no município de Apodi, Rio Grande do Norte, Brasil (Figura 1), latitude 5°37'29,2" Sul e longitude 37°48'53,9" Oeste, altitude de 132 m (Google Earth).

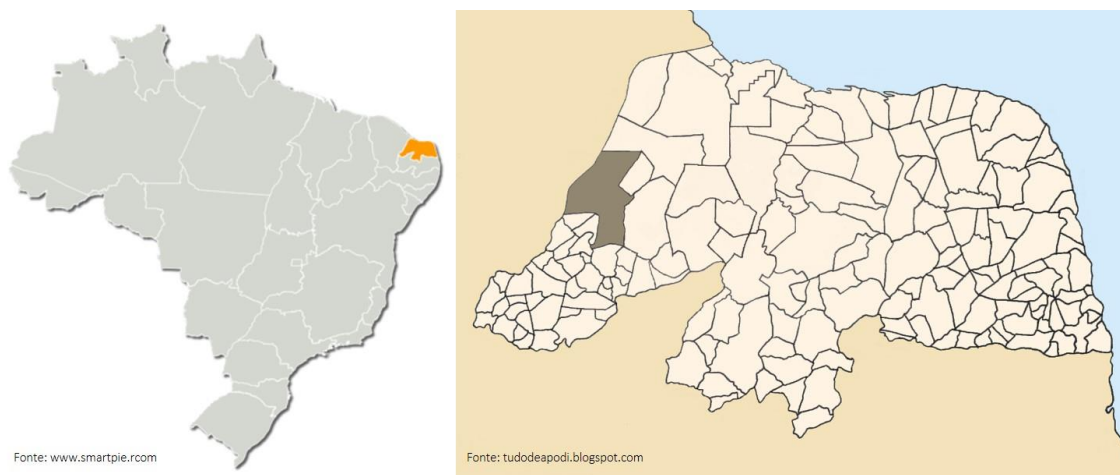


Figura 1. Mapas do Brasil-RN, RN-Apodi

Registros locais das características climáticas permitem apresentar as seguintes médias anuais: temperaturas máxima, média e mínima de 34; 28 e 23,5 °C, respectivamente; umidade relativa do ar de 74%, insolação de 3.163,7 h e evapotranspiração potencial de 2.340 mm (método de Thornthwaite, 1955) e precipitação

pluviométrica de 830 mm (INMET, 2018). Segundo a classificação de Köppen e Geiger, o clima é do tipo *Bsh*, semiárido quente (Alvares et al, 2013). A estação chuvosa ocorre no outono, com chuvas concentradas de março a maio (CPRM, 2005).

Foram registradas temperatura e umidade relativa do ar (Figuras 2 e 3), e de precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial (Figura 4), por meio de estação agrometeorológica do INMET, localizada a 200 m da área experimental.

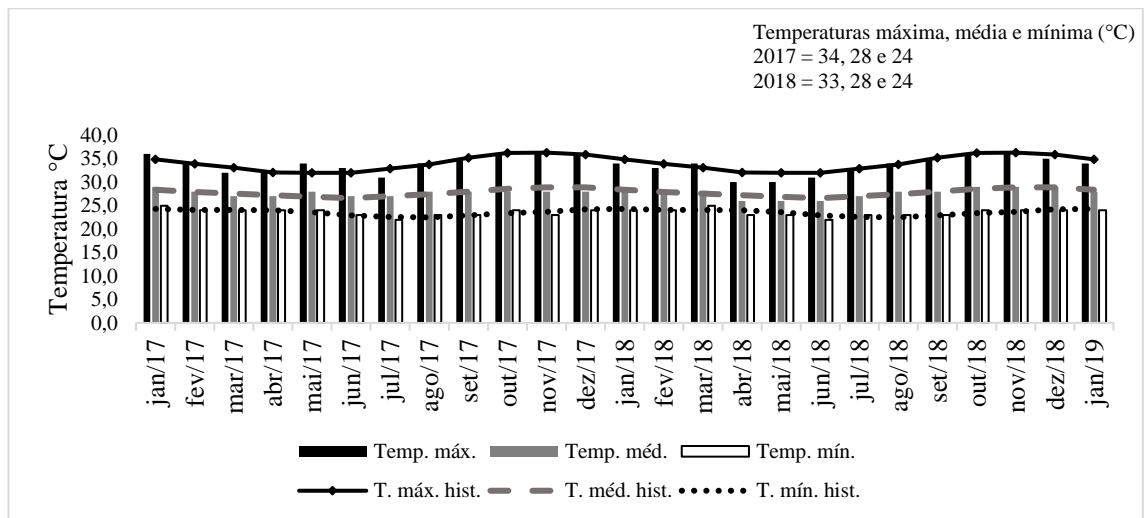


Figura 2. Temperaturas máxima, média e mínima média e histórica mensais da área experimental

Legenda: Temp. máx. = temperatura máxima; Temp. méd. = temperatura média; Temp. mín. = temperatura mínima; T. máx. hist. = Temperatura máxima histórica; T. méd. hist. = Temperatura média histórica; T. mín. hist. = Temperatura mínima histórica.
 Fonte: Adaptado de Inmet (2019)

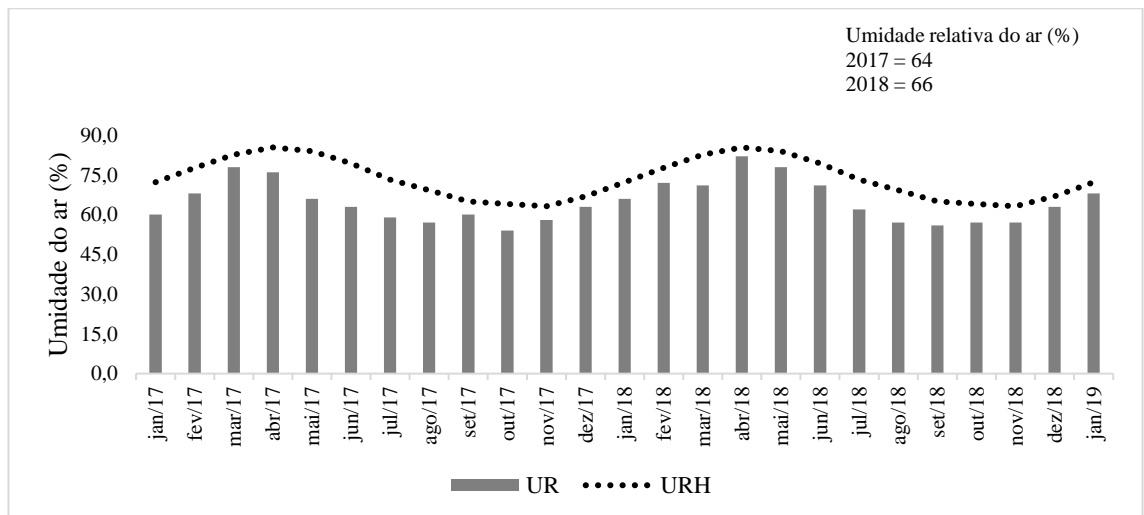


Figura 3. Umidade relativa do ar média e histórica mensais da área experimental

Legenda: UR = umidade relativa do ar; URH = umidade relativa do ar histórica.
 Fonte: Adaptado de Inmet (2019)

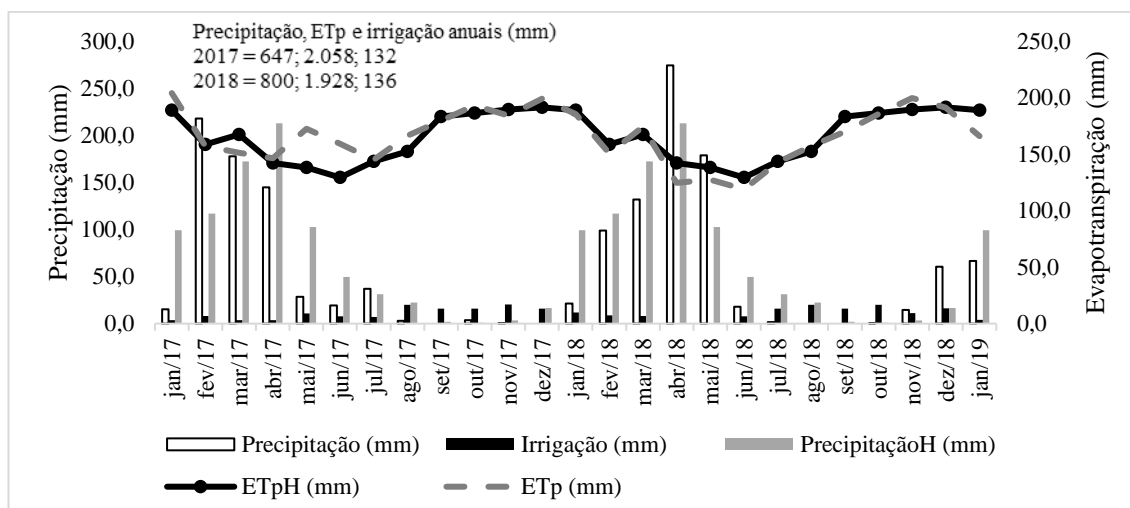


Figura 4. Precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial mensais e histórica e lâmina de irrigação mensal (mm) da área experimental

Legenda: ETp = Evapotranspiração potencial; ETpH = Evapotranspiração potencial histórica; PrecipitaçãoH = precipitação histórica
 Fonte: Adaptado de Inmet (2019)

A cultivar utilizada no experimento foi a IPA Sertânia, também conhecida como Mão-de-moça e Baiana (*Nopalea cochenillifera*), procedente do município de Russas, Ceará, Brasil. O plantio ocorreu em setembro de 2016. A área experimental apresentou dimensões de 45 m x 48 m (2.160 m²). Os cladódios foram plantados em fileiras simples (15 filas) no espaçamento de 3,0 m x 0,125 m, proporcionando densidade de 26.667 plantas ha⁻¹. Na ocasião, foi aplicado superfosfato simples no sulco, correspondendo a 90 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹, e após a primeira colheita, o correspondente a 60 kg de P₂O₅ ha⁻¹ ano⁻¹ a lanço, na linha de plantio.

Foram coletadas 20 amostras do solo da área experimental, antes da aplicação dos tratamentos, em dezembro de 2016, época seca do ano, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, e formou-se uma amostra composta por profundidade. As análises químicas e físicas foram conduzidas no Laboratório de Solos, Água e Plantas da EMPARN (

Tabela 1).

O período experimental compreendeu 24 meses, de janeiro de 2017 (quando os cladódios tinham enraizado e brotado as gemas ou iniciado o desenvolvimento dos cladódios primários), momento da aplicação do tratamento principal (irrigação salina), a janeiro de 2019, ocasião da segunda colheita anual. A aplicação do tratamento secundário (cobertura de solo com casca de arroz) ocorreu em março de 2017.

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área antes da instalação do experimento (12/2016)

Determinações	0-20 cm	0-40 cm
pH	5,98	5,97
N (g kg ⁻¹)	0,56	0,56
P (mg dm ⁻³)	4	5
K (cmolc dm ⁻³)	0,45	0,46
Ca (cmolc dm ⁻³)	5,25	5,88
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,88	2,13
Na (cmolc dm ⁻³)	0,16	0,16
Fe (mg dm ⁻³)	4,59	3,66
Zn (mg dm ⁻³)	0,90	0,64
Cu (mg dm ⁻³)	0,85	0,70
Mn (mg dm ⁻³)	4,47	7,70
B (mg dm ⁻³)	9,22	9,41
C (%)	0,29	0,18
Al (cmolc dm ⁻³)	0,00	0,00
H+Al (cmolc dm ⁻³)	2,01	1,76
CTCe (cmolc dm ⁻³)	7,74	8,63
CTCp (cmolc dm ⁻³)	9,75	10,39
V (%)	79	83
MO (g dm ⁻³)	5,00	3,10
CE (dS m ⁻¹)	0,0336	0,0346
PST (%)	1,64	1,54
Ds (kg dm ⁻³)	1,31	1,31
RU 1/3 θ_m (cc)	10,36	14,61
RU 15 θ_m (PMP)	6,81	9,48
Granulometria		
Areia (g kg ⁻¹)	614	543
Argila (g kg ⁻¹)	220	300
Silte (g kg ⁻¹)	166	157
Classificação textural	Franco argilo arenoso	Franco argilo arenoso

Legenda: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Fe = ferro; Zn = zinco; Cu = cobre; Mn = manganês; B = boro; Na = sódio; C = carbono; Al = alumínio; H+Al = hidrogênio + alumínio; CTCe = capacidade de troca de cátions efetiva; CTCp = capacidade de troca de cátions potencial a pH 7,0; V = porcentagem de saturação por bases; MO = matéria orgânica; pH em água (1:2,5); CE = condutividade elétrica extrato 1:5; PST (%) = porcentagem de saturação com sódio; Ds = densidade do solo; RU 1/3 = retenção umidade (1/3 de atmosfera); RU 15 = retenção umidade (15 atmosfera).

Fonte: EMPARN - Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (2016)

Para fins de monitoramento da composição química do solo, foram coletadas três amostras, na profundidade de 0-20 cm. 1ª) após a primeira colheita anual, cinco dias depois da irrigação, na época seca, fevereiro de 2018 (Tabela 2); 2ª) no final da época chuvosa, junho de 2018 (Tabela 3); e 3ª) logo após a segunda colheita anual, sem irrigação recente devido a ocorrência de chuvas, em fevereiro de 2019 (Tabela 4). Para tanto, foram retiradas 40 amostras da área experimental, misturadas e formadas 10 amostras compostas

correspondentes aos tratamentos estudados. As análises químicas e físicas foram conduzidas no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da EMPARN.

Mensalmente foram aplicados ureia e cloreto de potássio, à lanço, na linha de plantio, durante o período chuvoso, e via fertirrigação, no período seco, equivalentes a 300 kg de Nitrogênio e 100 kg de K_2O ha^{-1} ano^{-1} , respectivamente. O solo foi classificado como Cambissolo, com médios teores de Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), elementos importantes no controle da salinidade do solo. As fertilizações foram realizadas com base nos resultados analíticos e recomendação de Holanda et al. (2017). Não foi realizada a calagem, apesar da baixa saturação por bases, para evitar efeito do cálcio no controle da salinidade.

Tabela 2. Caracterização química do solo da área experimental após primeira colheita anual (02/2018)

	Condutividade elétrica da água de irrigação									
	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00
	Sem cobertura					Com cobertura				
pH	4,89	4,96	5,86	4,93	4,90	4,72	4,48	4,61	4,66	4,76
N (g kg ⁻¹)	0,39	0,50	0,50	0,56	0,56	0,56	0,67	0,67	0,67	0,56
P (mg dm ⁻³)	3	3	2	3	3	1	3	3	2	2
K (cmolc dm ⁻³)	0,42	0,21	0,31	0,28	0,22	0,41	0,36	0,27	0,26	0,24
Ca (cmolc dm ⁻³)	3,91	3,56	7,00	3,92	3,71	4,07	3,77	3,40	3,50	3,99
Mg (cmolc dm ⁻³)	2,50	2,68	5,44	2,78	2,65	2,33	2,30	2,10	2,30	2,43
Na (cmolc dm ⁻³)	0,24	1,63	1,34	2,59	2,35	0,29	1,44	2,06	1,92	2,83
B (mg dm ⁻³)	14,48	11,21	10,97	8,29	10,61	15,42	15,84	14,38	12,82	8,75
C (%)	0,87	1,19	0,96	1,15	0,68	0,74	1,37	0,93	1,02	1,23
Al (cmolc dm ⁻³)	0,16	0,11	0,00	0,05	0,05	0,48	0,42	0,21	0,37	0,16
H+Al (cmolc dm ⁻³)	4,63	3,75	2,62	4,10	3,23	4,45	5,24	4,19	4,02	4,10
MO (g dm ⁻³)	15,04	20,60	16,57	19,83	11,78	12,13	23,56	16,06	17,60	21,28
CE (dS m ⁻¹)	0,0506	0,3605	0,2420	0,7565	0,5921	0,0497	0,3006	0,5963	0,4751	0,7571
PST (%)	2,05	13,78	8,04	18,96	19,36	2,49	10,97	17,18	16,02	20,83
Ds (kg dm ⁻³)	1,25	1,33	1,28	1,25	1,26	1,29	1,31	1,29	1,36	1,37
RU 1/3 θ_m (cc)	13,46	11,95	15,15	12,41	11,51	14,74	14,91	12,70	14,85	13,72
RU 15 θ_m (PMP)	8,72	7,70	9,20	8,17	6,88	9,68	9,82	7,73	9,25	8,59

Legenda: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; B = boro; Na = sódio; C = carbono; Al = alumínio; H+Al = hidrogênio + alumínio; MO = matéria orgânica; pH em água (1:2,5); CE = condutividade elétrica suspensão 1:5; PST (%) = porcentagem de saturação com sódio; Ds = densidade do solo; RU 1/3 = retenção umidade (1/3 de atmosfera); RU 15 = retenção umidade (15 atmosfera);
 Fonte: EMPARN - Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (2018)

Tabela 3. Caracterização química do solo da área experimental na época das chuvas (06/2018)

	Condutividade elétrica da água de irrigação									
	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00
	Sem cobertura					Com cobertura				
pH	5,28	6,05	5,09	4,64	4,96	4,84	4,79	5,65	4,65	4,75
N (g kg ⁻¹)	0,50	0,62	0,56	0,56	0,62	0,62	0,56	0,62	0,56	0,62
P (mg dm ⁻³)	1	3	12	8	6	2	10	19	10	4
K (cmolc dm ⁻³)	0,33	0,31	0,26	0,46	0,24	0,34	0,28	0,22	0,31	0,19
Ca (cmolc dm ⁻³)	3,70	6,97	2,94	3,57	2,75	3,49	2,83	3,88	2,66	2,62
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,42	2,25	1,15	1,47	0,90	1,35	1,20	1,17	1,05	1,05
Na (cmolc dm ⁻³)	0,31	0,48	0,47	0,27	0,60	0,17	0,20	0,20	0,18	0,28
B (mg dm ⁻³)	10,02	21,57	7,57	10,07	9,95	9,38	12,75	17,10	10,71	8,36
C (%)	0,50	0,89	0,81	0,92	0,72	0,67	0,93	0,98	0,76	0,84
Al (cmolc dm ⁻³)	0,05	0,0	0,38	0,48	0,27	0,48	0,59	0,0	0,54	0,59
H+Al (cmolc dm ⁻³)	2,57	2,22	3,64	4,61	3,10	3,55	4,79	3,10	4,43	3,99
MO (g dm ⁻³)	8,75	15,63	14,10	16,07	12,55	11,69	16,26	17,18	13,35	14,69
CE (dS m ⁻¹)	0,1120	0,1050	0,1208	0,0926	0,2210	0,0729	0,0709	0,1223	0,0953	0,0880
PST (%)	3,71	3,91	5,55	2,60	7,86	1,95	2,15	2,33	2,12	3,43
Ds (kg dm ⁻³)	1,16	1,31	1,16	1,30	1,13	1,12	1,20	1,17	1,35	1,32
RU 1/3 θ_m (cc)	12,21	14,95	11,55	14,17	9,68	13,05	12,37	11,09	12,41	12,72
RU 15 θ_m (PMP)	7,84	9,09	7,83	8,56	6,95	8,73	8,33	7,00	7,92	8,00

Legenda: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; B = boro; Na = sódio; C = carbono; Al = alumínio; H+Al = hidrogênio + alumínio; MO = matéria orgânica; pH em água (1:2,5); CE = condutividade elétrica suspensão 1:5; PST (%) = porcentagem de saturação com sódio; Ds = densidade do solo; RU 1/3 = retenção umidade (1/3 de atmosfera); RU 15 = retenção umidade (15 atmosfera);
 Fonte: EMPARN - Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (2018)

Tabela 4. Caracterização química e física do solo da área experimental após segunda colheita anual (02/2019)

	Condutividade elétrica da água de irrigação									
	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00	0,00	2,50	5,00	7,50	10,00
	Sem cobertura					Com cobertura				
pH	4,8	5,6	4,6	4,9	4,8	4,3	4,4	4,4	4,4	4,6
N (g kg ⁻¹)	0,78	0,67	0,61	0,67	0,61	0,72	1,0	0,72	0,72	0,78
P (mg dm ⁻³)	2	6	14	5	6	4	38	45	22	9
K (cmolc dm ⁻³)	0,32	0,25	0,20	0,33	0,28	0,33	0,25	0,18	0,24	0,25
Ca (cmolc dm ⁻³)	3,58	4,60	2,62	3,60	2,89	2,99	2,72	2,16	2,73	2,43
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,50	1,47	0,97	1,27	1,02	1,17	0,90	0,90	1,10	0,97
Na (cmolc dm ⁻³)	0,20	0,49	0,56	1,28	0,73	0,21	0,51	0,44	0,61	0,58
B (mg dm ⁻³)	13,92	25,04	21,06	14,19	14,61	6,43	31,16	21,70	19,72	16,80
C (%)	0,62	0,81	0,69	0,77	0,81	0,80	1,87	0,95	1,26	1,24
Al (cmolc dm ⁻³)	0,15	0,0	0,49	0,10	0,15	0,78	0,44	0,74	0,44	0,44
H+Al (cmolc dm ⁻³)	3,07	2,51	3,72	3,24	3,24	4,45	5,10	4,45	4,45	4,21
MO (g dm ⁻³)	10,76	13,91	11,89	13,25	13,99	13,79	32,27	16,34	21,65	21,36
CE (dS m ⁻¹)	0,0562	0,1152	0,1022	0,3099	0,2111	0,0482	0,1492	0,1108	0,1713	0,1296
PST (%)	2,36	5,27	6,95	13,15	6,95	2,33	5,41	2,33	6,72	6,90
Ds (kg dm ⁻³)	1,30	1,26	1,23	1,28	1,27	1,27	1,08	1,26	1,14	1,47
RU 1/3 θ_m (cc)	9,46	9,04	8,52	9,07	8,86	10,70	11,03	9,97	10,75	9,42
RU 15 θ_m (PMP)	6,82	6,19	6,16	6,87	6,30	7,65	6,47	6,28	6,89	7,28
SB (cmolc dm ⁻³)	5,60	6,81	4,35	6,48	4,35	4,70	4,38	4,70	4,68	4,24
CTCe (cmolc dm ⁻³)	8,67	9,32	8,07	9,72	8,07	9,15	9,48	9,15	9,13	8,45
V (%)	64,60	73,08	53,92	66,68	53,92	51,38	46,21	51,38	51,25	50,16
m (SAI %)	1,73	0,00	6,07	1,03	6,07	8,52	4,64	8,52	4,82	5,21

Legenda: N = nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; B = boro; Na = sódio; C = carbono; Al = alumínio; H+Al = hidrogênio + alumínio; MO = matéria orgânica; pH em água (1:2,5); CE = condutividade elétrica suspensão 1:5; PST (%) = porcentagem de saturação com sódio; Ds = densidade do solo; RU 1/3 = retenção umidade (1/3 de atmosfera); RU 15 = retenção umidade (15 atmosfera); SB = soma por bases; CTCe = capacidade de troca de cátion efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Fonte: EMPARN - Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta (2019)

Devido intensa mortalidade na cultura no decorrer do período experimental, sobretudo no primeiro ano de cultivo, atingindo 33% das plantas nos estandes, acometidas pela podridão mole, causada por bactéria pectolítica. Por isso, foram retirados os cladódios e/ou plantas doentes, notadamente na época chuvosa, e replantados, durante o primeiro ano do experimento. Os cladódios-sementes foram tratados, antes do replantio, através da imersão dos mesmos em solução diluída com produto de ação antibiótica a base de Casugamicina (20 g L^{-1}), além de aplicação por pulverização nos sulcos reabertos e nas plantas. Ainda para controle da doença, foi aplicado fungicida/bactericida de hidróxido de cobre (538 g kg^{-1}) por meio de pulverização (3 g L^{-1}) nas plantas e nos sulcos em todo campo.

Em função desses episódios foi considerada a quantidade de plantas na ocasião do plantio, e, em toda a área, contabilizaram-se as mortas (quinzenalmente) e conferiu-se o valor das vivas no momento da colheita, estimando as densidades inicial (DIPH) e final (DFPH) de plantas por hectare, com base no espaçamento da cultura ($3,0 \times 0,125 \text{ m}$) e, posteriormente, calculada a mortalidade de plantas pela relação $[(DFPH-DIPH)/DIPH] \times 100$. Os resultados indicaram redução de 7% da população no campo ao final do ensaio, em relação ao início do ciclo, com base na metodologia de Silva et al. (2015a).

Foram registradas ocorrência de pragas (lagartas) e realizadas três intervenções químicas, nas épocas seca e chuvosa, através de pulverização com coquetel de inseticidas a base de Metomil (215 g L^{-1}) e Clorpirifós (480 g L^{-1}), sendo $3,5$ e $1,5 \text{ mL L}^{-1}$, respectivamente, na calda.

Durante o período experimental foram realizadas 11 pulverizações de combate à cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti* Bouché), a base de óleo mineral ou vegetal (mamona) mais detergente neutro a 2%, sobretudo no período seco, pontualmente nas primeiras plantas acometidas, e, em seguida, em todo campo.

Foram realizados controle manual de plantas invasoras (oito momentos), com enxada, entre as linhas de plantio e entre plantas, nos períodos de chuva e seca (início e final).

O delineamento experimental foi casualizado em blocos completos, em esquema de parcelas subdivididas em faixas (strip-plot). A parcela principal foi representada pelos níveis de salinidade da água de irrigação ($0,0$ - controle; $2,5$; $5,0$; $7,5$ e 10 dS m^{-1}) e, as subparcelas, foram constituídas pela presença ou ausência de cobertura do solo com

resíduo orgânico de casca de arroz, distribuída em faixas, com quatro repetições, totalizando 40 unidades experimentais (Figura 5). A distribuição em blocos foi devido a variação do meio, neste caso, presença de declividade do terreno.

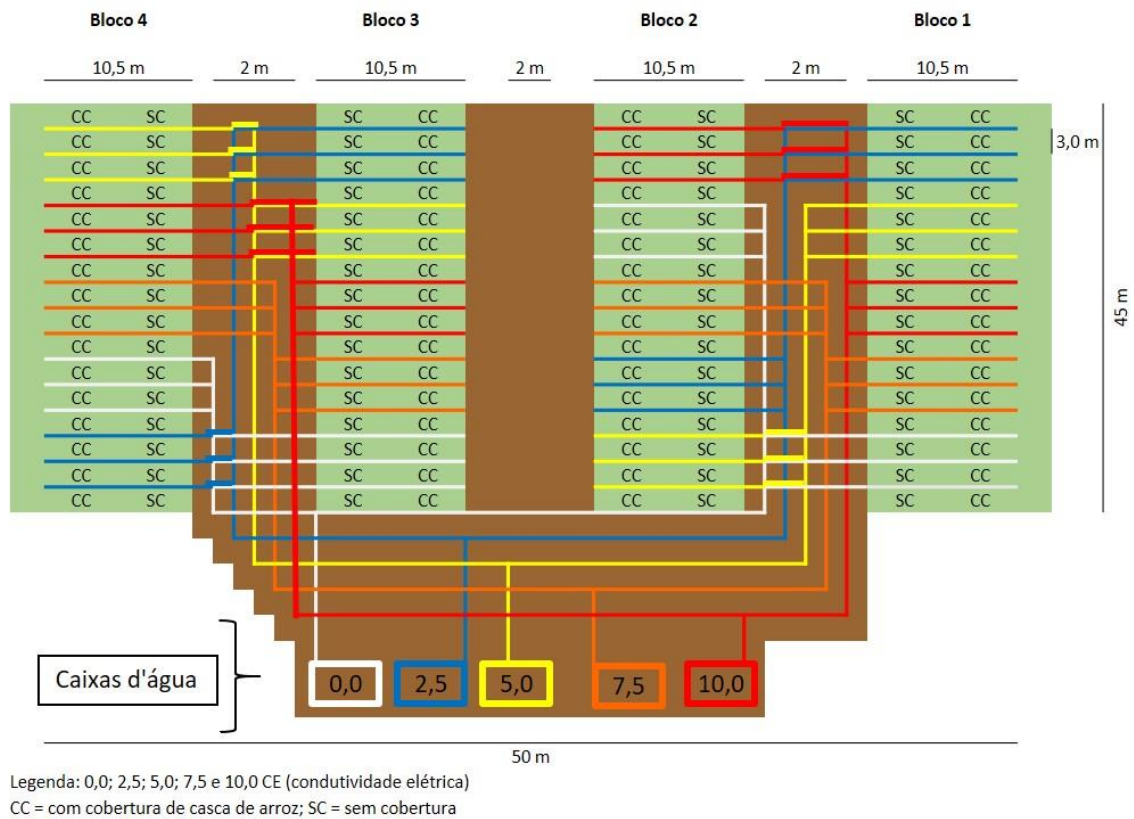


Figura 5. Croqui da área experimental

Cada parcela principal foi constituída por três fileiras simples de palma, com 10,5 m de comprimento e 3,0 m entre linhas (94,5 m²). A área útil de cada unidade experimental foi constituída das oito plantas (1,0 m) da parte central da fileira do centro da parcela.

Os níveis de salinidade foram representados por reconstituições de valores de condutividade elétrica (CE) de 2,5; 5,0; 7,5 e 10 dS m⁻¹ obtidos com adição de solução salina, composta por sulfato de magnésio (MgSO₄.7H₂O), cloreto de sódio (NaCl) e cloreto de cálcio (CaCl₂2H₂O) à água utilizada para irrigação. As massas dos sais aplicados na água de irrigação foram de 982, 2.005, 3.028 e 4.051 g m⁻³ de NaCl; de 353, 720, 1.087 e 1.454 g m⁻³ de CaCl₂ e de 295, 603, 910 e 1.218 g m⁻³ de MgSO₄ para os níveis de salinidade 2.5, 5.0, 7.5 e 10 CE, respectivamente. E, portanto, representando

cerca de 60, 22 e 18% nessa mesma ordem. As condutividades elétricas dessas águas foram medidas mensalmente por condutivímetro portátil, modelo HMCDP-150, por meio da imersão da célula medidora no reservatório hídrico de cada tratamento, após homogeneização do volume.

A água de abastecimento foi proveniente de um poço que explora o aquífero Arenito Açú de vazão de $30 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, localizado na Estação experimental. Este poço é do tipo tubular, revestido com tubo geomecânico de 6", com 150 m de profundidade.

O tipo de irrigação foi por gotejamento em fileiras simples, por fita do tipo gotejadora de pequena intensidade, de 15 mm de diâmetro, com vazão de $5 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e espaçamento entre os gotejadores de 30 cm. A vazão da fita após instalada e avaliada foi $4,1 \text{ L h}^{-1} \text{ m}^{-1}$. Foram realizadas inspeções, manutenção e substituição das mangueiras, tubulações e conexões nos dias de irrigação, quando as mesmas apresentavam problemas. Optou-se por este método devido a menor perda de água por evaporação.

Foi coletada amostra da água do poço utilizada no experimento para análise laboratorial. O resultado foi 6,8 de pH; composição em mmolc L^{-1} de 0,68 (Ca); 0,23 (Mg); 0,09 (K); 0,00 (CO_3^{2-}); 0,68 (HCO_3^-); baixos teores de sódio e cloreto (0,23 e 0,46 nesta ordem), condutividade elétrica de $0,11 \text{ dS m}^{-1}$, com relação de adsorção de sódio (RAS°) igual a 0,23; classificada como de baixa salinidade ($\text{C}_1\text{S}_3\text{T}_1$), sem restrições de uso para qualquer cultura, sob qualquer sistema de aplicação de água.

As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da EMPARN. Ressalta-se que, devido à baixa salinidade da água ($0,11 \text{ dS m}^{-1}$), optou-se por reportar $0,0 \text{ dS m}^{-1}$ na descrição dos níveis de salinidade estudados.

A complementação hídrica foi realizada por uma unidade operacional para cada tratamento de irrigação utilizado, com a água preparada e estocada em caixas (2.000 L) individuais e feito o bombeamento separadamente de cada recipiente. Cada unidade operacional continha registro para controlar o volume de água aplicado, filtro de discos e um hidrômetro.

A irrigação foi realizada de forma suplementar à precipitação, sendo fixada a cada sete dias, a partir da última chuva ocorrida. A lâmina fixa média real aplicada foi de $4,0 \text{ mm semana}^{-1}$ (16 mm mês^{-1}). O total de irrigações foi de 70 aplicações (37 no ano 1, e 33 no ano 2), durante o período experimental. Os volumes mensais foram apresentados na Figura 4.

A ocorrência de precipitações acima de 7 mm semanal ocasionou a suspensão da aplicação da irrigação prevista naquela semana. Quando ocorreu volume de chuva maior (período chuvoso), a suspensão da irrigação se estendeu proporcionalmente, por exemplo, acima de 14 mm, interrupção por duas semanas. O volume médio de água recebido na área experimental foi de 859 mm no ano 1, e de 1005 mm no ano 2, sendo 701,8 e 866,3 mm oriundo das chuvas (anos 1 e 2 respectivamente), e 157 e 139 mm procedente das irrigações nos anos 1 e 2, nessa ordem.

A lâmina aplicada no palmar baseou-se nos resultados satisfatórios de produção de palma forrageira obtidos por Dantas (2015) de volume médio próximo de 4 mm semana⁻¹. Considerou-se a evapotranspiração potencial (ETp) em Apodi (6,5 mm dia⁻¹), conforme Inmet (2018), e o atendimento de parte desta demanda. Foi considerado ainda o total de água aplicado, de aproximadamente, 40 m³ ha⁻¹ semana⁻¹, volume compatível com a baixa vazão média dos poços locais (1 m³ h⁻¹, segundo Feitosa e Diniz, 2011), os quais exploram o aquífero fraturado no cristalino, e, portanto, poderia ter uso replicado desse tipo de captação pelos produtores rurais no semiárido. Ponderou-se também a capacidade de armazenamento das caixas d'água disponíveis para o sistema de irrigação.

Foi utilizada casca de arroz como cobertura de solo. Esta prática foi empregada em função de seu principal benefício, manutenção da umidade do solo. Seu uso foi devido este material apresentar adequada composição química para este fim e estar disponível na localidade do experimento. A aplicação ocorreu em março de 2017, época chuvosa, em julho de 2017 e em janeiro de 2018, aproximadamente no início e final do período seco, respectivamente. A casca de arroz foi distribuída paralela à linha de plantio, em todo comprimento da subparcela (largura = 5,25 m), com uma largura de 1,0 m, sendo 0,5 m para cada lado da fila plantada, com aproximadamente 2,5 cm de altura. A quantidade aplicada baseou-se numa distribuição de forma que cobrisse o solo, de aproximadamente, 2,86 kg m⁻² de matéria verde (28,6 Mg ha⁻¹).

Antes da aplicação da casca de arroz, amostras foram coletadas para análises laboratoriais. A composição mineral foi realizada no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da EMPARN. Os resultados apresentaram, em média, 4,48; 0,65; 5,52; 0,48; 0,79 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Além de 1,05; 18,00; 7,00; 597,00 e 163,00 mg kg⁻¹ de Na, Zn, Cu, Fe e Mn, respectivamente.

A composição bromatológica foi analisada pelo Laboratório de Nutrição Animal da UFRN e apresentou os seguintes resultados (%): 91,98; 22,45; 77,55; 3,36; 0,59; 73,60; 65,28 e 61,55 de MS, MM, MO, PB, EE, CHOT, FDN, FDA, respectivamente e 20,85; 8,32; 0,16; 0,12; 3,73; 21,45; 40,10 e 0,92 de NDT, CNF, PIDA, PIDN, hemicelulose, lignina, celulose e ED (Mcal kg⁻¹), respectivamente.

Foram dispostos sacos de náilon contendo, aproximadamente, 85 g de amostra da casca de arroz na superfície do solo sobre a cobertura orgânica, em abril/2017, nas parcelas de condutividade 0,0 e 5,0 dS m⁻¹, para acompanhamento da decomposição do material. Considerou-se para fins de comparação, os tratamentos testemunha (0,0 dS m⁻¹) e o intermediário, que recebeu 5,0 dS m⁻¹. Os intervalos de retirada dos materiais foram 1, 8, 27, 64, 125, 216, 343 e 512 dias. A metodologia foi adaptada de Dubeux Jr. et al. (2006).

Posteriormente foram enviadas ao Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da EMPARN para as seguintes determinações: nitrogênio (N), fósforo (P), porcentagens de matéria seca (MS), orgânica (MO%) e carbono orgânico (CO%) e relação carbono:nitrogênio (C:N) remanescentes.

Devido ausência de decomposição do material, em função dos pesos iniciais e finais das amostras serem os mesmos até o último tempo de coleta, as médias dos resultados analíticos foram: para CE 0,0 dS m⁻¹, valores de N (g kg⁻¹) = 5,50; P (g kg⁻¹) = 0,76; MS (%) = 94,48; MO (%) = 52,73; CO (%) = 30,58 e C:N = 62,33. E para CE 5,0 dS m⁻¹ se constituiu de N (g kg⁻¹) = 5,50; P (g kg⁻¹) = 0,77; MS (%) = 94,67; MO (%) = 51,59; CO (%) = 29,92 e C:N = 54,50.

Durante a pesquisa foram realizadas avaliações morfológicas, fisiológicas e de produtividade. As medições de morfologia e produtividade foram aferidas na fileira central de cada subparcela, com dimensão de 5,25 m de comprimento, retirando-se 2,0 m de cada cabeceira como bordadura, restando o metro central da fileira, composto por oito plantas (área útil). Para fisiologia (pH e teor relativo de água) por se tratarem de amostras destrutivas, repetidas três vezes ao longo do dia, foram realizadas nas plantas das bordaduras.

As medições de crescimento foram realizadas aos 12 e 24 meses após aplicação da irrigação salina. Foram amostradas duas plantas na fileira central por subparcela, dentro da área útil. Assim, foram avaliados o número de cladódios por planta, altura (cm)

e largura (cm) da planta, comprimento (cm), largura (cm), perímetro (cm) e espessura (cm) dos cladódios (por ordem).

As medições de altura e largura da planta e dimensões do cladódio, foram realizadas utilizando trena e fita métrica, enquanto que para a espessura do cladódio foi usado um paquímetro digital. Na altura e largura da planta, considerou-se desde a extremidade do cladódio mais alto até o solo, e das extremidades na parte aérea, projeção horizontal da planta, respectivamente.

Largura e comprimento dos cladódios representam medidas no meio horizontal e verticalmente no cladódio, respectivamente, enquanto que para espessura, a medição foi realizada no meio do cladódio. Estas medidas foram obtidas naqueles cladódios com tamanhos médios representativos por ordem e posteriormente utilizadas as médias por planta. A partir destas medidas foi calculada a área dos cladódios (cm^2), sendo $AC=1,6691(1-\exp(0,0243*PC))/-0,0243$ conforme Silva et al. (2014a). A fórmula para índice de área de cladódios foi (IAC) = soma da AC de uma planta/área do solo de uma planta ($0,375 \text{ m}^2$), multiplicado por dois (ambos lados dos cladódios) segundo Nobel e Bobich (2002).

As medições de pH, teor relativo de água (TRA) e déficit de saturação hídrica (DSH) foram realizadas em junho e dezembro de 2017, em junho de 2018 e janeiro de 2019, nas plantas das bordaduras, três vezes ao dia, em intervalo de seis horas. As coletas dos cladódios ocorreram às 6:00, 12:00 e 18:00. Os valores apresentados referem-se a média desses horários.

Para avaliação do pH, amostras de cladódios, por ordem, foram colhidas, acondicionadas em sacos de algodão identificado e encaminhado à sala climatizada. Com utensílio cortante (furador de coco), o cladódio foi macerado até surgir a mucilagem, parte aquosa, na qual foi alocado o eletrodo do medidor de pH (modelo digital portátil HMPA-210P), até leitura constante.

A determinação do teor relativo de água (TRA) foi realizada a partir da coleta de quatro amostras de discos, com área aproximada de 1 cm^2 , de cladódios (por ordem). Os cladódios foram perfurados com um utensílio perfurador e as amostras foram acondicionadas em recipientes plásticos com tampa, com capacidade média de 50 mL, identificadas e enviadas para sala climatizada na qual foram preparadas e pesadas.

Em balança semi analítica, as amostras foram pesadas (peso fresco), foi inserida água destilada até imergir os discos no volume do pote, que foram tampados, e submetidas a refrigeração por 24 h. Após este período, os materiais imergidos e refrigerados foram peneirados para retirar excesso de água e novamente pesados (peso túrgido ou máximo). Em seguida foram submetidos à estufa de circulação de ar forçado a temperatura de 65 °C por 24 h ou até peso constante. Posteriormente, as amostras foram pesadas (peso seco).

Com os valores das três pesagens, foi utilizado a fórmula matemática de Barrs e Weatherly (1962) para obtenção do teor relativo de água, sendo: $TRA (\%) = (\text{peso fresco} - \text{peso seco}) / (\text{peso túrgido} - \text{peso seco}) * 100$.

As avaliações da produtividade de matéria verde (PMV) foram realizadas anualmente (2018 e 2019), com base no peso de oito plantas da fileira central (1,0 m), sendo os cortes realizados por ordem de cladódio, os quais foram pesados separadamente, com a totalização extrapolada para produtividade por planta e por hectare. A intensidade de colheita preservou dois cladódios primários, a partir dos resultados obtidos por Rêgo et al. (2014) e Lima et al. (2016), que mantiveram área residual acima do cladódio basal e obtiveram maiores produtividades da palma forrageira.

Para obtenção dos valores de produtividade de matéria verde (PMV) em megagrama (Mg) por hectare (ha), extrapolou-se o peso médio dos cladódios colhidos (PC) em quilograma (kg) na área útil (3 m²), assumindo o cálculo: $PMV = [(PC \times 10.000 \text{m}^2) / 2 \text{m}^2] / 1000$, onde 1.000 é o valor de conversão de kg para Mg.

Amostras de cerca de 1,0 kg por subparcela foram colhidas, por ordem de cladódio (primária e secundária), identificadas, pesadas, fracionadas, acondicionadas em bandejas metálicas com identificação e levadas à estufa de circulação de ar forçada a 55 °C, por 72 horas ou até estabilização do peso, ocasião em que se determinou a matéria seca (Silva e Queiroz, 2006) por ordem e, posteriormente, se calculou a produtividade de matéria seca (PMS) por ordem, total por planta e por hectare.

Para o cálculo da produtividade de matéria seca (PMS), assumiu-se a PMV e o teor de MS obtidos, utilizando a fórmula: $PMS = (PMV \times \text{teor de MS}) / 100$, onde 100 é o valor de conversão para porcentagem.

Foi calculada a eficiência de uso da água (EUA), via soma da complementação hídrica mais precipitação pluvial em cada ano, em kg de MS por mm de água, por

subparcela, dividindo-se a produtividade de matéria seca (PMS) pela quantidade de água disponibilizada, conforme Dubeux Jr. et al. (2006a).

As análises estatísticas foram realizadas por meio do procedimento PROC MIXED (Littell et al., 1998) do SAS University Edition. Os dois anos de avaliação foram considerados como medidas repetidas no tempo. Para todas as características foi aplicado teste de normalidade dos resíduos (Kolmogorov-Smirnov) e de homocedasticidade (Hartley), no qual não houve necessidade de transformação dos dados.

Para as respostas morfológicas e produtivas foram considerados os efeitos dos níveis de salinidade, da cobertura do solo, dos anos e das interações, além do efeito dos blocos experimentais. Para comparação das médias para cobertura do solo e anos de avaliações foi utilizado o Teste F. Já as interações foram estudadas pelo LSMEANS ajustado para Tukey. No estudo do efeito dos níveis de salinidade foi realizada análise de regressão, por meio do software SigmaPlot for Windows, version 12.0.

Para a escolha do modelo estatístico, foram considerados todos os pontos, e não somente as médias das repetições.

Foram testados os efeitos linear e quadrático. Quando houve efeito significativo do modelo quadrático, este foi preferido em relação ao linear. Nos casos em que não se apresentou esses efeitos, adotou-se o valor médio da característica. Para todas as análises foi considerado 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa ($P > 0,05$) dos níveis de salinidade da água e da cobertura do solo nos dois ciclos anuais sobre todas características estudadas. Desta forma, não foi possível observar a função de condicionador orgânico da casca de arroz no controle da salinização do solo.

Ocorreu efeito significativo ($P < 0,05$) da interação dos níveis de salinidade e os anos de avaliação para índice de área de cladódio (IAC), espessura do cladódio, produtividades de matéria verde e seca (PMV e PMS) e eficiência do uso da água (EUA) (Tabela 5).

Tabela 5. Espessura e índice de área de cladódio (IAC), produtividades de matéria verde e seca (PMV e PMS) e eficiência do uso da água (EUA) da palma forrageira IPA Sertânia em função dos níveis de salinidade e anos de avaliação

Ano	CE (dS m ⁻¹)					Equação	R ²	P valor
	0,0	2,5	5,0	7,5	10			
Espessura do cladódio (cm)								
2018	1,93a	1,88b	1,89b	1,56b	1,38b	Esp=1,92-0,12CE-0,07CE ²	0,2741	0,0010
2019	2,21a	2,35a	2,54a	2,49a	2,34a			
Erro padrão = 1,5850								
IAC (m ² /m ²)								
2018	3,20b	2,29b	2,47b	2,94b	2,23b	IAC=4,80-0,37CE+0,05CE ²	0,2060	0,0053
2019	4,48a	4,97a	3,79a	4,60a	6,28a			
Erro padrão = 0,3831								
PMV (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
2018	68,75b	62,04b	62,26b	50,48b	46,63b	PMV=69,19-2,23CE	0,1152	0,0183
2019	101,77a	129,82a	108,51a	120,54a	126,64a			
Erro padrão = 10,1749								
PMS (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)								
2018	6,85a	6,25a	6,12a	4,94b	4,95b	PMS = 6,87-0,22CE-0,01CE ²	0,1053	0,0482
2019	6,06a	7,76a	6,37a	6,91a	7,66a			
Erro padrão = 0,6933								
EUA (kg de MS kg de água ⁻¹)								
2018	8,07a	7,39a	7,22a	5,83a	5,85b	EUA = 8,09-0,26CE-0,01CE ²	0,1038	0,0497
2019	6,09b	7,78a	6,35a	6,70a	7,66a			
Erro padrão = 0,6939								

As letras comparam o efeito do ano dentro de cada nível de condutividade elétrica. Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para valor de R² foram considerados todas as observações. ns = não significativo para regressão

Devido opção de utilização de todos os pontos, desencadeou em menor valor do coeficiente de determinação (Tabela 5), por haver maior número de observações, e por se tratar de material biológico, de alta e natural variabilidade. Esta decisão foi tomada por não haver interesse de se determinar um nível ótimo do nível de salinidade da água de irrigação sobre a palma forrageira, indicado pela análise. O intuito foi de observar o comportamento da planta sobre o estresse salino, mesmo que o R² se apresentasse baixo. Embora o modelo matemático obtido não explique a variação dos dados coletados, ponderou-se que a amplitude do número de medidas pode ter sido pequena, e, portanto, não possibilitou detecção de relação com a variável, mas tenha considerado ajuste do modelo.

As relações entre características morfológicas e a produtividade de forragem, englobam dados importantes para entendimento das respostas da palma forrageira às condições do ambiente de cultivo (Pinheiro et al., 2014). Assim, o estudo da morfologia

indicou que as plantas sofreram o impacto negativo do estresse salino imposto nas condições desse estudo, conforme se verificou, no primeiro ano de avaliação, para espessura e IAC, que por sua vez também afetou os rendimentos (Tabela 5).

Para espessura dos cladódios, o efeito da salinidade da água promoveu comportamento linear decrescente no primeiro ano de avaliação ($P = 0,0010$). Os cladódios apresentaram-se mais espessos no tratamento controle, sem sais na água de irrigação (1,93 cm), reduzindo sua turgidez quanto maior os níveis salinos aplicados (1,34 cm sob $CE = 10$). No segundo ano, não houve efeito significativo da regressão dos tratamentos salinos sobre a espessura dos cladódios, com média de 2,39 cm. Na comparação entre os anos (dentro de cada nível de salinidade), os cladódios apresentaram-se mais túrgidos no segundo ano que no primeiro, exceto no tratamento sem sais na água (Tabela 5).

A palma IPA Sertânia respondeu positivamente à irrigação com água de qualidade superior, absorvendo e acumulando mais este recurso, e reduzindo seu armazenamento quando o suporte hídrico se tornava mais salino, no primeiro ano. A maior espessura no segundo ano pode ser explicada devido à precipitação que antecedeu a leitura dos dados, em dezembro/2018, que foi de 60,4 mm e, em janeiro/2019, de 66,7 mm (Figura 4), situação que não ocorreu no ano anterior, no qual ocorreram cinco meses de estiagem, sendo aplicado exclusivamente a irrigação com lâmina de baixo volume, além do estresse salino pela água, em maior parte do ensaio.

A maior turgidez dos cladódios da palma no primeiro ano, quando submetida ao tratamento controle, e menor conforme aumento do nível salino, está de acordo com Silveira et al. (2016). Esses autores mencionam que os primeiros efeitos causados pelo excesso de sais são de natureza biofísica, destacando-se os processos osmóticos, que restringem o transporte de água, e essa resposta fisiológica é um tipo de aclimatação ao estresse. As plantas se adaptam, transpirando menos (maior resistência estomática) e diminuindo o uso de água.

Taiz et al. (2017) citam ainda a redução do potencial hídrico (Ψ) e a desidratação celular como alguns desses efeitos primários. Assim, os cladódios menos túrgidos sob os maiores teores de sais testados nesse estudo, são indicativos de alguns desses mecanismos.

No primeiro ano de avaliação, não houve efeito dos níveis de sais aplicados sobre o IAC, que apresentou média de 2,62 m²/m². No ano seguinte, a resposta à salinidade teve comportamento quadrático (P = 0,0053). Ao serem comparados os efeitos dos dois anos, dentro das condutividades elétricas (CE), os maiores índices ocorreram no segundo ano, em todos os valores de CE testados (Tabela 5).

Os níveis da salinidade da água não influenciaram o IAC da palma IPA Sertânia, demonstrando tolerância pela planta, notadamente no segundo ano de avaliação, haja vista que mesmo sob alta CE (10,0 dS m⁻¹), o IAC foi alto (6,28 m²/m²). Provavelmente o fator tempo tenha favorecido para que o IAC se apresentasse maior com o ciclo de desenvolvimento, considerando que o palmar se apresentava mais estabilizado. Assim, as plantas se encontravam mais vigorosas, possibilitando maior interceptação luminosa.

Segundo Taiz et al. (2017), a capacidade de alterar a forma foliar é um exemplo importante de plasticidade fenotípica. As plantas expostas aos efeitos abióticos são estimuladas a desenvolver modificações na sua morfologia a fim de evitar ou mitigar as consequências dos estresses ambientais. Entre os mecanismos adaptativos, as mudanças na área e orientação foliar, e neste caso, dos cladódios, são artifícios para manter o desenvolvimento vegetal.

Ainda, o IAC pode ter sido beneficiado pela colheita adotada, que preservou dois cladódios primários. Para Farias et al. (2000), este tipo de manejo permite maior IAC remanescente após o corte, que possibilita acúmulo de reservas na planta e mais pontos de crescimento, estimulando novas brotações.

Segundo Silva et al. (2014a) e Nobel e Bobich (2002), o ambiente e o manejo aplicado à palma forrageira são decisivos para os valores do IAC. Dubeux Jr. et al. (2006) ressaltaram os efeitos das práticas de manejo sobre o IAC em *Opuntia*.

O IAC médio de 4,8 m²/m² obtido nesta pesquisa está próximo ao reportado por Nobel e Bobich (2002) como satisfatório (5,0), o que pode refletir suficientemente nas respostas produtivas. Para os autores, valores superiores ou inferiores a estes podem implicar em menor interceptação da radiação fotossinteticamente ativa, redução da captação de CO₂ e acarretar em menor crescimento.

Silva et al. (2014a) observaram que a produtividade da IPA Sertânia tendeu a estabilizar quando os valores de IAC foram acima de 3,0 m²/m² (dois lados cladódios), que equivaleu a, aproximadamente, 12 Mg MS ha⁻¹ ano⁻¹, relacionando em 70% a

variação dos valores de produtividade obtidos. Neste ensaio, o IAC foi superior ao relatado acima, mas a PMS apresentou-se inferior, talvez pelo menor intervalo de corte aplicado, de 12 meses, quando comparado ao do estudo citado acima, que ocorreu aos 18 meses. Esse maior período de cultivo pode ter possibilitado aumento da produtividade.

Taiz et al. (2017) ressaltaram que apesar da área foliar (ou de cladódio) maior proporcionar superfícies ótimas na produção de fotossintatos, pode ser prejudicial ao crescimento e à sobrevivência de culturas agrícolas sob condições estressantes, pois essas amplas superfícies das folhas/caules expõem-se mais à evaporação, que pode levar ao rápido esgotamento da água do solo. Nobel e Bobich (2002) advertem que plantas mais próximas ou com mais cladódios aumentam o IAC, mas a produtividade pode ser reduzida.

A produtividade de matéria verde (PMV) sob as salinidades de água testadas apresentou resposta linear negativa no primeiro ano de avaliação ($P = 0,0183$). Houve decréscimo de rendimento conforme aumento dos níveis de sais na água de irrigação. No segundo ano, a produtividade não foi afetada pela salinidade das águas aplicadas, média de $117,45 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Na comparação da PMV entre os anos, dentro de cada nível de salinidade, os rendimentos foram superiores no segundo ano, independente do tratamento salino testado (Tabela 5).

Na produtividade de matéria seca (PMS), a resposta aos níveis de salinidade da água apresentou comportamento quadrático no primeiro ano de avaliação ($P = 0,0482$), de maior rendimento no tratamento controle e menor quando submetido a $CE 10 \text{ dS m}^{-1}$. Não houve diferença entre os tratamentos no segundo ano (média de $6,95 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Na comparação da PMS dos dois anos, dentro de cada tratamento, no tratamento controle e nos menores níveis de salinidade na água de irrigação não houve diferença entre os anos, mas nos dois maiores teores de sais aplicados, os rendimentos foram superiores no segundo ano (Tabela 5).

O estresse salino apresentou efeito na produtividade (PMV e PMS) no primeiro ano de avaliação, demonstrando maior sensibilidade da cultura durante seu estabelecimento. Já no ano seguinte, sob condições de desenvolvimento estabilizadas, os efeitos da salinidade no palmar não ocorreram, demonstrando possibilidade de adaptação e indicando resiliência da planta.

Considerando os eventos de irrigação, houve quatro aplicações a mais no primeiro ano, um acréscimo aproximado de 16 mm de água salina para o sistema ao longo do cultivo de 2017 (no caso dos tratamentos sob níveis de salinidade). Logo, a quantidade de sais recebida entre os anos de cultivo foi semelhante.

Nota-se, portanto, a resiliência da palma em resistir a estes níveis de CE, após estabelecida, desde que sob similar manejo de irrigação (turno de rega semanal e lâmina de água menor que 5 mm) e aproximada ocorrência de pluviosidade no período chuvoso, condição que possibilita diluição dos sais no sistema solo-planta.

Reforça-se a ocorrência do regime médio de precipitação pluviométrica (647 e 800 mm em 2017 e 2018, respectivamente - Figura 4) que pode ter permitido a drenagem do sódio e cloretos, além do que, o volume de água aplicado é baixo (lâmina média de 4,0 mm semana⁻¹), conforme mencionado anteriormente e, dessa forma, a quantidade de sais adicionados ao solo pode ser considerada baixa.

Por meio dos resultados das análises de solo, verifica-se que o efeito cumulativo de sais não foi expressivo nos dois anos de avaliação. Esta resposta pode ser esperada, haja vista que este intervalo de tempo talvez seja insuficiente para se observar o armazenamento de sais no solo. De toda forma, após corrigir a condutividade elétrica (CE 1:5) os valores mantiveram-se abaixo de 4 dS m⁻¹ (Tabelas 2, 3 e 4). Esse valor foi superior apenas nos três maiores níveis salinos da água, independente da cobertura da casca de arroz, e somente no primeiro ano de cultivo, devido maior intervalo de estiagem e menor ocorrência de precipitação pluvial.

No final da época chuvosa em 2018, os valores de CE reduziram à próximo de um, e se conservaram até a colheita do ano seguinte, possivelmente pela positiva influência das chuvas, que podem diluir os sais no solo, desde que o mesmo tenha eficiente drenagem. Esses resultados indicam baixo risco de efeitos da salinidade no solo, pois somente quando a CE se encontra entre 4 a 7 dS m⁻¹ é considerado de caráter salino (EMBRAPA, 2018).

A porcentagem de saturação por sódio (PST), em geral, se apresentou menor que 15%, exceto nos maiores níveis de sais aplicados no segundo ano (Tabela 4), e esse valor se apresentando entre 6 a 15% classifica o solo de caráter solódico, e quando superior a 15%, caracteriza um horizonte como sódico (EMBRAPA, 2018).

Ressalta-se que altos teores de sódio e cloreto na água e solo indicam elevada toxidez ao sistema ambiental (Oliveira et al., 2018). Esses íons, Na^+ e Cl^- , são igualmente os mais tóxicos para maioria das plantas, sobretudo as que são sensíveis ao estresse salino (Dantas et al., 2013; Dias et al., 2016).

Uma razão dessa baixa proporção de sódio no sistema é em função desse elemento ser naturalmente carregado na solução do solo. Comportamento descrito pela série liotrópica, uma sequência preferencial de ligação dos cátions às cargas negativas na superfície do solo, composta por sete constituintes químicos, pela qual o Na^+ é o último a ser adsorvido ($\text{H}^+ > \text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$) (Demattê, 2011).

O teor de cálcio verificado nas quatro amostragens de solo da área experimental, médias de 5,57; 4,09; 3,54 e 3,03 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabelas 1, 2, 3 e 4, respectivamente), considerado médio, contribui para menor absorção do sódio, conforme verificado por Lacerda et al. (2004). Este elemento colabora para diminuição da relação de adsorção de sódio (RAS), segundo Melo et al. (2008). E coopera na redução da percentagem de sódio trocável (PST) ou saturação por sódio, e da condutividade elétrica (Ruiz et al., 2004).

A classificação textural da área experimental (Tabela 1) com alto percentual de areia (62,8%), contribui para essa condição inicial controlada. Os efeitos da salinidade da água de irrigação na área eram ainda mais esperados haja vista a classificação do solo deste ensaio, Cambissolo. Devido esses perfis apresentarem razoáveis teores de argila e de atividade alta, tornam-se mais susceptíveis aos processos de salinização e sodificação (Freire et al., 2003).

Segundo Pedrotti et al. (2015), essa relação do processo de salinização com a característica física do solo, se dá por ocorrer transformação dos minerais primários, ricos em cátions como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ em minerais de argila. Os autores citam ainda que o teor excessivo de sódio no solo causa dispersão das argilas, interferindo nas propriedades físicas edáficas.

Silva et al. (2014b) avaliaram a utilização de água salina com até 5,0 dS m^{-1} para a produção de forragem no semiárido potiguar, e concluíram que a resposta das culturas (milho e sorgo) é dependente das características físicas do solo, sendo mais tolerantes em solos com menor teor de argila, como o desta pesquisa.

Santos et al. (2017) cultivaram a palma ‘Gigante’, por dois ciclos anuais de crescimento, sob diferentes lâminas e turnos de rega, utilizando água com CE de 3,6 dS

m⁻¹ e verificaram que não houve interferência no desenvolvimento da palma forrageira, para a condição de solo de textura média e profundo. No primeiro ciclo houve um incremento de 111,22% e 68,40% na produção de MV e MS, em relação ao cultivo sem irrigação e no segundo ciclo de 205,26% e 41,94%, respectivamente.

O estudo dos riscos de salinização em um campo de cultivo deve considerar fatores como: a qualidade da água, o manejo de irrigação e seus efeitos, as características físico-químicas do solo, principalmente drenagem; a tolerância da cultura e as condições do clima (Dias et al., 2016).

Desta forma, foram citadas: a textura do solo, franco arenosa, que permite razoável lavagem dos solutos. O volume das chuvas, e pequena quantidade de água salina aplicada via gotejo. Esses fatores provavelmente contribuíram para que os efeitos dos sais não influenciassem no cultivo da palma, notadamente no segundo ano de avaliação.

O cultivo de 33 acessos de palma sem espinho (*Opuntia* spp.) na costa árabe, sob irrigação com água salina num sistema de gotejo (5,37 a 14,75 dS m⁻¹), numa densidade de 40 mil plantas ha⁻¹, por três anos, foi descrito por Nadaf et al. (2018). Os autores relataram PMV média de 117,31 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e por estes potenciais resultados indicaram o cultivo desses cactos forrageiros sob condições de água salgada. A produtividade obtida foi aproximada ao alcançado neste estudo.

Medeiros et al. (2016) relatam que, em condições de campo, a distribuição dos sais não é uniforme no espaço (profundidade), nem constante com o tempo, e a aplicação de resultados experimentais dos estudos de tolerância a salinidade das culturas requer conhecimento das respostas das plantas à salinidade, que variam conforme aqueles dois fatores.

Nos primeiros 12 meses de crescimento, podem ter ocorrido efeitos primários do estresse salino, sobretudo a diminuição da expansão celular/foliar e, secundariamente, a redução das atividades celulares e metabólicas, fechamento estomático e inibição fotossintética, promovendo redução do crescimento vegetal acima do solo (Taiz et al., 2017).

Dubeux Jr. e Santos (2005) relatam como efeitos da salinidade na palma, a inibição do desenvolvimento radicular e da parte aérea das plantas, devido os níveis elevados de sódio no solo inibirem a fixação de CO₂ pela palma. E que o aumento da salinidade

provoca desbalanceamento iônico, propiciando desordens fisiológicas nas plantas da palma.

No caso de alta salinidade nas plantas, os efeitos ocorrem por um processo de duas fases: uma resposta rápida a elevada pressão osmótica, e outra mais lenta, causada pela acumulação de sódio na interface raiz-solo, e de cloro, nas folhas. Na fase osmótica, há uma diminuição no crescimento da parte aérea, com redução da expansão foliar e inibição da formação de gemas laterais. A segunda fase se inicia com a acumulação de quantidades tóxicas de sódio nas folhas, levando a inibição da fotossíntese (Taiz et al., 2017).

Logo, as reduções na PMV verificadas somente no primeiro ano, conforme elevação dos níveis de salinidade aplicados, indicam que, a curto prazo, as respostas fisiológicas acima citadas teriam ocorrido, e os menores rendimentos estariam relacionados aos baixos crescimentos vegetativos, consequência de menores taxas fotossintéticas. Silveira et al. (2016) explanaram sobre a rápida e intensa redução na taxa de crescimento, principalmente na área foliar, na primeira fase do estresse, associada com a diminuição na expansão da parede celular (redução na pressão de turgescência), resposta verificada na espessura dos cladódios (Tabela 5).

Holanda et al. (2016) consideram que o manejo adequado e os métodos da irrigação devem preceder o uso racional da água, bem como os aspectos qualitativos, notadamente a composição iônica, para prevenir o processo de salinização. Ponderar fatores do clima, solo e a tolerância da planta à salinidade torna-se necessário.

A viabilidade técnica da utilização de água salina no cultivo da palma forrageira, onde houve satisfatórias taxas de crescimento e desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, produtividade da cultura, foi indicada por Santos et al. (2017). Os autores sugeriram que a irrigação seja realizada até o início do período chuvoso, mesmo que se realize a colheita antes, assim, a precipitação contribui para lixiviação dos sais, manejo aplicado no presente estudo.

Para Larcher (2000), as espécies que têm maior plasticidade fenotípica desempenham importante papel na capacidade de adaptação às condições do habitat, que talvez possa ser verdadeiro no caso das palmas submetidas à irrigação salina.

A bibliografia sobre os efeitos da salinidade em relação ao desempenho da palma forrageira aponta resultados contrastantes nos ensaios de casa de vegetação e de campo. Paniagua et al. (2001), em ensaio de sete meses de avaliação em casa de vegetação, num

sistema semi-hidropônico, cultivaram plantas micropropagadas de *Opuntia ficus-indica* Miller (L.) sob salinidade de 2, 7, 12 e 17 dS m⁻¹ e verificaram que a solução nutritiva na menor concentração proporcionou melhores respostas quanto à produção das plantas, bem como para a absorção de nutrientes pelos vegetais, e o aumento do nível salino afetou negativamente o desenvolvimento das plântulas.

A influência do NaCl em *Opuntia ficus-indica* foi avaliada por Véliz et al. (2007) em sistema de hidroponia, sob concentrações de 0 a 150 mol m⁻³ durante 75 dias. O volume dos órgãos aéreos diminuiu com o aumento da salinidade, mas foi possível aferir que a palma possui mecanismos para diminuir o efeito do estresse salino, resposta similar a deste estudo.

Freire et al. (2018) avaliaram o desempenho da palma Miúda sob frequência de irrigação e quatro níveis de sais (até 3,6 dS m⁻¹), durante sete meses de avaliação em casa de vegetação. Os autores observaram que no menor intervalo de rega (sete dias), a condutividade elétrica do solo (48,65 dS m⁻¹) foi maior e as plantas apresentaram elevado dano (5,0) e menor produtividade (32,51 g planta⁻¹), indicando baixa tolerância da cultivar ao estresse salino.

Entretanto, em condições de campo, Rêgo et al. (2014) cultivaram palma Miúda por um ano, com água de poço de alta salinidade (5,0 dS m⁻¹), lâmina de 2,5 mm semana, alta densidade (50.000 plantas ha⁻¹) e obtiveram produções satisfatórias acima de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS.

Lima et al. (2016) obtiveram alta PMS de 28 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, com palma Gigante (*Opuntia ficus indica* Mill) irrigada com água de poço de alta salinidade (CE 5,0 dS m⁻¹) sob volume de 710 mm ano⁻¹ (lâmina de 10 mm mês⁻¹ e precipitação anual de 590 mm), por um ano, em elevada densidade (50.000 plantas ha⁻¹).

Utilizando água de menor condutividade (CE entre 1,6 e 2,5 dS m⁻¹), Diniz et al. (2017) observaram que o rendimento da palma não foi afetado pelo uso de irrigação com água salina, durante o 4º ano de cultivo e após três cortes anuais. Os resultados obtidos nesta pesquisa com níveis de sais na água de irrigação, aproximam-se das respostas observadas pelos autores acima citados, que irrigaram a palma com água salina de açude com volumes entre 355 a 1012 mm (lâminas mais precipitação), mas em menor densidade (15.625 plantas ha⁻¹), e obtiveram apenas 4,4 Mg MS ha⁻¹ ano⁻¹ na palma Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*).

Num outro ensaio de campo, os resultados foram mais promissores. Lima et al. (2018) avaliaram o desempenho produtivo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (15.650 plantas ha⁻¹), durante o 2º ciclo de cultivo (após 1º corte), em consórcio com o sorgo forrageiro, sob diferentes lâminas de irrigação complementar com base na evapotranspiração de referência (976 a 1.202 mm ano⁻¹) com água salina de CE entre 1,1 a 1,6 dS m⁻¹ por 380 dias de ciclo de produção. As médias de PMS obtidas foram de 8,2 Mg ha⁻¹ de palma forrageira, e de 15 a 24 Mg ha⁻¹ quando consorciada, tendo sido este o cultivo mais indicado.

Desta forma, torna-se necessária outras pesquisas com utilização de água salina na irrigação da palma forrageira para obtenção de resultados conclusivos. Considerar os efeitos do estresse salino sobre os rendimentos, os riscos do processo de salinização dos solos, nas diferentes classificações, e períodos mais prolongados de avaliação.

Outra questão é quanto aos sais aplicados na água deste ensaio. Em geral, os estudos aplicam apenas o NaCl, o que confere rápido estresse salino nas plantas. Entretanto, a maioria das águas salinas são compostas por outros sais, tais quais os utilizados nessa pesquisa, o CaCl e o MgSO₄. Assim, a simulação da composição da água aqui testada foi mais próxima da encontrada naturalmente. Desta forma, os danos ocorridos na palma podem ter sido atenuados por este fator.

Conforme mencionado anteriormente, em ensaios que se avalia salinidade no campo, diferentemente das pesquisas em casa de vegetação, as respostas entre os fatores envolvidos, podem ser obtidas a longo prazo, haja vista a dinâmica complexa que dependerá do manejo usado, neste caso, lâmina e frequência de irrigação; das condições edáficas, notadamente drenagem do solo, e ambientais, principalmente a precipitação pluvial (com potencial para dissolver os sais).

A PMS obtida foi baixa, mesmo no segundo ano de avaliação (média de 6,95 Mg ha⁻¹ ano⁻¹), sobretudo ao se considerar o alto nível de adubação aplicado. Rendimentos de 10 Mg são apontados como razoáveis por Dubeux e Santos (2005) para forrageiras sob estresse hídrico ou salino em zonas semiáridas.

Algumas razões podem ter contribuído para que as respostas produtivas tenham sido inferiores neste estudo. O espaçamento amplo entre linhas (3,0 m), que embora facilite os tratos culturais, diminui o número de plantas por hectare, com menos de 27.000 unidades neste ensaio, haja vista a tendência da palma forrageira em produzir mais

quando submetida ao adensamento, até certo limite e desde que as demais condições de cultivo, principalmente adubação, sejam adequadas (Silva et al., 2016).

Também, o arranjo no plantio, mais denso apenas na linha (oito plantas por metro), e muito espaçado entre as fileiras (3,0 m), intensificou a competição entre as plantas, e pode ter influenciado negativamente para redução do rendimento do palmar, haja vista que espaçamentos médios de 2,0 m e plantas espaçadas em 20 cm, tendem a proporcionar condições para melhor crescimento individual (Santos et al., 2002).

A perda de estande pelos frequentes danos ocasionados por pragas, (lagartas na época das chuvas, e cochonilha de escama no período seco) e das doenças podridões mole, seca escamosa e preta, contribuiu para a inferior produtividade. Silva et al. (2015a), mesmo em condições de sequeiro, observaram mortalidade de mais de 10% no campo de IPA Sertânia, apontando certa susceptibilidade dessa cultivar principalmente de podridão. No presente estudo, contabilizou-se 1/3 das plantas no campo acometidas pela podridão mole, principalmente no primeiro ano de cultivo, e ao final do ensaio, observou-se redução de 7% da população da palma IPA Sertânia na área, em relação a densidade implantada.

Estes resultados sugerem informações para reflexão quanto a escolha da variedade da palma forrageira a cultivar. É necessário considerar as condições climáticas, se adequadas para o pleno desenvolvimento da planta. Ponderar qual sistema de cultivo, se em sequeiro ou irrigado. Avaliar que a IPA Sertânia é muito susceptível a podridão mole, e as perdas do palmar podem se elevar sob estresse climático e hídrico (encharcamento).

O estresse hídrico que o palmar foi submetido, especialmente durante o estabelecimento, também pode ter influenciado. O déficit de água possivelmente foi intenso, em função do clima local, sobretudo devido à pouca variação da temperatura ao longo do dia e ano. A ausência da complementação hídrica no período de estabelecimento das plantas, que se deu desde o plantio e perdurou no primeiro trimestre, pode ter abatido às palmas. Nesta fase inicial os vegetais necessitam de condições adequadas, inclusive hídrica, para enraizamento e primeiras brotações.

A PMS poderia ter sido superior, se considerada a PMV obtida (média de 117,5 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Entretanto, o teor de matéria seca registrado no segundo ano foi baixo, média de 5,9% (Tabelas 7 e 8), valor inferior ao comumente obtido para cultivar IPA Sertânia,

que é em média de 10% (Santos et al., 2013), inclusive obtido no primeiro ano deste estudo.

Para efeito de comparação, a palma IPA Sertânia foi cultivada em regime de sequeiro sob maior densidade (31.250 plantas) por Silva et al. (2015a), que obtiveram apenas 10,7 Mg MS ha⁻¹ em um ciclo de 24 meses. De certo que em cultivos irrigados é comum a redução do teor de matéria seca, quando comparado aos não irrigados.

Essa resposta para o baixo teor de matéria seca no segundo ciclo pode ter sido influenciada pela alta precipitação nos dois meses que antecederam a segunda colheita (Figura 4), o que provocou aumento do conteúdo de água nas plantas, conforme verificado pela maior TRA e espessura dos cladódios e menor teor de MS (Tabelas 6 e 8, respectivamente). Esse comportamento pode indicar práticas para manejo de colheita, devendo-se colher o palmar no período de estiagem, principalmente para a cultivar IPA Sertânia que, quando colhida no período chuvoso apresenta ainda, alta porcentagem de perda por apodrecimento dos cladódios, provavelmente pelo maior teor de água armazenado.

Outro fator é quanto ao intervalo de colheitas. A palma IPA Sertânia apresenta baixa brotação, quando comparada com outras cultivares, tais como a Orelha de elefante Mexicana ou Miúda. Portanto, o manejo de corte aos 12 meses não possibilita o surgimento da terceira ordem de cladódio, o que indica amadurecimento da planta e aumento do teor de matéria seca.

Sobre a eficiência do uso da água (EUA), o efeito da salinidade da água foi quadrático no primeiro ano de avaliação ($P = 0,0497$), com resultados mais eficientes na ausência de sais e menor EUA nas maiores condutividades. Não houve efeito significativo no segundo ano, com média de 6,91 kg de MS kg⁻¹ de água. Na verificação dos efeitos anuais dentro dos níveis de sais na água, o menor valor ocorreu no tratamento sem sais na água de irrigação no segundo ano, e no maior nível de sal no primeiro ano (Tabela 5).

A média de EUA atingida também pode ser considerada baixa. Para esta característica, a densidade é um fator importante, já que influencia na produção por área e, neste caso, o espaçamento entre linhas utilizado pode não ter favorecido uma maior eficiência. Essa característica é diretamente relacionada a PMS, haja vista que os valores obtidos são utilizados para a estimativa da eficiência, associada à quantidade de água

disponibilizada pelo somatório da precipitação pluvial com a lâmina de irrigação aplicada.

Pesquisando a EUA em cultivares de palma forrageira, Moraes et al. (2017) obtiveram valores inferiores para as cactáceas irrigadas comparadas com as que não receberam irrigação e precipitação de 471 mm. Esses resultados indicaram que a palma é capaz de manter a acumulação de matéria seca em situações de redução de disponibilidade hídrica, embora reduzindo seu consumo de água.

Cruz Neto et al. (2017) cultivaram palma Miúda (31.250 plantas ha⁻¹) por 532 dias e não verificaram efeito do aumento do regime hídrico via irrigação por gotejo (493 a 756 mm ano⁻¹) na PMS e, conseqüentemente, em termos de EUA (7,25 kg MS mm⁻¹), valor próximo do observado nesta pesquisa.

A eficiência do uso de água da chuva (EUC) na palma forrageira foi avaliada por Dubeux Jr. et al. (2006), obtendo 26,6 kg de MS mm⁻¹ com 40.000 plantas ha⁻¹ e adubação fosfatada, mas apenas 10,9 kg MS mm⁻¹ quando em baixo adensamento (5.000 plantas), com média de 18 kg de MS mm⁻¹ e variação de 5 até 35 kg MS mm⁻¹, valor mínimo próximo ao obtido no presente trabalho, com densidade menor que 27.000 plantas.

Diniz et al. (2017) afirmaram que a aplicação de 355 mm de água via irrigação mais a precipitação mostrou-se suficiente para o desempenho produtivo da palma, confirmando sua alta eficiência do uso da água apontada por vários autores (Nobel e Bobich, 2002; Farias et al., 2005; Scalisi et al., 2016).

Outra questão no rendimento da palma forrageira é quanto ao volume de água disponível para o sistema. Entre alguns dos primeiros estudos dessa natureza, em regime de sequeiro, Farias et al. (2005) apontaram como satisfatória para a cultivar Miúda, mesmo gênero da IPA Sertânia, precipitações acima de 600 mm anual. Souza et al. (2008) indicaram como faixa adequada de cultivo entre 368 a 812 mm.

Ao considerar a precipitação pluvial no sistema de produção, com 702 e 866 mm, para o primeiro e segundo ciclos anuais, respectivamente (Figura 3), a princípio parece atender a demanda hídrica citada acima. Essas chuvas corresponderam a 82% e 86% (primeiro e segundo ciclo anual, nesta ordem) do total hídrico disponibilizado.

Entretanto, a típica distribuição irregular das chuvas do semiárido nordestino, concentradas na restrita época chuvosa, com 74% de fevereiro a abril/2017, e 80%, entre fevereiro a maio/2018, pode não ter sido adequada ao pleno desenvolvimento da palma

IPA Sertânia, principalmente em comparação a alta evaporação e evapotranspiração média anual, de aproximadamente 2.800 mm e 2.340 mm, respectivamente.

Apesar de Snyman (2006) afirmar que mesmo chuvas de poucos milímetros, que são quase de nenhum valor para as plantas forrageiras comuns, serem eficientemente usadas pela palma forrageira, essa afirmação se aplica bem em ambientes de clima noturno ameno, o que não se refere ao local deste experimento.

As implicações climáticas podem afetar o desempenho da palma em zonas de baixa altitude, que apresentam altas temperaturas, principalmente noturnas, tal qual registradas neste ensaio, com mínimas médias de 28 °C, uma vez que se encontram acima das condições ideais apontadas por Nobel e Bobich (2002) de temperaturas diurnas de 25 °C e noturnas de 15°C.

Carvalho et al. (2017) ressaltaram que períodos com ocorrência de chuva favorecem a alternância de práticas como a irrigação e melhoram a resiliência da palma forrageira. Estudos aplicados de evapotranspiração acumulada com a palma, como o de Moraes et al. (2017), apresentaram evapotranspiração real e efetiva para IPA Sertânia de $647,7 \pm 106,9$ e $501,4 \pm 106,3$ mm ano⁻¹, respectivamente. Silva et al. (2014) apontaram valor de 1.418 mm por ciclo (dois anos) para IPA Sertânia.

Deste modo, a média de 785 mm anuais disponibilizados ao sistema de produção desta pesquisa não atenderiam a demanda hídrica, haja vista a alta evapotranspiração potencial do município de Apodi (média 6,5 mm e 7,7 mm dia⁻¹ na época seca).

Portanto, as condições edafoclimáticas e as práticas de manejo, aos quais a palma IPA Sertânia foi submetida podem não ter sido as ideais para esta cultivar, implicando em menores produtividades obtidas nesta pesquisa, adicionados ao estresse salino aplicado.

Houve interação significativa ($P < 0,05$) entre as coberturas do solo e os anos de avaliação em relação a participação (%) das ordens de cladódios na PMS, pH e teor relativo de água (TRA) (Tabela 6).

A proporção das ordens dos cladódios primários e secundários, no primeiro ciclo anual de avaliação, foi semelhante na contribuição para a PMS. Já no segundo ano, foram os cladódios secundários que mais participaram no rendimento. No primeiro ano, no tratamento sem cobertura de solo, os cladódios de primeira ordem apresentaram-se em maior quantidade que na presença da casca de arroz, de forma contrária, para os de

segunda ordem, a cobertura de casca promoveu mais brotações. No segundo ciclo de crescimento, não houve efeito da aplicação da casca de arroz no solo para nenhuma das ordens de cladódios.

Para o pH, no desdobramento da cobertura de solo dentro dos anos de avaliação, no primeiro ciclo anual, não houve efeito da casca de arroz, e no seguinte, a cobertura de solo promoveu aumento do pH. Ao observar os anos de cultivo dentro da cobertura orgânica, o pH apresentou maior valor em 2018 que em 2019, independente da presença ou não da casca de arroz (Tabela 6).

Quanto ao TRA, ao comparar os efeitos da casca de arroz nos ciclos anuais de crescimento, em 2018 o valor do teor foi maior na presença da casca de arroz em comparação ao tratamento sem o material orgânico, e em 2019 não houve efeito da cobertura de solo. Na avaliação dos anos em cada cobertura de solo, houve diferença significativa ($P < 0,05$) para o TRA em 2019 com valores superiores em ambas coberturas em relação a 2018 (Tabela 6).

Tabela 6. Participação (%) da ordem dos cladódios na produtividade de matéria seca, pH e teor relativo de água (TRA) da palma forrageira IPA Sertânia em função da cobertura de solo com casca de arroz e anos de avaliação

Ano	Cobertura de solo		Erro padrão
	Com casca de arroz	Sem casca de arroz	
% cladódios primários			
2018	46,64Ba	61,11Aa	2,9249
2019	28,39Ab	27,94Ab	
% cladódios secundários			
2018	53,59Ab	38,85Bb	2,9136
2019	69,82Aa	66,94Aa	
pH			
2018	4,18Aa	4,20Aa	0,0192
2019	4,08Ab	4,02Bb	
TRA (%)			
2018	79,83Ab	72,56Bb	0,7715
2019	85,18Aa	85,32Aa	

Letras maiúsculas comparam na linha (cobertura de solo) e minúsculas, na coluna (ano). Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Sobre a proporção das ordens de cladódios na PMS, as respostas observadas condizem com a ordem natural das brotações, sendo as primeiras emissões, os primários e as seguintes, os secundários. Rocha et al. (2017) confirmaram que os cladódios de

primeira ordem, após maduros, são essenciais para o suporte às novas brotações, desde que haja preservação destes após o corte, manejo e resposta observadas neste estudo.

Durante o estabelecimento do palmal, os cladódios de primeira ordem são abastecidos unicamente pelo cladódio basal. Talvez por esta condição, a brotação desses cladódios primários não tenha sido influenciada pelo maior teor de água no microambiente que a cobertura de solo proporcionaria. Entretanto, os cladódios de segunda ordem, por se tratarem de estruturas jovens, e exigirem mais água para seu intenso funcionamento, podem ter sido favorecidos pela umidade, proporcionada pela casca de arroz. No ano seguinte, os efeitos da cobertura de solo não foram observados, provavelmente devido a cultura estar estabelecida, além do manejo de corte, que pode ter alterado os possíveis efeitos nos cladódios primários.

Essa relação de dependência hídrica entre as ordens de cladódios para o crescimento da palma foi estudada por Barrios et al. (2005), que cultivaram *Opuntia ficus indica* (L.) Miller em vasos, por três meses, regando 3 L de água semana⁻¹, no México, e avaliaram a fisiologia nos cladódios em condições úmidas e secas. Os autores sugeriram intenso movimento da água do cladódio mais maduro para os mais jovens e relacionaram redução no ganho diário de C, pelos cladódios basais, sob os eventos de estiagem. Além disso, obtiveram menor assimilação de CO₂ na fase IV do MAC (absorção líquida de CO₂ no final da tarde), sobretudo pelos cladódios mais novos e sob baixa quantidade de água. Por fim, verificaram que os cladódios filhos aceleram significativamente os efeitos da seca nos cladódios maternos pela competição do suprimento hídrico.

Sobre potencial hidrogeniônico (pH), Taiz et al. (2017) citam que em uma célula vegetal em repouso, o pH é cerca de 7,5 no citosol e geralmente se mantém constante, e na parede celular é de 5,5 ou mais baixo. Essa escala no ambiente extracelular pode se alterar num curto espaço de tempo em resposta aos diversos sinais endógenos e externos. Todavia, neste ensaio não se observou alterações no pH da palma IPA Sertânia, mesmo que sob intenso estresse salino.

Supõe-se, ainda, que o método utilizado para determinar o pH não tenha sido capaz de medir mais profundamente essa resposta diante dos tratamentos salinos testados para esta cactácea. Sob objetivos mais simples de caracterização, Deus et al. (2017) avaliaram a qualidade pós-colheita de brotos da palma IPA Sertânia. Foi feito suco dos cladódios para determinação do pH, que apresentou valor médio de 4,0.

O valor médio do pH registrado pelos autores acima citados, foi próximo ao observado neste ensaio, que por se tratar de uma planta de metabolismo MAC, aceita-se valores mais baixos, devido maior acúmulo de ácido málico, em comparação às plantas C3 e C4. Segundo Taiz et al. (2017) há pouco conhecimento sobre as mudanças no pH nos vegetais. Ao se considerar estas alterações fisiológicas na palma forrageira e sob estresse salino, as informações são ainda mais escassas. Desse modo, talvez não seja possível afirmar se esses valores de pH observados são característicos da fisiologia da espécie, e qual a influência dos manejos aplicados.

Verificou-se que o pH foi mais ácido na palma no segundo ano de avaliação, sobretudo na presença da casca de arroz, devido a maior umidade do solo pela cobertura. Sobretudo pelo aporte hídrico em decorrência da precipitação pluvial antes e durante o período das medições da acidez (15, 60 e 67 mm em novembro e dezembro/2018 e janeiro/2019).

O pH foi menor no segundo ciclo anual de cultivo. Um fator diferente que ocorreu neste ano, foi a ocorrência de chuva por ocasião das medições. Talvez esse fato tenha favorecido a elevação da fotossíntese na palma, e por sua vez, aumentado o acúmulo de ácido málico durante a noite, haja vista o metabolismo dessas cactáceas, e dos horários das coletas dos cladódios para determinação do pH, que ocorreram às 18 h e às 6 h, turnos em que há maior concentração dessa acidez nos vacúolos das células.

O TRA foi beneficiado por este volume extra de precipitação no segundo ciclo anual de cultivo, apresentando maior conteúdo relativo de água nos cladódios. Conforme observado na espessura e TRA dos cladódios, que são características relacionadas entre si e foram influenciadas pela interação da cobertura do solo e anos de avaliação, ocasião em que houve maior umidade no sistema do palmar e possibilitou aumento do acúmulo de água nos órgãos da palma.

A importância da medição do TRA ocorre em função desta característica ser um dos fatores externos que afetam a abertura e fechamento dos estômatos para absorção do CO₂, além da luz, teor de gás carbônico e temperatura (Bianchi et al., 2016). Os teores relativos encontrados nos cladódios, acima de 76%, indicam que a palma IPA Sertânia foi capaz de manter o armazenamento de água durante os ciclos anuais de desenvolvimento frente a ocorrência das chuvas e do manejo de irrigação a que foi submetida.

A medida do TRA aponta se há deficiência de água nas folhas das plantas, no caso da palma forrageira, nos caules modificados (cladódios). Com este propósito, estas medições, relacionadas com o teor de umidade de solo, são utilizadas para auxiliar no manejo de irrigação. Assim, o TRA é relacionado com a tolerância dos vegetais ao déficit hídrico, haja vista que menores reduções no TRA foram encontradas em genótipos de gramíneas menos susceptíveis à seca e de satisfatórios rendimentos (Cha-Um et al., 2010; Jercic et al., 2011; Kumar et al., 2011).

Pela própria natureza das cactáceas, que as torna altamente eficientes no uso da água, os elevados teores relativos de água obtidos neste estudo confirmam sua capacidade de armazenamento hídrico, imediatamente após à oferta deste recurso, seja pela maior umidade, proporcionada pela cobertura da casca de arroz (Tabela 6), ou pela ocorrência de precipitação pluvial (Figura 4). Apesar da irrigação no período de estiagem, reforça-se que a quantidade de água utilizada foi pequena e de baixa qualidade (salina).

Os menores teores obtidos neste estudo ocorreram no primeiro ano de crescimento, onde houve maior demanda de água pelo estabelecimento da cultura, e na ausência da casca de arroz, devido a menor umidade no solo. Scalisi et al. (2016) afirmam que sob menor aporte hídrico, diminui o teor de água no solo e implica no armazenamento e hidratação dos cladódios basal e recém brotados, sobretudo estes que são fotossinteticamente mais ativos.

Médias de TRA acima de 80% para palma *Opuntia* foram obtidas por Barrios et al. (2005) e Scalisi et al. (2016), valor aproximado do encontrado neste ensaio para a *Nopalea*, todas sob eventos de irrigação. Ressalta-se que no segundo ano de avaliação os valores para o TRA foram maiores provavelmente em função da maior precipitação pluvial naquele ano, no mesmo período em que se realizou as coletas (janeiro/2019), em comparação com 2018.

Segundo Scalisi et al. (2016) para a espessura do cladódio, a umidade do solo exerce mais efeito que a temperatura, caso as plantas estejam sob déficit hídrico. Neste estudo com a cobertura da casca de arroz, a manutenção da quantidade de água para as raízes foi garantida e favoreceu para obtenção de cladódios mais espessos e de maior TRA, e estas características são importantes para suprir as necessidades da palma para a realização da fotossíntese.

O teor de MS na ausência da cobertura foi mais alto, haja vista menor acúmulo de água no sistema solo-planta e, conseqüentemente, nos cladódios, conforme observado nas respostas para espessura dos cladódios e TRA (Tabela 6), função da menor disponibilidade de umidade no solo exposto, virtude da maior perda de água para atmosfera.

Quando há suprimento hídrico adequado há estímulo de brotação e manutenção satisfatória da espessura e do TRA dos cladódios, conforme observado por Scalisi et al. (2016) e neste estudo. A manutenção da umidade pela cobertura de solo favoreceu o número, a turgescência, o teor relativo de água e a área dos cladódios, além da PMV (Tabela 6). Ao contrário, períodos de seca tornam os cladódios menos espessos e diminuem o TRA, segundo os autores citados acima.

Os efeitos do estresse salino não se apresentaram em mais essas duas variáveis na palma forrageira, indicando razoável adaptação da fisiologia dessas cactáceas, conforme os resultados desta pesquisa. E a partir das demais respostas obtidas, nas quais não se apresentou efeitos dos níveis de salinidade para maioria das características estudadas, presume-se que as plantas tenham se adaptado às condições dos teores de sais aplicados.

Algumas respostas não conclusivas quanto aos efeitos da utilização da casca de arroz, podem ter sido comprometidas, devido a problemas de manutenção da cobertura. Por se tratar de um material muito leve, vento e chuva, mais a declividade do terreno, carrearam parte da cobertura em algumas sub parcelas. Contudo, foi realizada a reposição do material em toda a área, em aproximadamente 50% do volume inicial distribuído, por duas vezes. No primeiro ano de cultivo, após quatro meses da aplicação desse tratamento, e a seguinte, logo depois da primeira colheita anual.

A composição da casca de arroz, que contém altos teores matéria de seca (92%) e de componentes fibrosos de baixa degradação (FDN = 65%, FDA = 61%, lignina = 21% e celulose = 40%), e por sua vez, baixo teor de CNF (8%), atende uma característica importante para cobertura de solo, exibindo-se como um material de baixa decomposição para o sistema solo-planta. Os valores de N, P, MS, MO e CO remanescentes praticamente se mantiveram ao longo dos 512 dias, confirmando lenta degradação da casca de arroz. Mas como mencionado anteriormente a plena atuação desse condicionador orgânico pode ter sido prejudicada pela perda parcial do produto em alguns pontos do campo durante os ciclos anuais de cultivos.

O tempo médio de decomposição da casca de arroz é de cinco anos (Mayer et al., 2006), devido as altas concentrações de carbono ($0,48 \text{ g kg}^{-1}$) e de lignina, presentes na celulose (Bezerra Neto e Barreto, 2011), responsáveis pela baixa taxa de degradação (Wagner e Wolf, 1999), por limitar a digestão da parede celular (Soest, 1994). Entretanto, para se obter efeitos mais conclusivos da aplicação dessa cobertura, é necessário que esta permaneça totalmente no local, o que não foi fisicamente sempre possível, sobretudo no segundo ano de avaliação. Por se tratar de material leve, houve carreamento de parte da cobertura em alguns pontos da área, devido ação do vento e da precipitação pluviométrica, acentuado pela declividade do terreno.

Não houve efeito significativo ($P>0,05$) dos níveis de salinidade da água de irrigação para nenhuma das características em estudo.

Foi verificado efeito significativo ($P<0,05$) da cobertura de solo de casca de arroz para espessura e área de cladódio (AC), teor de matéria seca (MS), número de cladódios por planta e produtividade de matéria verde (PMV), Tabela 7. A casca de arroz promoveu maior turgescência (2,13 cm), AC (323 cm^2), brotação (9,9 cladódios planta⁻¹) e PMV ($96,60 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) para palma forrageira IPA Sertânia. Já o teor MS foi maior na ausência da cobertura ($84,5 \text{ g kg}^{-1}$).

A função da cobertura de solo é protegê-lo da perda de água excessiva por evaporação e essa condição foi mantida em alguns pontos do campo, influenciando positivamente as características acima listadas. Outro fator muito importante é a redução da variação de temperatura do solo, conforme verificado por Ribas et al. (2015) que verificaram baixa amplitude térmica diária na superfície quando coberta com palha de capim-sudão (*Shorghum sudanense*).

Tabela 7. Espessura e área de cladódio (AC), teor de matéria seca (MS), número de cladódios por planta e produtividade de matéria verde (PMV) da palma forrageira IPA Sertânia em função da cobertura de solo com casca de arroz

Cobertura de solo	Espessura (cm)	AC (cm^2)	Teor de MS (g kg^{-1})	Número de cladódios (planta)	PMV ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$)
Com casca	2,13a	323,19a	78,2b	9,93a	96,60a
Sem casca	1,98b	292,35b	84,5a	8,90b	78,89b
Erro padrão	0,6684	10,3570	0,1544	0,3014	0,4721

Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A influência da cobertura do solo sobre as características apresentadas (Tabela 7) demonstra o atributo desse composto orgânico sobre o solo com respostas positivas para o cultivo da IPA Sertânia, pois a aplicação desse condicionador orgânico resultou em uma maior PMV. Amorim et al. (2017) cultivaram palma forrageira com cobertura morta (bagaço de capim elefante) e obtiveram incrementos expressivos na taxa de acúmulo mensal de matéria seca de forragem.

A cobertura morta reduz a taxa de evaporação e, conseqüentemente, a variação da umidade do solo (Kumar e Dey, 2011). Carvalho et al. (2017) utilizaram cobertura orgânica de plantas daninhas de folha estreita no cultivo da palma forrageira e observaram diminuição da variabilidade da umidade do solo, notadamente sob eventos de precipitação. Desta forma, propicia-se ambiente mais adequado para incrementos na área dos cladódios e na produtividade, verificados neste estudo.

Observou-se efeito significativo ($P < 0,05$) dos anos de avaliação para altura e largura das plantas, número de cladódios por planta, espessura, perímetro, comprimento, largura e área dos cladódios (AC) e teor de matéria seca (MS), para as quais, as médias encontram-se na Tabela 8. Todas as características apresentaram maiores valores no segundo ano de avaliação, exceto o teor MS e pH.

Tabela 8. Altura e largura das plantas, número de cladódios por planta, espessura, perímetro, comprimento, largura e área de cladódio e teor de matéria seca da palma forrageira IPA Sertânia em função do ciclo de crescimento

Características	Ano		Erro padrão
	2018	2019	
Altura planta (cm)	64,16b	74,45a	1,6338
Largura planta (cm)	76,01b	89,34a	2,5323
Número de cladódios (planta)	8,21b	10,61a	0,3104
Espessura cladódio (cm)	1,73b	2,39a	0,7088
Perímetro cladódio (cm)	68,08b	72,04a	0,9897
Comprimento cladódio (cm)	29,24b	31,00a	0,4750
Largura cladódio (cm)	14,98b	15,50a	0,2444
AC (cm ²)	292,13b	323,41a	9,4314
Teor de MS (g kg ⁻¹)	103,4a	59,3b	0,1710

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A significativa influência dos períodos de avaliação (ciclos de crescimento) sobre quase a totalidade das características morfológicas da palma IPA Sertânia provavelmente foi função dos estádios fenológicos das plantas. No primeiro ano, o palmar encontrava-se

em formação, com considerável alocação dos nutrientes para formação de raízes, fortalecimento do cladódio basal e dos primários. No segundo ano, a cultura estava plenamente estabelecida, sobretudo mais adaptada ao estresse salino imposto e, portanto, capaz de alocar as fontes nutricionais para o pleno desenvolvimento vegetal, proporcionando maiores dimensões dos cladódios e das plantas.

A maior precipitação pluviométrica ocorrida no segundo ano de avaliação (acréscimo de 164 mm em relação ao primeiro ciclo anual de cultivo) pode ter favorecido o aumento das dimensões dos cladódios e da planta. Scalisi et al. (2016) observaram alta sensibilidade do crescimento dos cladódios à reidratação mesmo após prolongados períodos de seca, principalmente pela elevada eficiência do uso da água das cactáceas.

Tobias et al. (2010) descreveram três fases de crescimento para palma forrageira, a latente (cerca de 40 dias); o aumento exponencial com ampliação do sistema radicular e alta captação de CO₂ (aos 200 dias) e por último, a estabilização (acima de 200 dias).

Rocha et al. (2017) avaliaram três cultivares de palma forrageira nos intervalos de 4, 8, 12 e 16 meses e confirmaram que o fator tempo favorece para maior número, peso, AC e IAC dos cladódios, o que confere mais fotossíntese e por conseguinte, elevação da produtividade, respostas observadas neste estudo.

Outro fator que beneficiou o crescimento dos cladódios e das plantas no segundo ano, foi o manejo de colheita, preservando dois cladódios primários, haja vista a necessidade de manter uma área de cladódio residual para promover uma rebrota vigorosa. Os valores mensurados nas plantas e cladódios nesta pesquisa estão de acordo com os obtidos por Silva et al. (2015a) que também estudaram a cultivar IPA Sertânia.

Silva et al. (2010) relatam que os coeficientes de correlação para a variável altura da palma forrageira indicam que as plantas mais altas possuem maior largura e cladódios mais largos e compridos, observado nesta biometria.

O número total de cladódios, a altura e a largura da planta também são positiva e altamente correlacionadas com IAC (Pinheiro et al., 2014). Neste estudo o índice foi influenciado pela interação entre os níveis de salinidade da água e os anos de avaliação (Tabela 5), o que pode explicar as diferenças encontradas do efeito isolado do ano para aquelas três características.

A falta de resposta da palma IPA Sertânia em função dos manejos aplicados, irrigação com água salina e cobertura orgânica, sob quase totalidade das características

morfológicas estão de acordo com Jacobo e González (2001), que alegam que a morfologia é mais influenciada pelo cultivar do que pelas manipulações do meio.

Silva et al. (2014a) observaram que a morfologia dos cladódios é característica para cada cultivar, e o ambiente mais o manejo aplicado influenciam, essencialmente, na dimensão e na brotação por planta.

O conhecimento das variáveis morfométricas, como altura da planta, taxa de brotação, alongamento e espessura dos cladódios, é importante para se avaliar o potencial de adaptação de uma espécie ou cultivar ao ambiente onde é cultivada (Sales et al., 2006). Neste estudo, essas características não foram influenciadas pelos níveis de salinidade impostos, sugerindo que se adaptaram ao meio, ou que o efeito gerado não foi suficiente para promover mudanças, até o presente momento, da coleta dos dados.

Quanto ao teor MS, como mencionado anteriormente, a ocorrência incomum de mais de 100 mm de precipitação pluvial durante os dois meses que antecederam a colheita de 2019 ocasionou rápido e maior acúmulo de água nos cladódios, e conseqüentemente, elevação da umidade. Esta resposta corrobora com Santos et al. (2005) que citam os diversos fatores que influenciam na composição da palma como espécie, idade, ordem do cladódio, densidade, época do ano e manejo, estes dois últimos observados nesta pesquisa.

A pluviosidade dilui os sais no sistema solo-planta, melhorando as condições do meio para as atividades fotossintéticas dos vegetais, principalmente para palma forrageira que possui alta eficiência do uso da água, e responde rapidamente sob a ocorrência de precipitação, ainda que em pequenas quantidades (De Kock, 2001; Sampaio, 2005).

Diante das condições climáticas impostas à IPA Sertânia e dos resultados obtidos neste ensaio, destaca-se a importância da suplementação de água via irrigação, ainda que utilizando pequena lâmina e salina, para o cultivo dessa cactácea em áreas sob semelhantes condições ambientais, principalmente em solos de satisfatórias condições de drenagem e textura arenosa.

Observou-se que a irrigação aplicada, no decorrer da época seca, mitigou o déficit hídrico, principal limitante à palma forrageira em ambientes de clima noturno quente e seco. No manejo aplicado viabilizou-se a turgescência dos cladódios, o crescimento das plantas, e por conseguinte, a produtividade da palma, numa localidade em que na ausência

da complementação hídrica, essas plantas não se desenvolvem, murcham e até morrem com o avanço do período seco.

CONCLUSÕES

A salinidade da água influenciou negativamente o desempenho da palma IPA Sertânia no primeiro ciclo anual. Tais implicações não foram observadas no segundo ano de avaliação. Em função dessas respostas, a água salina pode ser utilizada, desde que sob composição química aproximada, solo com características químico-física semelhantes, principalmente textura arenosa que possibilite drenagem satisfatória, complementação hídrica e manejo de irrigação similares.

O favorecimento da presença da casca de arroz sobre algumas características morfológicas e elevação da produtividade de matéria verde, sugere utilização desse resíduo como cobertura de solo. Todavia, em função do material ser leve e facilmente carregado, deve ser repostado periodicamente.

Devido a palma forrageira se tratar de uma cultura perene, torna-se necessário outras pesquisas sobre salinidade na água, para consolidação dos resultados obtidos, quanto ao desempenho produtivo da espécie vegetal e em relação a salinização dos solos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

Amorim, D.M.; Silva, T.G.F.; Pereira, P.C.; Souza, L.S.B.; Minuzzi, R.B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.47, p.62-71, 2017.

Amorim, J.R.A.; Cruz, M.A.S.; Resende, R.S.; Bassoi, L.H.; Silva Filho, J.G. Espacialização da porcentagem de sódio trocável do solo no perímetro irrigado Califórnia, em Canindé de São Francisco, Sergipe. *Boletim de pesquisa*. (61). Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 17 p., 2010.

Barrios, E.P.; Hernández, J.Z.; Espinoza, V. C.R.; Tapia, A.V.; Nobel, P.S. Young daughter cladodes affect CO₂ uptake by mother cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Annals of Botany*, v.95, p.363-369, 2005.

Barrs, H.D.; Weatherley, P.E. A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, v.15, p.413-428, 1962.

Bezerra Neto, E.; Barreto, L.P. Análises químicas e bioquímicas em plantas. Recife: UFRPE, Editora Universitária da UFRPE, 261 p., p. 173-176, 2011.

Bianchi, L.; Germino, G.H.; Silva, M.A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. *Acta Iguazu*, v.5, n.4, p. 15-32, 2016.

Carvalho, A.A.; Silva, T.G.F.; Souza, L.S.B.; Moura, M.S.B.; Araújo, G.G.L.; Tolêdo, M.P.S. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.7, p.481-487, 2017.

Cha-Um, S.; Nhung, N.T.H.; Kirdmanee, C. Effect of mannitol and salt induced iso-osmotic stress on proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of rice cultivars (*Oryza sativa* l. spp *indica*). *Pakistan Journal of Botany*, v.42, p.927-941, 2010.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Diagnóstico do município de Apodi, estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p, 2005.

Cruz Neto, J.F.; Morais, J.E.F.; Souza, C.A.A.; Carvalho, H.F.S.; Rodrigues, C.T.A.; Silva, T.G.F. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v.2, n.2, p.98-106, 2017.

Cunha, E.Q.; Stone, L.F.; Moreira, J.A.A.; Ferreira, E.P.B; Didonet, A.D.; Leandro, W.M. Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho. I - Atributos físicos do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.589-602, 2011.

Dantas, F.D.G. (2015). Lâminas de água salina e doses de adubação orgânica na produção de palma miúda adensada no semiárido. Dissertação (Mestrado em produção animal). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, 92p.

Dantas, T.B.; Ferreira, M.M.; Alves, S.M.C.; Holanda, J.S.; Melo, S.B. Qualidade química e biológica das águas dos rios Seridó e Barra Nova no perímetro urbano da cidade de Caicó, RN. *Irriga, Botucatu*, v.18, n.1, p.293-303, 2013.

Demattê, J.L.I. Ação do gesso e do calcário da relação cálcio:magnésio do solo e na produtividade da cana de açúcar. *Informações agronômicas*, n.136, p.11-16, 2011.

Deus, M.V.C.; Paiva, L.G.; Souza, P.A. Processamento mínimo de brotos de palma (*Opuntia ficus-indica* Mill.) para o consumo humano. Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, 2. 2017. Campina Grande: Anais... Paraíba: CONIDIS, 2017.

Dias, N.D.; Blanco, F.F.; Souza, E.R.; Ferreira, J.F.S.; Sousa Neto, O.N.; Queiroz, I.S.R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F.; Gomes Filho, E. (Org.). Manejo da Salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. Ed. Fortaleza: Inctsal, 2016. v.1, p.151-161.

Diniz, W.J.S.; Silva, T.G.F.; Ferreira, J.M.S.; Santos, D.C.; Moura, M.S.B.; Araújo, G.G.L.; Zolnier, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid region. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.52, n.9, p.724-733, 2017.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V.F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (eds). A palma no Nordeste do Brasil, conhecimento atual e novas perspectivas de uso. 1. Recife. Ed. UFRPE, p.105-128, 2005.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V.F.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Farias, I.; Lima, L.E.; Ferreira, R.L.C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* miller under different N and P fertilizations and plant population in north east Brazil. Journal of Arid Enviroments, v.67, n.3, p.357-372, 2006a.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V.F.; Mello, A.C.L.; Santos, D.C.; Cunha, M.V; Lira, M.A.; Andrade, M.A; Silva, M.C. Forage potential of cacti on drylands. Acta Horticulturae (ISHS), v.1067, p.181-186, 2015.

Dubeux Jr., J.C.B.; Sollenberger, L.E.; Interrante, S.M.; Vendramini, J.M.B.; Stewart Jr., R.L. Litter decomposition and mineralization in bahiagrass pastures managed at different intensities. Crop Science, v.46, p.1305-1310, 2006.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Atributos diagnósticos e outros atributos. In: Santos, H.G. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018, 590 p.

Farias, I.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Tavares Filho, J.J.; Santos, M.V.F.; Fernandes, A.P.M; Santos, V.F. Manejo de colheita e espaçamento da palma forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no Agreste de Pernambuco. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.35, n.2, p.341-347, 2000.

Farias, I.; Santos, D.C.; Dubeux Jr., J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Universitária: UFPE, p.81-103, 2005.

Feitosa, F.A.C.; Diniz, J.A.O. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo, 2, 2011, São Paulo: Resumos... São Paulo: ABAS, 2017.

Ferreira, M.A.; Bispo, S.V.; Rocha Filho, R.R.; Urbano, S.A.; Costa, C.T.F. The use of cactus as forage for dairy cows in semi-arid regions of Brazil. In: Konvalina, P. (ed.) Agricultural and Biological Sciences. Organic Farming and Food Production, v.8, p.169-189, 2012.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk, London, 2011, 308 p.

Freire, J.L.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Bezerra Neto, E.; Lira, M.A.; Cunha, M.V.; Santos, D.C.; Amorim, S.O.; Mello, A.C.L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.90, n.4, p.3893-3900, 2018.

Freire, M.B.G.S.; Freire, F.J. (2007). Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R.F.; Alvarez V.V.H.; Barros, N.F.(Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, 16:929-954.

Freire, M.B.G.S.; Ruiz, H.A.; Ribeiro, M.R.; Ferreira, P.A.; Alvarez V.V.H.; Freire, F.J. Estimativa do risco de sodificação de solos de Pernambuco pelo uso de águas salinas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.227-232, 2003.

Holanda, J.S.; Amorim, J.R.A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A.C.; Sá, F.V.S. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F. (eds.) *Manejo da salinidade na agricultura. Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSAL/CNPQ, v.4, p.35-50, 2016.

Holanda, J.S.; Dantas, J.A.; Medeiros, A.A.; Ferreira Neto, M.; Medeiros, J.F.; Guedes, F.X. Indicações para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte. Parnamirim: EMPARN, Documentos 46, 2017, 63p.

Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet. Estações convencionais – Dados de precipitação. 2019. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODI1OTA=>>>. Acesso em 06 mar.2019.

Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet. Normais climatológicas do Brasil 1981-2010. Brasília, DF, 2018. Edição digital. 766p. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/normais_climatologicas/mobile/index.html#p=1> Acesso em 06 mar.2019.

Jacobo, C.M; González, S.P. Germoplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production. In: Jacobo, C.M.; González, S.P. (eds). *Cactus (Opuntia spp.) as forage*. Rome: FAO, 2001. p. 21-28.

Jerčić, I.H.; Barić, M.; Kereša, S.; Mihovilović, A.; Poljak, M. Effects of water déficit on chlorophyll content, relative water content and grain yield of six croatian winter wheat genotypes. *Journal Novenytermeles Crop Production*, v.60, n.1, p.333-337, 2011.

Kumar, R.R.; Karajol, K.; Naik, G.R. effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in pigeonpea (*Cajanus cajan* l. millsp.). *Recent Research in Science and Technology*, v.3, n.1, p.148-152, 2011.

Kumar, S.; Dey, P. Effects of different mulches and irrigation methods on root growth, nutrient uptake, water-use efficiency and yield of strawberry. *Scientia Horticulturae*, v.127, p.318-324, 2011.

Lacerda, C.F.; Cambraia, J.; Oliva M.A.; Ruiz, H.R. Influência do cálcio sobre o crescimento e solutos em plântulas de sorgo estressadas com cloreto de sódio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.289-295, 2004.

Larcher, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos. RiMa. 2000. 531 p.

Lima, G.F.C.; Rêgo, M.M.T.; Aguiar, E.M.; Silva, J.G.M.; Dantas, F.D.G.; Guedes, F.X.; Lôbo, R.N.B. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Nopalea* forage cactus. *Acta Horticulturae (ISHS)*, v.67, p.253-258, 2015.

Lima, G.F.C.; Rêgo, M.M.T.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, R.N.B.; Silva, J.G.M.; Aguiar, E.M. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. *Revista Caatinga*, v.29, n.2, p.481-488, 2016.

Lima, L.R.; Silva, T.G.F.; Pereira, P.C.; Morais, J.E.F.; Assis, M.C.S. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga*, v.31, n.1, p. 191-201, 2018.

Littell, R.C.; Henry, P.R.; Ammerman, C.B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science*, v.76, n., p.1216-1231, 1998.

Mayer, F.D.; Hoffmann, R.; Ruppenthal, J.A. Gestão energética, econômica e ambiental do resíduo casca de arroz em pequenas e médias agroindústrias de arroz. In: *Simpósio de Engenharia da Produção*, 13. 2006. Bauru: Anais... São Paulo: SIMPEP, 2006.

Medeiros, J.F.; Gheyi, H.R.; Costa, A.R.F.C.; Tomaz, H.V.Q. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (ed.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza, INCTSAL, 504, p 2016.

Melo, R.M.; Barros, M.F.C.; Santos, P.M.; Rolim, M.M. Correção de solos salino-sódicos pela aplicação de gesso mineral. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.4, p.376-380, 2008.

Morais, J.E.F.; Silva, T.G.F.; Queiroz, M.G.; Araújo, G.G.L.; Moura, M.S.B.; Araújo Jr., G.N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.21, n.4, p.273-278, 2017.

Nadaf, S.K.; Safa'a M.; Al-Farsi; Saleh, A.; Al-Hinai; Aliya, S.; Al-Hinai; Aziz A.S.; Al-Harthy; Saif, A.; Al-Khamisi; Al-Bakri, A.N. Potential of forage cactus pear accessions under saline water irrigation in arid áreas. *Journal of the Professional Association for the Development of Cacti*, v.20, p.68-81, 2018.

Nobel, P.S.; Bobich, E.G. Environmental biology. In Nobel, P.S. (ed). Cacti, biology and uses. Ed. University of California Press, Los Angeles, California, United States of America, p.57-74, 2002.

Nobel, P.S. Biologia Ambiental. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Barrios, E.P. (Eds) Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João pessoa: SEBRAE/PB. 2001. 216 p.

Oliveira, A.M.; Dias, N.S.; Gurgel, G.C.S.; Rabelo, L.N.; Melo, M.R.S.; Santos, M.V. Impactos físico-químicos do descarte de rejeito salino em Neossolo e Chernossolo do Oeste Potiguar, Brasil. Irriga, Botucatu, v.23, n.3, p.413-425, 2018.

Paniagua, N.C.; Luna, A.A.E.; Hernández, J.J.M. Effects of salinity on growth and nutrient uptake of micropropagated prickly-pear cactus (*Opuntia* spp) plantlets. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, v.7, n.2, p.127-132, 2001.

Pedrotti, A.; Chagas, R.M.; Ramos, V.C.; Prata, A.P.N.; Lucas, A.A.T.; Santos, P.B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v.19, n.2, p.1308-1324, 2015.

Pinheiro, K.M.; Silva, T.G.F.; Carvalho, H.F.S.; Santos, J.E.O.; Morais, J.E.F.; Zolnier, S.; Santos, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.49, n.12, p.939-947, 2014.

Rêgo, M.M.T.; Lima, G.F.C.; Silva, J.G.M.; Guedes, F.X.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, R.N.B. Morfologia e rendimento de biomatéria 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.

Ribas, G.G.; Streck, N.A.; Silva, S.D.; Rocha, T.S.M.; Langner, J.A. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. Revista Engenharia Agrícola, v.35, n.5, p.817-828, 2015.

Rocha, R.S.; Voltolini, T.V.; Gava, C.A.T. Características produtivas e estruturais de cultivares de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. Archivos de Zootecnia, v.66, n.255, p.365-373, 2017.

Ruiz, H.A.; Sampaio, R.A.; Oliveira, M.; Venegas, V.H.A. Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.39, n.11, p.1119-1126, 2004.

Sales, A.T.; Andrade, A.P. Potencial de adaptação de cultivares de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenillifera*) no s paraibano. In: Congresso Nordestino de Produção Animal. 4. 2006. Petrolina. Resumos... Petrolina: CNPA, 2006. p. 434-438.

Santos, D.C.; Silva, M.C.; Dubeux Jr., J.C.B.; Lira, M.A.; Silva, R.N. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: Novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. Revista Científica de Produção Animal, v.15, n.2, p.111-121, 2013.

Santos, D.C.; Farias, I.; Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Arruda, G.P.; Coelho, R.S.B.; Dias, F.M.; Warumby, J.F.; Melo, J.N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2002. 48 p.

Santos, J.R.C.; Fernandes, C.N.V.; Filho, J.N.O.; Silva, A.R.A.; Fernandes, J.N.V.; Saraiva, K.R. Adubação nitrogenada e cobertura do solo no cultivo da alface irrigada. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v.12, n.1, p.2327-2337, 2018.

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.76-89, 2017.

Santos, M.V.F.; Ferreira, M.A.; Batista, A.M.V. Valor nutritivo e utilização da palma forrageira na alimentação de ruminantes. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B.) (eds). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: UFPE, 2005. p.143-162.

Sampaio, E.V.S. Fisiologia da palma. In: Menezes R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds). A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. UFPE, 2005, p. 43-56.

Scalisi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Lo Bianco, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. Environmental and Experimental Botany, v.122, p.158-167, 2016.

Silva, D.J.; Queiroz, A.C. Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 235p, 2006.

Silva, J.L.A.; Medeiros, J.F.; Alves, S.S.V.; Oliveira, F.A.; Silva Jr., M.J.; Nascimento, I.B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v.18, p.66-72, 2014b.

Silva, N.G.M.; Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Mello, A.C.L.; Silva, M.C. Relação entre características morfológicas e produtivas de cultivares de palma-forrageira. Revista Brasileira de Zootecnia, v.39, n.11, p.2389-2397, 2010.

Silva, N.G.M.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B; Cunha, M.V.; Lira, M.A.; Ferraz, I. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. Revista Caatinga, v.29, n.4, p.976-983, 2016.

Silva, T.G.F.; Miranda, K.R.; Santos, D.C.; Queiroz, M.G.; Silva, M.C.; Cruz Neto, J.F.; Araújo, J.E.M. Área do cladódio de cultivares de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.9, n.4, p.633-641, 2014a.

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 cultivares de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. Revista Caatinga, v.28, n.2, p.10-18, 2015a.

Silva, T.G.F.; Primo, J.T.A.; Moura, M.S.B.; Silva, S.M.S.; Morais, J.E.F.; Pereira, P.C.; Souza, C.A.A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus cultivars under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.7, p.515-525, 2015.

Silva, T.G.F.; Primo, J.T.A.; Silva, S.M.S.; Moura, M.S.B.; Santos, D.C.; Silva, M.C.; Araújo, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de cultivares de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro. *Bragantia*, v.73, n.2, p.184-191, 2014.

Silveira, J.A.G.; Silva, S.L.F.; Silva, E.N.; Viégas, R.A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C. F.; Gomes Filho, E. (Eds.). *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza, INCTSAL, 504, 2016.

Snyman, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South Africa Journal of Botany*, v.72, p.434-441, 2006.

Soest, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.Ed. New York: Cornell University Press, 476p, 1994.

Sousa, P.G.R.; Viana, T.V.A.; Carvalho, C.M.; Sousa, A.M.; Costa, C.P.M.; Azevedo, B.M. Efeito de diferentes lâminas de irrigação e cobertura do solo no crescimento da cultura do sorgo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.11, p.1528-1537, 2017.

Souza, L.S.B.; Moura, M.S.B.; Silva, T.G.F.; Soares, J.M.; Carmo, J.F.A.; 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:p.23-28.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.

Tobias, H.M.R.; Rivera, J.R.A.; Rodriguez, J.M.P. Productivity of *Opuntia* ssp. and *Nopalea* sp. (Cactacea) growing under greenhouse hydroponics system. *Journal Food Agriculture Environmental*, v.8, p.660-665, 2010.

Véliz, J.; Salazar, V.F.; M. García. Efecto de la salinidad en *Aloe vera* y *Opuntia ficus indica*: plantas CAM de interés comercial. *Revista de la Facultad de Agronomía*, v.24, n.1, p.337-341, 2007.

Wagner, G.H.; Wolf, D.C. Carbon transformations and soil organic matter formation. In: Sylvia, D.M.; Fuhrmann, J.J.; Hartel, P.G.; Zuberer, D.A. (eds.) *Principles and applications of soil microbiology*. New Jersey: Prentice Hall, p.218-256, 1999.

CAPÍTULO 3

Respostas morfológicas e produtivas de cultivares de palma forrageira sob densidades de plantio e horários de irrigação

CAPÍTULO 3

Respostas morfológicas e produtivas de cultivares de palma forrageira sob densidades de plantio e horários de irrigação

RESUMO

O incremento de produtividade da palma forrageira tem sido observado quando sob complementação hídrica, especificamente em localidades de baixa altitude no semiárido brasileiro. Deste modo, objetivou-se avaliar respostas morfológicas e produtivas de cultivares dessa cactácea sob densidades de plantio e horários de irrigação, em duas colheitas anuais. O experimento foi conduzido em Apodi-RN, Brasil. Os tratamentos foram inteiramente casualizados em parcelas sub-sub-divididas, com quatro repetições. Os horários de irrigação (manhã e noite) foram aplicados nas parcelas, as cultivares de palma forrageira (Orelha de Elefante Mexicana, Miúda e IPA Sertânia) nas sub-parcelas, e as densidades de plantio (20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹) nas sub-sub parcelas. A lâmina de água aplicada foi de 15 mm semana⁻¹, via aspersão. Quanto as características morfológicas, houve efeito significativo (P<0,05) das cultivares durante os dois anos de avaliação. A Orelha EM apresentou maior largura (19 cm), perímetro (69 cm), área e índice de área dos cladódios (AC = 354 cm² e 5,1 m²/m², respectivamente). A IPA Sertânia, apresentou maior comprimento (28 cm) e espessura (1,91 mm) de cladódios. E a Miúda exibiu maior altura de planta (86 cm). A Orelha EM e Miúda apresentaram os maiores IAC (5,0 m²/m²). A densidade de plantio foi significativa (P<0,05) para o IAC no decorrer dos dois anos, tendo o maior adensamento favorecido a elevação do índice (6,0 m²/m²). Sobre as respostas produtivas, no primeiro ano de crescimento, ocorreu interação significativa (P<0,05) entre os horários de irrigação e as densidades de plantio para a produtividade de matéria verde (PMV), quando o período diurno e o adensamento de 80 mil plantas ha⁻¹ promoveram maior rendimento (197 Mg ha⁻¹ ano⁻¹). Apresentou-se efeito significativo (P<0,05) de interação das cultivares e densidades de plantio para número de cladódios, produtividades de matéria verde e seca (PMV e PMS) e eficiência do uso da água (EUA), destacando-se a Miúda e Orelha EM. A Miúda emitiu 53 unidades de cladódios sob 20 mil plantas ha⁻¹ e PMV, PMS e EUA de 212 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, 23 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 19 kg de MS kg⁻¹ de água, respectivamente, sob o maior adensamento. A Orelha EM alcançou 217 e 22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e 19 kg de MS kg⁻¹

de água de PMV, PMS e EUA nesta ordem, sob a menor densidade de plantio. No segundo ano, o horário de irrigação foi significativo ($P < 0,05$), e o período diurno possibilitou maior PMV ($197 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), PMS ($17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e EUA ($12 \text{ kg de MS kg}^{-1}$ de água). O efeito das cultivares foi significativo ($P < 0,05$) para PMS e EUA, com evidência novamente para a Miúda. O horário de irrigação diurno seria o mais eficiente para aumentar produtividade. Densidades entre 20 a 40 mil plantas ha^{-1} possibilitam rendimentos acima de $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. E as cultivares Orelha EM e Miúda são recomendadas por favorecer aumento produtivo.

Palavras-chave: complementação hídrica, espaçamento de plantio, *Nopalea*, *Opuntia*, palma irrigada, semiárido

Morphological and productive responses of spineless forage cacti cultivars under planting densities and irrigation times

ABSTRACT

The increase of spineless forage cactus productivity has been observed when under water complementation, specifically in low altitude locations in the Brazilian semiarid. Thus, the objective of this study was to evaluate the morphological and productive responses of cacti cultivars under planting densities and irrigation hours, in two annual harvests. The experiment was conducted in Apodi-RN, Brazil. The treatments were completely randomized in sub-subdivided plots with four replicates. The irrigation hours (morning and evening) were applied to the plots, the forage cacti cultivars (Orelha de Elefante Mexicana (OEM), Miúda and IPA Sertânia) in the subplots, and the planting densities (20, 40 and 80 thousand ha^{-1}) in sub-subplots. The applied water depth was 15 mm week^{-1} , via sprinkler system. Regarding morphological characteristics, there was a significant effect ($P < 0.05$) of the cultivars during the two years of evaluation. The OEM presented larger width (19 cm), perimeter (69 cm), area (354 cm^2), and cladode area index (CAI) ($5.1 \text{ m}^2 / \text{m}^2$), respectively. The IPA Sertânia cultivar shown greater length (28 cm) and thickness (1.91 mm) of the cladodes and the Miúda cultivar showed higher plant height (86 cm). *Opuntia* (OEM) and Miúda cultivars had the highest CAI ($5.0 \text{ m}^2 / \text{m}^2$). Planting density was significant ($P < 0.05$) for the CAI over the two years, with the highest density favoring the increase of the CAI ($6.0 \text{ m}^2 / \text{m}^2$). Regarding the productive responses, in the first year of growth, there was a significant interaction ($P < 0.05$) between irrigation hours and planting densities for fresh matter productivity (FMP), when the daytime and the density of 80,000 plants ha^{-1} promoted higher productivity ($197 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$). There was a significant effect ($P < 0.05$) of the interaction between cacti cultivars and planting densities for number of cladodes, fresh and dry matter productivity (FMP and DMP) and water use efficiency (WUE) with better performance for cultivars Miúda and OEM. The cultivar Miúda emitted 53 cladode units under 20,000 plants ha^{-1} and FMP, DMP and WUE of $212 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, $23 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ and $19 \text{ kg of DM kg}^{-1} \text{ water}$, respectively, under the greatest density. *Opuntia* (OEM) reached 217 and $22 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ of FMP and DMP and $19 \text{ kg of DM kg}^{-1} \text{ water}$ of WUE, under the lowest planting

density. In the second year, the irrigation hours was significant ($P < 0.05$), and the daytime allowed a higher FMP ($197 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$), DMP ($17 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and WUE ($12 \text{ kg MS kg}^{-1} \text{ water}$). The effect of the cultivars was significant ($P < 0.05$) for DMP and WUE, with evidence again for the Miúda cultivar. Therefore, the daytime irrigation hour would be the most efficient to increase productivity. Densities between 20 and 40 thousand plants ha^{-1} would allow productivities above $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$, and the cultivars OEM and Miúda are recommended for favoring productive increment.

Key words: hydric complementation, irrigated cactus pear, *Nopalea* spp., *Opuntia* spp., plant spacing, semi-arid

INTRODUÇÃO

A palma forrageira é uma importante reserva estratégica de forragem no semiárido do Brasil por se tratar de uma espécie vegetal adaptada às condições climáticas da região (Dubeux Jr. et al., 2015) e apresentar alto potencial produtivo, mais de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca (Lima et al., 2015). Ainda, apresenta satisfatório valor nutricional, de elevados teores de água (900 g kg⁻¹), e principalmente energia, com médias de carboidratos não fibrosos de 536±72 g kg⁻¹ e digestibilidade da matéria seca de 658±78 g kg⁻¹ (Lopes et al., 2019).

Estima-se que a região Nordeste brasileira implantou a maior área cultivada de palma forrageira no mundo, entretanto a praga cochonilha do carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockrell) dizimou grande parte desses cultivos no início desse século (Dubeux et al., 2015). Assim, novos cultivares tolerantes à praga foram lançados, tais como a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Miúda ou Doce (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) (Santos et al., 2013).

A temperatura (15 a 25 °C) e umidade relativa do ar (acima de 65%) noturnas adequadas, são fatores do meio que influenciam marcadamente o desenvolvimento da planta, haja vista que a captura do CO₂ atmosférico no metabolismo fotossintético dessas cactáceas ocorre no período noturno (Nobel, 2009). Em algumas localidades do semiárido brasileiro, as noites são quentes e secas, ocasionando intensa perda de água pela abertura dos estômatos na captação do CO₂, o que provoca murcha dos cladódios e até morte das plantas na estação seca (Lima et al., 2013).

Uma alternativa para viabilizar o cultivo da palma forrageira nestes casos é a irrigação de forma complementar, conforme Rêgo et al. (2014) e Lima et al. (2016), que obtiveram mais de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca utilizando lâmina de água de 5 mm semana⁻¹ num sistema de gotejamento e densidade de 50 mil plantas por hectare.

Apesar da palma forrageira ser uma planta xerófita, de alta eficiência no uso da água, estudos recentes mostram que o desempenho dessa cactácea em resposta a utilização de irrigação, melhora o desenvolvimento e a produtividade desta cultura (Almeida et al., 2011; Pereira et al., 2015; Queiroz et al., 2016; Silva et al., 2017).

Em se tratando de um tema relativamente recente, a irrigação na palma forrageira levanta diversos questionamentos, dentre os quais, o manejo de aplicação desse

complemento hídrico. A melhor hora da irrigação, visando maior eficiência do uso do recurso hídrico, é um exemplo, conforme ressaltado por Souza et al. (2019), que indicaram a influência dos diferentes horários de irrigação na taxa de transpiração das plantas, devido à disponibilidade de água e sua interação com o processo de evapotranspiração.

O adensamento de plantas e o arranjo de plantio são aspectos importantes no cultivo da palma forrageira. Silva et al. (2014) estudaram as cultivares Miúda, Redonda e Gigante sob densidades de plantio (10, 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹) em condições de sequeiro, e observaram que houve resposta positiva ao cultivo adensado, tendo a Miúda se destacado na produtividade.

Souza et al. (2017) avaliaram a produtividade e a concentração de nutrientes na palma Miúda sob níveis de adubações nitrogenada e fosfatada, e densidades de plantio (5.000 e 40.000 plantas ha⁻¹). Foi verificado que o adensamento elevou o rendimento, mas diminuiu os teores de N e P da planta. Assim, a associação de altas densidades de plantas demanda fertilizações para atender os níveis adequados de nutrientes no solo. Teles et al. (2002) já alertavam sobre essa reposição de nutrientes em cultivos adensados.

Desse modo, apesar da literatura conter resultados sobre adensamento no cultivo da palma forrageira, ainda há lacunas sobre os arranjos de plantio mais adequados para os diferentes cultivares, sobretudo quando se utiliza irrigação, no intuito de alcançar o melhor aproveitamento do recurso hídrico e garantir a produtividade e sustentabilidade do sistema de produção.

Portanto, objetivou-se avaliar as respostas morfológicas e produtivas de cultivares de palma forrageira sob diferentes densidades de plantio e horários de irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Apodi, pertencente à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN), no município de Apodi, latitude 5°37'29,2" Sul e longitude 37°48'53,9" Oeste, altitude de 132 m (Google Earth) (idem Figura 1, capítulo 2). As seguintes condições climáticas médias anuais são registradas: temperaturas máxima, média e mínima de 34; 28 e 23,5 °C, respectivamente; umidade relativa do ar de 70%, insolação de 3.163,7 h; evapotranspiração potencial de 2.340 mm e precipitação pluviométrica de 830 mm

(INMET, 2018). Segundo a classificação de Köppen e Geiger, o clima é do tipo *Bsh*, semiárido quente (Alvares et al, 2013). A estação chuvosa ocorre no outono, com chuvas concentradas de março a maio (CPRM, 2005).

Foram acompanhadas as condições climáticas de temperatura e umidade relativa do ar (idem Figura 2, capítulo 2), e de precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial (Figura 1, deste capítulo), durante o período do experimento, por meio de estação agrometeorológica do INMET, localizada na Estação experimental.

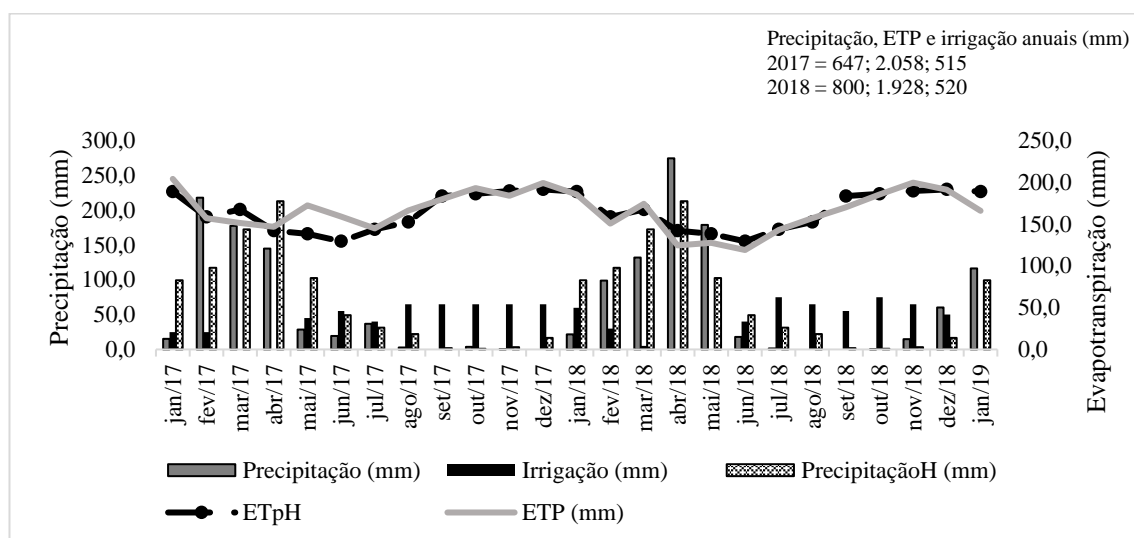


Figura 1. Precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial mensais e históricas e lâmina de irrigação mensal (mm) da área experimental

Legenda: ETP = Evapotranspiração potencial, ETpH = Evapotranspiração potencial histórica, PrecipitaçãoH = precipitação histórica
 Fonte: Adaptado de Inmet (2019)

As cultivares de palma forrageira utilizadas no experimento foram a Miúda (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw), procedentes do município de Russas, Ceará, Brasil. O plantio ocorreu em janeiro de 2017. A área experimental apresentou dimensões de 45 m x 192 m (8.640,0 m²). Os cladódios foram plantados em outro tipo de arranjo, em fileiras duplas (nove filas), no espaçamento duplo de 1,5 m x 0,5 m, com duas (0,50 m), quatro (0,25 m) ou oito (0,125 m) plantas por metro na linha, em três arranjos populacionais definindo densidades de 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹.

O solo onde foi instalado o experimento foi classificado como Cambissolo Ta eutrófico, horizonte A moderado, textura média, declividade 0-3%, substrato calcário.

Foram coletadas amostras de solo antes da implantação dos tratamentos, em janeiro de 2017, época seca, na profundidade de 0-20 cm, com auxílio de uma cavadeira articulada, na qual se retirou 18 amostras na área do experimento, conforme delineamento dos tratamentos, sendo misturadas e formada uma amostra composta. As análises químicas e físicas foram conduzidas no Laboratório de Solos, Água e Plantas da EMPARN (Tabela 1).

Para o plantio foi realizada a aração e gradagem do solo, com posterior abertura manual dos sulcos nos espaçamentos definidos. Os cladódios sementes ficaram à sombra durante sete dias para murchar e cicatrização dos cortes. Colocou-se um cladódio inteiro por cova, verticalmente, com a parte cortada voltada para o solo, a uma profundidade na qual 2/3 do cladódio ficasse enterrado. Em janeiro de 2017, foi aplicado superfosfato simples no sulco, correspondendo a 60 kg de P_2O_5 ha^{-1} ano^{-1} . Em julho de 2018, foram aplicados ureia, sulfato de amônio, mono fosfato de amônio (MAP) e cloreto de potássio, à lança, nas filas internas das fileiras duplas de plantio, seguido de irrigação imediata e extra, em lâmina duplicada para proporcionar umidade satisfatória, após aplicação dos adubos, equivalentes a 60-50-60 kg ha^{-1} ano^{-1} de NPK, respectivamente, com base nos resultados das análises químicas e recomendação de Holanda et al. (2017).

O período experimental compreendeu 24 meses, de janeiro de 2017, quando da aplicação dos tratamentos, a janeiro de 2019, ocasião da segunda colheita anual.

Para fins de monitoramento do solo, foram coletadas amostras, outras duas vezes no local do experimento, na profundidade de 0-20 cm, com auxílio de uma cavadeira articulada. Essas amostragens ocorreram em março de 2018 (transição entre época seca para chuvosa), após a primeira colheita anual, e a segunda, em fevereiro de 2019 (sob ocorrência de chuvas), por ocasião da segunda colheita anual. Foi retirado material em 72 pontos na área do ensaio, conforme delineamento experimental, sendo misturado e formadas nove amostras compostas, correspondendo aos tratamentos (cultivares e densidades). As análises químicas e físicas foram conduzidas no Laboratório de Solo, Água e Plantas da EMPARN (Tabela 1).

Tabela 1. Composição químico-física do solo da área experimental

	IPA Sertânia						Miúda						Orelha de Elefante Mexicana						
	20 mil		40 mil		80 mil		20 mil		40 mil		80 mil		20 mil		40 mil		80 mil		
	2017	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
pH	6,16	6,00	5,60	6,10	5,30	5,84	5,40	6,07	5,50	6,05	5,40	6,60	5,10	6,38	5,30	6,21	5,30	6,60	5,00
N (g kg ⁻¹)	-	0,50	0,56	0,56	0,56	0,50	0,16	0,62	0,56	0,56	0,56	0,67	0,61	0,78	0,61	0,73	0,61	0,67	0,61
P (mg dm ⁻³)	12	7	3	8	3	6	7	4	3	4	3	6	4	9	4	6	3	6	5
K (cmolc m ⁻³)	0,50	0,37	0,34	0,31	0,32	0,29	0,32	0,38	0,30	0,35	0,30	0,41	0,28	0,36	0,33	0,36	0,31	0,41	0,32
Ca (cmolc dm ⁻³)	4,13	3,18	3,22	3,01	3,28	2,96	3,00	3,53	3,22	3,07	3,29	3,11	2,85	3,13	3,06	2,85	3,16	3,11	3,21
Mg (cmolc dm ⁻³)	1,35	1,60	1,27	1,17	1,22	1,50	1,22	1,92	1,15	1,45	1,25	1,55	0,92	1,55	1,20	1,45	1,25	1,55	1,27
Na (cmolc dm ⁻³)	0,15	0,14	0,27	0,13	0,23	0,13	0,21	0,15	0,21	0,14	0,19	0,18	0,19	0,16	0,45	0,50	0,20	0,18	0,21
B (mg dm ⁻³)	-	16,03	7,61	17,61	11,43	14,19	9,62	19,48	11,25	15,86	24,66	14,36	16,66	21,53	39,91	17,10	18,96	14,36	17,75
C (%)	-	0,66	0,66	0,70	0,51	0,66	0,57	0,51	0,62	0,84	0,48	0,79	0,58	0,70	0,49	0,73	0,43	0,79	0,50
Al (cmolc dm ⁻³)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	0,0	0,05	0,0	0,05	0,0	0,0	0,0	0,10	0,0	0,05	0,0	0,05	0,0	0,10
H+Al (cmolc dm ⁻³)	1,31	2,66	1,94	2,22	2,10	2,84	2,59	2,48	2,35	2,40	2,51	1,77	2,67	2,31	2,51	2,57	2,18	1,77	2,59
MO (g dm ⁻³)	-	11,39	11,38	12,12	8,81	11,37	9,75	8,77	10,71	14,49	8,28	13,61	10,06	12,10	8,50	12,52	7,40	13,61	8,61
CE (dS m ⁻¹)	0,057	0,028	0,060	0,021	0,045	0,017	0,041	0,022	0,035	0,025	0,056	0,086	0,056	0,044	0,109	0,055	0,041	0,086	0,044
PST (%)	2,04	1,80	3,89	2,03	3,28	1,63	2,90	1,86	2,95	1,94	2,59	2,60	2,83	2,14	5,94	2,06	2,88	2,60	2,80
Ds. (kg dm ⁻³)	1,31	1,35	1,29	1,30	1,23	1,30	1,23	1,34	1,22	1,29	1,27	1,32	1,31	1,33	1,27	1,30	1,26	1,32	1,27
RU 1/3 (θm cc)	9,13	10,69	11,81	10,16	11,96	11,43	13,65	11,72	12,25	10,52	10,70	12,13	9,08	11,95	13,91	10,40	14,60	12,13	12,72
RU 15 (θm PMP)	6,68	6,95	8,74	6,70	8,56	7,54	8,64	7,60	8,13	7,13	7,26	7,80	7,06	7,89	8,42	7,14	8,54	7,80	8,74
SB (cmolc dm ⁻³)	-	-	5,10	-	5,06	-	4,75	-	4,88	-	5,04	-	4,24	-	5,04	-	4,92	-	5,01
CTCE (cmolc dm ⁻³)	-	-	7,04	-	7,16	-	7,34	-	7,23	-	7,55	-	6,91	-	7,55	-	7,10	-	7,60
V (%)	-	-	72,44	-	70,66	-	64,72	-	67,51	-	66,73	-	61,39	-	66,75	-	69,29	-	65,92
m (SAI%)	-	-	0,00	-	0,70	-	0,68	-	0,69	-	0,00	-	1,45	-	0,66	-	0,70	-	1,32
Granulometria																			
Areia (g kg ⁻¹)	729	-	578	-	546	-	516	-	565	-	579	-	581	-	558	-	524	-	526
Argila (g kg ⁻¹)	120	-	40	-	40	-	40	-	60	-	200	-	180	-	180	-	200	-	200
Silte (g kg ⁻¹)	151	-	382	-	414	-	444	-	375	-	221	-	239	-	262	-	276	-	274

Classificação textural: Franco arenoso

Legenda: N=nitrogênio; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; B = boro; C = carbono; Na = sódio; Al = alumínio; H+Al = hidrogênio + alumínio; pH em água (1:2,5); CE = condutividade elétrica extrato 1:5; Dens. = densidade global; PST (%) = porcentagem de saturação com sódio; RU 1/3 = retenção umidade (1/3 de atmosfera); RU 15 = retenção umidade (15 atmosfera); MO =matéria orgânica; SB = soma por bases; CTC = capacidade de troca de cátion efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio.

Densidade de plantio: 20, 40 e 80 mil plantas/ha.

Fonte: EMPARN - Laboratório de Análises de Solo, Água e Plantas (2017, 2018 e 2019)

Foi verificada mortalidade da cultivar IPA Sertânia devido a podridão mole, causada por bactéria pectolítica, sobretudo na época das chuvas. As plantas mortas foram retiradas e replantadas em toda área no primeiro ano do experimento.

Foram registradas ocorrência de pragas (lagartas) e realizadas intervenções químicas, nas épocas seca e chuvosa, através de pulverização com coquetel de inseticidas a base de Metomil (215 g L⁻¹) e Clorpirifós (480 g L⁻¹).

Durante período experimental foram realizadas pulverizações de combate à cochonilha de escama (*Diaspis echinocacti* Bouché), nas épocas seca e chuvosa, a base de óleo mineral ou vegetal (mamona) mais detergente neutro a 2%, via pulverização nas plantas.

Foram feitos controles de plantas invasoras, através de limpa com enxada entre plantas, mais roço manual, nas épocas seca e chuvosa.

O experimento foi desenvolvido em delineamento inteiramente casualizados em esquema de parcelas sub-sub-divididas, com quatro repetições. A parcela principal foi representada pelos dois horários de irrigação (manhã – 09 h e noite - 21 h), as sub-parcelas constituíram-se das três cultivares (Miúda, IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana), e as sub-sub-parcelas foram as três densidades de plantio (20.000, 40.000 e 80.000 plantas ha⁻¹), totalizando 72 unidades experimentais (Figura 2).

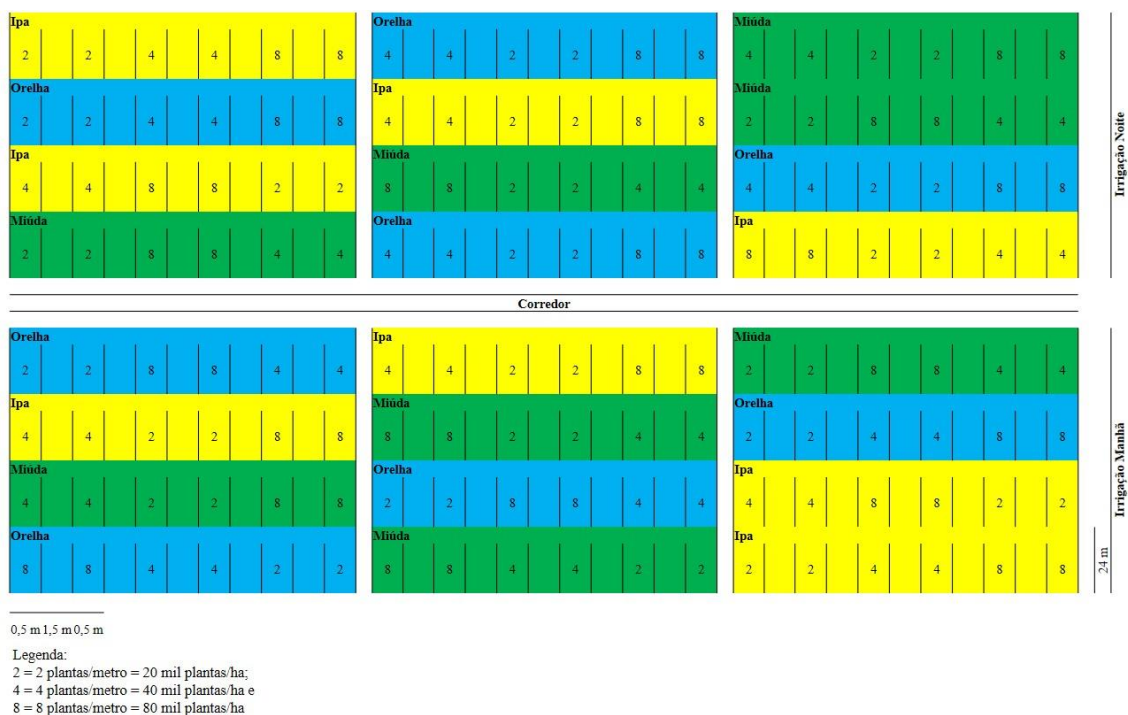


Figura 2. Croqui da área experimental

As parcelas principais mediram 45 m x 96 m (horários de irrigação). As sub-parcelas, 15 m x 24 m (cultivares). E as sub-sub-parcelas, 4 m x 24 m (densidades de plantio). Totalizou-se duas parcelas, 24 sub-parcelas e 72 sub-sub-parcelas. A área útil foi representada pelas duas linhas internas das fileiras duplas, retirando-se 11,5 m no comprimento de cada cabeceira como bordaduras, restando um metro central, contendo duas, quatro ou oito plantas por metro, conforme densidade de plantio.

Quanto aos horários de irrigação, foi empregada a aplicação no período noturno por considerar que durante a noite há redução do custo de energia elétrica, consumida pelo sistema de irrigação, e devido à expectativa de menores perdas de água por evaporação neste turno. Ponderou-se ainda as metades dos períodos da manhã e da noite, considerando o metabolismo fotossintético da palma forrageira, com atividades diurna e noturna.

O palmal foi mantido sob sistema de irrigação, por aspersão, fixo, automatizado, com espaçamentos entre aspersores de 15 m x 12 m. Os aspersores utilizados foram termoplásticos, da Fabrimar Eco, bocais 4,2 mm x 3,0 mm, com vazão de $1,6 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ou $8,9 \text{ mm h}^{-1}$, pressão de serviço de 25 m.c.a e eficiência da aplicação da irrigação de 75%. Foi utilizado este método de irrigação devido a área experimental se tratar de um campo de produção de sementes de palma forrageira, no qual esse tipo de sistema irrigado é comumente aplicado, quando comparado ao localizado.

A água de abastecimento foi proveniente de um poço que explora o aquífero Arenito Açú de vazão de $28,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, localizado na propriedade. Este poço é do tipo tubular, revestido com 6", nível estático de 85,44 m, nível dinâmico de 95,15 e profundidade de 150 m.

Foi coletada amostra da água do poço utilizada no experimento para análise laboratorial. O resultado foi 6,8 de pH; composição em mmolc.L⁻¹ de 0,68 (Ca); 0,23 (Mg); 0,09 (K); 0,00 (CO₃⁻²); 0,68 (HCO₃⁻); baixos teores de sódio e cloreto (0,23 e 0,46 respectivamente), condutividade elétrica de $0,11 \text{ dS.m}^{-1}$, com relação de adsorção de sódio (RAS^o) igual a 0,23; classificada como de baixa salinidade (C₁S₃T₁), sem restrições de uso para qualquer cultura, sob qualquer sistema de aplicação de água. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises de Solo, Água e Planta da EMPARN.

A irrigação foi fixada em três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira) sob lâmina de 5,0 mm por irrigação, que equivaleu a $15 \text{ mm semana}^{-1}$ (60 mm mês^{-1}). O

total de irrigações foi de 207 aplicações (115 no ano 1, e 92 no ano 2), durante período experimental. Os volumes mensais foram apresentados na Figura 1.

A lâmina aplicada no palmar baseou-se no volume aplicado por Dantas (2015), de 30 mm mês⁻¹, pela qual se obteve as maiores produtividades de palma forrageira. Por se tratar de um campo de produção de sementes e almejar altos rendimentos, o volume de água mensal foi dobrado do mencionado. Para essa quantidade de água, considerou-se a evapotranspiração potencial (ETp) em Apodi (6,5 mm dia⁻¹), conforme Inmet (2018), e o atendimento de parte desta demanda (5 mm dia⁻¹).

A ocorrência de precipitações acima de 5 mm antes da irrigação, foi utilizado como determinante para suspender a aplicação da água prevista naquele dia. Quando ocorreu volume de chuva maior (período chuvoso), a suspensão se estendeu proporcionalmente, por exemplo, se choveu 10 mm, suspendeu-se dois dias das irrigações. O volume médio de água aplicado na área experimental foi de 1.183,6 mm no primeiro ciclo e de 1.379,9 no segundo, sendo 608,6 e 919,9 mm oriundo das chuvas (ciclos 1 e 2, respectivamente), e 515 e 520 mm procedentes das irrigações nos ciclos 1 e 2, nessa ordem.

Durante a pesquisa foram realizadas avaliações morfológicas e de produtividade. As medições ocorreram nas filas duplas internas de cada sub-sub-parcela (área útil).

As medições de crescimento das plantas foram aferidas aos 12 e 24 meses após aplicação dos tratamentos. Foram amostradas duas plantas, nas fileiras duplas internas por sub-sub-parcela, dentro da área útil. Foram avaliados o número de cladódios por planta, altura (cm) e largura (cm) da planta, comprimento (cm), largura (cm), perímetro (cm) e espessura (mm) dos cladódios contemplando todas as ordens.

As medidas de altura e largura da planta e dos cladódios, foram realizadas utilizando trena e fita métrica, enquanto que para a espessura do cladódio foi usado um paquímetro digital. Na altura e largura da planta, considerou-se desde a extremidade do cladódio mais alto até o solo, e das extremidades na parte aérea, projeção horizontal da planta, respectivamente.

Largura e comprimento dos cladódios representam medidas no meio horizontal e verticalmente no cladódio, respectivamente, enquanto que para espessura, a medição foi realizada no meio do cladódio. Estas medidas foram obtidas naqueles cladódios com tamanhos médios representativos por ordem e posteriormente utilizadas as médias por planta.

A partir destas medidas foram calculadas as áreas dos cladódios (cm^2) por cultivar. Para IPA Sertânia, $AC=1,6691(1-\exp(0,0243*PC)) / -0,0243$, para Orelha de Elefante Mexicana, $AC=0,7086(1-\exp(-0,000045765.CC.LC))/0,000045765$ e para Miúda, $AC=0,7198.CC.LC.$, conforme Silva et al. (2014a). A fórmula para índice de área de cladódios foi $(IAC) = AC$ de uma planta/área do solo de uma planta (conforme espaçamento de plantio testados por densidade de plantas), multiplicado por dois (ambos lados dos cladódios), segundo Nobel e Bobich (2002).

As avaliações da produtividade da palma foram realizadas aos 12 e 24 meses após instalação do experimento. O número de plantas colhidas variou conforme a densidade de plantio (2, 4 ou 8 plantas m^{-1}) no metro central nas duas filas duplas internas (áreas úteis), em três pontos das sub-sub-parcelas (24 m), visando melhor representar a variabilidade do campo em função de suas dimensões. Os cladódios colhidos foram dispostos em caixas plásticas e pesados. A intensidade de colheita preservou dois cladódios primários.

Para obtenção dos valores de produtividade de matéria verde (PMV) em megagrama (Mg) por hectare (ha), extrapolou-se o peso médio dos cladódios colhidos (PC) em quilograma (kg) na área útil (2 m^2), assumindo o cálculo: $PMV=[(PC \times 10.000 \text{ m}^2)/2 \text{ m}^2]/1000$, onde 1.000 é o valor de conversão de kg para Mg.

Amostras de cerca de 1,0 kg por sub-sub-parcela foram colhidas (contemplando todas as ordens dos cladódios), armazenadas em sacos de tecido 100% algodão, identificadas, pesadas, fracionadas, acondicionadas em bandejas metálicas com identificação e levadas à estufa de circulação de ar forçada a 60°C por 48 horas ou até estabilização do peso, ocasião em que se determinou o teor de matéria seca (MS) (Silva e Queiroz, 2006).

Para o cálculo da produtividade de matéria seca (PMS), assumiu-se a PMV e o teor de MS obtidos, utilizando a fórmula: $PMS=(PMV \times \text{teor de MS}) / 100$, onde 100 é o valor de conversão para porcentagem.

Foi calculada a eficiência de uso da água (EUA), via soma da irrigação mais precipitação pluviométrica, em kg de MS por mm de água^{-1} , por sub-parcela, dividindo-se a produtividade de matéria seca (PMS) pela quantidade de água disponibilizada, adaptada de Dubeux Jr. et al. (2006).

As análises estatísticas foram realizadas por meio do procedimento PROC MIXED (Littell et al., 1998) do SAS University Edition. Foram avaliados os dados dos dois anos separadamente a fim de se observar especificamente os efeitos das interações

dos tratamentos. Para todas as características foi aplicado teste de Kolmogorov Smirnov para avaliação da normalidade dos resíduos e teste de Hartley para homogeneidade das variâncias. Neste sentido, as observações obtidas quanto ao número de cladódios por planta nos dois anos, para espessura dos cladódios em 2018 e para IAC em 2019, foram transformadas (\sqrt{x} , $1/x^2$ e $1/x$), respectivamente.

Para as características morfológicas e produtivas foram considerados os efeitos dos três fatores, sendo os dois horários de irrigação (manhã e noite), as três cultivares (IPA Sertânia, Miúda e Orelha de elefante mexicana) e as três densidades (20, 40 e 80 mil plantas ha^{-1}), bem como as interações. As médias foram comparadas pelo Teste de Tukey. Para todas as análises considerou-se o nível de significância de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa ($P>0,05$) dos horários de irrigação, cultivares e densidades de plantio nos dois anos de avaliação, para nenhuma das características avaliadas.

Também não se apresentou interação significativa ($P>0,05$) dos horários de irrigação e cultivares para morfologia e produtividade estudadas, no decorrer do período experimental.

Houve interação significativa ($P<0,05$) dos horários de irrigação e densidades de plantio apenas para produtividade de matéria verde (PMV) no primeiro ano, e somente para índice de área de cladódio (IAC) no segundo ano.

Apresentou-se interação significativa ($P<0,05$) das cultivares e densidades de plantio sobre número de cladódios por planta, produtividades de matéria verde e seca (PMV e PMS, nesta ordem) e eficiência no uso da água (EUA) no primeiro ano, e para teor de massa seca e largura de planta no segundo ano.

Houve efeito significativo ($P<0,05$) dos horários de irrigação sobre PMV, PMS e EUA no segundo ano.

Apresentou-se efeito significativo ($P<0,05$) das cultivares para espessura, comprimento, largura, perímetro, área e índice de área dos cladódios (AC e IAC), altura e largura de planta, teor de matéria seca no primeiro ano. E sobre espessura, comprimento, largura, perímetro, área e índice de área dos cladódios, número de cladódios, altura de planta, teor de matéria seca, PMS e EUA no segundo ano.

Houve efeito significativo ($P < 0,05$) das densidades de plantio sobre AC, IAC, altura e largura de planta no primeiro ano, e para número de cladódios e IAC no segundo ano.

Quanto aos efeitos isolados, nas características morfológicas no primeiro ano, foi significativa ($P < 0,05$) a influência das cultivares para espessura, comprimento, largura, perímetro, área e índice de área dos cladódios, altura e largura de planta e teor de matéria seca (Tabela 2).

Tabela 2. Espessura, comprimento, largura, perímetro, área e índice de área de cladódio (IAC), altura e largura de planta e teor de matéria seca de cultivares de palma forrageira no primeiro ano de avaliação (2017-2018)

Características	Cultivar			Erro padrão
	IPA Sertânia	Miúda	Orelha EM	
Espessura (cm)	2,22a	2,11ab	1,79b	0,0004
Comprimento (cm)	29,40a	23,04c	25,35b	0,5583
Largura (cm)	14,52b	10,21c	18,38a	0,3485
Perímetro (cm)	71,26a	55,60b	68,08a	0,2396
Área de cladódio (cm ²)	322,60a	169,60b	328,86a	11,4821
ÍAC (m ² /m ²)	3,32b	5,55a	5,00a	0,3211
Altura de planta (cm)	76,50b	93,46a	80,08a	2,3499
Largura de planta (cm)	71,94b	90,56a	86,23a	3,1880
Teor de MS (g kg ⁻¹)	85,10b	111,00a	101,10a	1,3011

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A espessura dos cladódios foi significativamente maior para IPA Sertânia quando comparada com a Orelha EM e não diferiram entre si da Miúda (Tabela 2), no primeiro ano de avaliação, estando de acordo com os resultados de Silva et al. (2015). Para este ensaio, a ocorrência de chuvas de 669 mm (Figura 1) e a complementação hídrica via irrigação por aspersão com lâmina semanal de 15 mm tenha abastecido satisfatoriamente o acúmulo de água nos cladódios para as três cultivares, aproximando as medidas obtidas. Essas estruturas, os cladódios, possuem um tecido interno não fotossintético com papel de armazenar água (Taiz et al, 2017).

Especificamente sobre a Miúda, verifica-se que esta apresenta menores dimensões nos cladódios (Tabela 2), e é considerada de maior exigência hídrica entre estas cultivares nas condições do semiárido de baixa altitude (Albuquerque e Santos, 2006; Santos et al., 2006a, b; Sales et al., 2009; Silva et al., 2015). Ainda assim, a espessura dos cladódios foi significativamente semelhante em relação às demais cultivares (Tabela 2).

O comprimento dos cladódios foi significativamente maior na IPA Sertânia, seguido da Orelha EM e menor na Miúda (Tabela 2), no primeiro ciclo anual.

Quanto à largura dos cladódios, a Orelha EM foi significativamente maior, a IPA Sertânia, intermediária, e a Miúda, inferior (Tabela 2), nesse primeiro ano de avaliação.

Considerando que os valores de comprimento e largura dos cladódios são utilizados na fórmula para obtenção da área do cladódio para Miúda e Orelha EM, verificou-se que as biometrias superiores na Orelha EM destacaram-na com maior área de cladódio. Enquanto que a Miúda apresentou a menor área do cladódio entre os cultivares desde o primeiro ano de crescimento (Tabela 2).

Em relação ao perímetro dos cladódios e área de cladódio, as cultivares IPA Sertânia e Orelha EM não diferiram entre si e foram significativamente maiores que a Miúda (Tabela 2), no primeiro ano de crescimento.

O perímetro é uma medida utilizada no cálculo da área do cladódio para IPA Sertânia, logo, seu resultado atua diretamente nesta característica, conforme se observa nas respostas apresentadas, que foram maiores para esta cultivar (Tabela 2).

O índice de área de cladódio (IAC) foi significativamente maior para as cultivares Orelha EM e Miúda, que não diferiram entre si, superando a IPA Sertânia, nesse primeiro ciclo anual de crescimento (Tabela 2). Mesmo com menor biometria dos cladódios, a palma Miúda foi beneficiada pela maior emissão de cladódios por planta, o qual influencia o IAC. A alta mortalidade na IPA Sertânia contribui para menor IAC deste cultivar.

Quanto à altura e largura das plantas, as cultivares Miúda e Orelha EM não diferiram significativamente entre si e foram maiores que a IPA Sertânia, no primeiro ciclo anual de avaliação. Silva et al. (2014) apontam crescimento vertical para a palma Miúda. Esta forma de alongamento para este cultivar foi também indicada por Rocha et al. (2017), inclusive de maior altura que a Orelha EM. Esse hábito de crescimento favorece elevada rapidez na emissão de cladódios. Todavia, essas respostas podem variar, pois plantas mais altas foram verificadas na Orelha EM (81 cm), em relação a Miúda e Sertânia, já a largura, não foi influenciada, por Silva et al. (2015), sob cultivo em sequeiro.

A largura das plantas deve ser considerada pois dependendo do espaçamento de plantio e disposição espacial de cada cultivar, pode interferir na realização dos tratos culturais (Rocha et al., 2017).

Para o teor de matéria seca (MS), a Miúda e Orelha EM não diferiram entre si, sendo maiores que a IPA Sertânia, no primeiro ano de avaliação (Tabela 2).

Silva et al. (2015a) determinaram o teor médio de MS para palma Miúda de 100 g kg⁻¹. Os teores de MS obtidos por Silva et al. (2015) foram para a IPA Sertânia de 86 g

kg⁻¹; para Miúda 98 g kg⁻¹ e para Orelha EM 96 g kg⁻¹. Estes valores foram próximos ao desta pesquisa, presumindo ser uma característica particular de cada cultivar, mas podendo ser influenciada pela quantidade de água disponível no sistema solo-atmosfera.

O teor de MS influencia na equiparação dos rendimentos de PMS entre as cultivares, pois sob determinadas condições a Orelha EM pode apresentar maior produtividade de matéria verde, mas por conter concentração de umidade mais alta, a PMS pode ser comparativamente próxima da Miúda, reconhecida na literatura como a cultivar de mais elevado teor de MS, com valores de até 150 g kg⁻¹ (Santos et al., 2011a).

Houve efeito significativo (P<0,05) das densidades de plantio sobre a área e índice de área de cladódio, altura e largura de planta, no primeiro ano de avaliação (Tabela 3). O IAC foi significativamente maior no adensamento de 80 mil plantas ha⁻¹, intermediário para 40 mil plantas ha⁻¹, e menor sob 20 mil plantas ha⁻¹. As demais medidas foram significativamente maiores na menor densidade de plantio quando comparadas ao maior adensamento, não diferindo em relação à densidade intermediária, exceto a largura que foi igual para 40 e 80 mil plantas ha⁻¹. Ainda, não houve diferença entre 40 e 80 mil plantas para nenhuma daquelas três características (AC, altura e largura das plantas).

Tabela 3. Área e índice de área de cladódio (AC e IAC), altura e largura de planta de cultivares de palma forrageira em função da densidade de plantio no primeiro ano de avaliação (2017-2018)

Densidade	AC (cm ²)	IAC (m ² /m ²)	Altura (cm)	Largura (cm)
20 mil	290,36a	3,02c	87,33a	90,27a
40 mil	275,83ab	4,52b	83,31ab	81,40b
80 mil	254,88b	6,34a	79,40b	77,06b
Erro padrão	9,8563	0,3158	1,8705	2,5941

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Quanto a dimensão dos cladódios, Silva et al. (2014) observaram que independente da cultivar da palma forrageira, foram maiores o comprimento e a largura dos cladódios na menor densidade de plantio (10 mil em detrimento a 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹). Isto ocorre em função do aumento de plantas por área reduzir o espaço físico e os recursos edafoclimáticos disponíveis para elevação destas medidas, o que pode ter ocorrido nesta pesquisa, influenciando a área dos cladódios (Tabela 3).

Adensamentos intermediários podem ser uma satisfatória alternativa para favorecer a morfologia e produção da palma forrageira. Ramos et al. (2017) obtiveram maior altura da planta, largura, perímetro, área e índice de área dos cladódios na densidade

de 40 mil plantas ha⁻¹ em relação ao menor adensamento (10 mil plantas ha⁻¹), e consideraram essa resposta uma função do ajustamento espacial da palma para aumentar captação de CO₂ e luz. Segundo Sales et al. (2013) esses resultados são favorecidos pelo máximo uso de energia luminosa devido alta disponibilidade de radiação no semiárido e consequentemente maior captação de foto-assimilados.

Diante das respostas morfológicas obtidas neste estudo, supõe-se que o maior espaçamento de plantio (1,5 x 0,5 x 0,5 m) possa favorecer também o desenvolvimento das raízes, principalmente na extensão horizontal, típico comportamento de crescimento radicular na palma forrageira, em forma de rede, superficial e ramificada, podendo se espalhar lateralmente em um raio de até 4 a 8 m (Hills, 1995; Snyman, 2006).

Brito et al. (2018) observaram que nos espaçamentos de plantio 1,0 x 0,5 m e 3,0 x 1,0 x 0,25 m em detrimento a 2,0 x 0,25 m, houve maior uniformidade de distribuição das plantas, com maior exploração do solo pelo sistema radicular e menor sombreamento entre plantas vizinhas, que segundo Silva et al. (2016), favorece a eficiência fotossintética e, consequentemente, proporciona maior crescimento.

Sobre o IAC, para elevá-lo na palma forrageira, Lira et al. (2006) sugere aumentar o adensamento de plantas, tratamento aplicado neste estudo no plantio de 80 mil plantas ha⁻¹, haja vista que a densidade é utilizada no cálculo do índice.

Os autores acima citados indicam ainda a conservação de maior número de cladódios, por ocasião das colheitas, nestas condições de elevados adensamentos de plantas. Este manejo foi aplicado neste ensaio, no qual se preservou dois cladódios primários, que pode ter contribuído para o elevado IAC obtido. Ainda sobre as práticas de colheita, Santos et al. (2006a) citam que esse tipo de intensidade de corte da palma em campos adensados, mantem as superfícies fotossintetizantes, beneficiando o palmar em produtividade e longevidade.

Essa preocupação com menores espaçamentos entre plantas e a direta relação com o IAC acontece em função da luz. O fator luminosidade é muito importante devido à arquitetura de crescimento dessas cactáceas, pois a disposição quase perpendicular dos cladódios em relação ao solo, dificulta a interceptação luminosa que incide sobre a estrutura das plantas, o que implica em um desenvolvimento inicial lento, por causa da baixa área fotossintética (Farias et al., 2005).

Ainda sobre as características morfológicas, abordando o segundo ano de avaliação, houve efeito significativo (P<0,05) de interação entre os horários de irrigação e as densidades de plantio apenas para índice de área de cladódio (IAC) (Tabela 4).

No desdobramento dos horários de irrigação, no período diurno o IAC foi significativamente maior nos dois maiores adensamentos, que não diferiram entre si, em relação ao menor adensamento. No período noturno, a diferença foi significativa entre as três densidades, sendo o IAC mais elevado quanto maior o número de plantas por hectare (Tabela 4).

Na observação dos efeitos dentro das densidades de plantio, sob 20 mil plantas ha⁻¹, no período da manhã, o IAC foi maior em comparação com o da noite. Sob 40 e 80 mil plantas ha⁻¹ não houve diferença significativa entre os períodos de irrigação para o IAC (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de área de cladódio de cultivares de palma forrageira em função dos horários de irrigação e das densidades de plantio no segundo ano de avaliação (2018-2019)

Densidade (plantas ha ⁻¹)	Horário de irrigação	
	Manhã	Noite
20 mil	2,91bA	2,33cB
40 mil	4,15aA	3,49bA
80 mil	5,97aA	5,46aA
Erro padrão	0,0307	

Letras minúsculas comparam na coluna (densidade) e maiúsculas na linha (horário). Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na irrigação durante a manhã, as duas maiores densidades de plantio favoreceram o IAC da palma forrageira em função do aumento da quantidade de plantas na área elevar o valor deste índice, sobretudo devido o aporte hídrico via irrigação no período de dia, em que há maior atividade fotossintética. Ao contrário, sob menor adensamento e irrigação noturna o IAC foi desfavorecido, indicando que estas duas práticas não são eficientes na obtenção de alto IAC, o qual se correlaciona positivamente com alta PMV.

Diante da resposta do IAC da palma forrageira mais adensada sob a condição úmida da irrigação diurna, talvez tenha ocorrido fixação do CO₂ via ciclo de Calvin-Benson no final do dia, quando há menores gradientes de temperatura extremas, conforme mencionado por Taiz et al. (2017). Ao se considerar o clima do local do experimento (Figura 2, capítulo 2), a água fornecida pela irrigação durante a manhã favoreceria para essa mudança no metabolismo dessas cactáceas, e por conseguinte, proporcionaria elevação da atividade fotossintética.

Segundo os autores acima citados, esta resposta é realizada por algumas espécies MAC que são capazes de aumentar a fotossíntese total quando há suprimento hídrico para mitigar a principal restrição fotossintética desse tipo de metabolismo, que é a limitação

no armazenamento do ácido málico (malato), que, por sua vez, restringe a quantidade total de absorção de CO₂.

Índices de área de cladódio maiores estão associados à eficiência fotossintética em função da maior cobertura do solo, e são comumente observados quando a palma forrageira é submetida a elevadas densidades de plantio, devido à maior quantidade de plantas na área, com intuito de se obter aumento da produtividade (Nobel e Bobich, 2002; Silva et al., 2016). Esse comportamento foi observado neste estudo quando se verificou IAC de quase 6,0 m²/m² sob 80 mil plantas ha⁻¹.

Houve efeito significativo (P<0,05) de interação entre as cultivares e as densidades de plantio para teor de matéria seca (MS) e largura da planta (Tabela 5) no segundo ciclo anual de avaliação.

Tabela 5. Teor de matéria seca e largura da planta em função das cultivares de palma forrageira e das densidades de plantio no segundo ano de avaliação (2018-2019)

	Cultivar					
	IPA Sertânia	Miúda	Orelha EM	IPA Sertânia	Miúda	Orelha EM
Densidade	Teor matéria seca (g kg ⁻¹)			Largura planta (cm)		
20 mil	80,8aA	93,5aA	81,9bA	70,5aB	77,81aAB	86,31aA
40 mil	77,3aB	90,6aAB	98,1aA	74,44aA	69,88aA	64,56bA
80 mil	79,9aB	94,0aA	84,5bAB	64,38aA	70,06aA	68,00bA
Erro padrão	0,3234			4,0716		

Letras minúsculas comparam na coluna (densidade) e maiúsculas na linha (cultivar). Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

No segundo ano, o teor de MS, no desdobramento das densidades dentro de cada cultivar, não diferiu significativamente nas cultivares IPA Sertânia e Miúda para os diferentes adensamentos testados e a Orelha EM apresentou maior teor de MS na densidade de 40 mil plantas ha⁻¹. Na comparação dos cultivares dentro de cada densidade, com 20 mil plantas ha⁻¹ não houve diferença entre as cultivares testadas. Na densidade de 40 mil plantas ha⁻¹ a Orelha EM exibiu maior teor de matéria seca que a IPA Sertânia e a Miúda não diferiu entre as cultivares. Na densidade de 80 mil plantas, a Miúda apresentou maior teor de MS que a IPA Sertânia e a Orelha EM não diferiu entre as demais (Tabela 5).

De maneira semelhante, Silva et al. (2014) constataram que a palma *Nopalea* apresentou o maior teor de matéria seca, em comparação com dois cultivares de *Opuntia*, inclusive não sendo afetada pelo adensamento. Segundo os autores, nas menores densidades de plantio, estes materiais produziram mais cladódios jovens,

consequentemente, com maior conteúdo de água. Além disso, houve também a redução do comprimento e da largura dos cladódios e do número de brotações, em função da competição das plantas por luz, água e nutrientes na solução do solo.

Para largura da planta, as cultivares IPA Sertânia e Miúda não diferiram significativamente entre as densidades de plantio, no segundo ano de crescimento. A Orelha EM foi favorecida na menor densidade, apresentando-se mais larga, não havendo diferença nas demais densidades. Na comparação dentro de cada densidade de plantio, sob 20 mil plantas ha⁻¹, a Orelha EM apresentou maior medida que a IPA Sertânia e a Miúda não diferiu entre estas. Nas densidades de 40 e 80 mil ha⁻¹, não houve diferença significativa entre as cultivares (Tabela 5).

As cultivares Miúda e IPA Sertânia parecem ajustar melhor a arquitetura de suas plantas nas maiores densidades, enquanto que para a Orelha EM, o maior espaço pareceu ser mais adequado ao seu pleno desenvolvimento. Esses comportamentos demonstram a dinâmica da plasticidade fenotípica da palma forrageira, sempre visando a melhor disposição dos cladódios para realização da fotossíntese, que por sua vez abastece para o desenvolvimento vegetal.

Obteve-se efeito significativo (P<0,05) das densidades de plantio somente para número de cladódios por planta, no segundo ano de crescimento (Tabela 6). A densidade de 20 mil plantas ha⁻¹ proporcionou maior brotação, no adensamento intermediário, foi mediana, e sob 80 mil plantas ha⁻¹, foi significativamente o menor.

Tabela 6. Número de cladódios por planta de cultivares de palma forrageira em função da densidade de plantio no segundo ano de avaliação (2018-2019)

Densidade	Número de cladódios
20 mil	30a
40 mil	22b
80 mil	16c
Erro padrão	0,1399

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Em cultivo de sequeiro por dois anos, o aumento da densidade de plantas (10, 20, 40 e 80 mil ha⁻¹) para *Opuntia* (Redonda e Gigante) e *Nopalea* (Miúda) ocasionou redução do número de cladódios por planta de 45 para 25 unidades, no estudo de Cavalcante et al. (2014). Resposta observada na presente pesquisa, na qual a brotação reduziu em aproximadamente 50% do menor para o maior adensamento de plantio.

Sob baixas densidades este comportamento pode não ser verificado, devido menor população na área, mantendo assim os recursos no sistema (luz, água, minerais). Neste sentido, Sosa et al. (2018) testaram por três anos, no México, doses de adubo orgânico e adensamentos de plantio de 4, 8 e 13 mil plantas ha⁻¹ em *Opuntia*, e obtiveram máximo rendimento de cladódios sob 13 mil plantas.

Observou-se efeito significativo (P<0,05) das cultivares para espessura, comprimento, largura, perímetro, área e índice de área dos cladódios (AC e IAC), altura das plantas, número de cladódios por planta no segundo ano de avaliação (Tabela 7).

Tabela 7. Espessura, comprimento, largura, perímetro, área de cladódio e índice de área de cladódio, altura da planta e número de cladódios por planta de cultivares de palma forrageira no segundo ano de avaliação (2018-2019)

Características	Cultivar			Erro padrão
	IPA Sertânia	Miúda	Orelha EM	
Espessura (cm)	1,60a	1,27c	1,20b	0,4552
Comprimento (cm)	26,90a	19,33b	26,40a	0,6221
Largura (cm)	13,50b	9,42c	20,21a	0,3596
Perímetro (cm)	64,42b	45,32c	70,04a	1,2686
AC (cm ²)	263,87b	131,78c	377,97a	12,8329
IAC	3,02b	4,00ab	5,17a	0,0280
Altura da planta (cm)	76,27ab	78,10a	69,35b	2,1433
Número de cladódios	14b	38a	17b	0,1399

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A espessura dos cladódios foi significativamente maior para a IPA Sertânia, seguida da Orelha EM, em posição intermediária, e a Miúda foi a cultivar menos espessa (Tabela 7). Segundo Agüero et al. (2005), essa é uma característica que varia com a espécie da palma.

Para o comprimento dos cladódios, as cultivares Orelha EM e IPA Sertânia exibiram maior tamanho sem diferir entre si, e novamente, a Miúda apresentou menor dimensão dos cladódios (Tabela 7). Silva et al. (2015) obtiveram resultados semelhantes, reforçando a direta relação da biometria com a determinação genética dos cultivares. De maneira análoga, Rocha et al. (2017) obtiveram maior comprimento e largura dos cladódios na Orelha EM, em relação à Miúda.

A largura, perímetro e a área dos cladódios foram maiores na Orelha EM, seguidos pela IPA Sertânia, e menores na Miúda (Tabela 7). Rocha et al. (2017) observaram maior área do cladódio para Orelha EM, em comparação à Miúda.

O IAC foi significativamente maior para Orelha EM quando comparada com a IPA Sertânia, e ambas não diferiram da Miúda, neste segundo ciclo anual de avaliação (Tabela 7).

Silva et al. (2015) avaliaram três cultivares de palma forrageira em regime de sequeiro por 24 meses, e obtiveram IAC de 0,93; 0,89 e 1,75 para IPA Sertânia, Miúda e Orelha EM respectivamente, sem diferença significativa. Os autores confirmaram que a Miúda possui maior número de cladódios, apesar destes apresentarem menor AC, e por estas razões o índice obtido se assemelha às demais.

No presente ensaio, a Miúda também exibiu inferior AC, porém elevada brotação (38 cladódios por planta) em comparação as outras duas cultivares, se equivalendo a Orelha EM quanto ao maior IAC. Desse modo, embora a IPA Sertânia e Orelha EM apresentem maiores AC, o número de cladódios é baixo (média de 16 unidades) em relação à Miúda (Tabela 7).

Quanto à altura da planta, a Miúda mostrou-se mais alta que a Orelha EM, que não diferiu significativamente da IPA Sertânia, no segundo ano de avaliação (Tabela 7). Como já discutido anteriormente, este comportamento é inerente aos cultivares com resultados frequentemente encontrados na bibliografia (Silva et al., 2014; Silva et al., 2015; Rocha et al., 2017).

Talvez algumas dimensões dos cladódios e das plantas das cultivares de palma forrageira obtidas neste ensaio sejam influenciadas também pelas condições climáticas. Barbosa et al. (2018) analisaram o vínculo de variáveis ambientais para morfologia da IPA Sertânia, Miúda e Orelha EM, por 12 meses, sob cultivo irrigado. Os autores constataram que o gênero *Nopalea* mostrou maior sensibilidade às variações ambientais, quando comparado à *Opuntia*, que por sua vez foi mais dependente dos caracteres fenotípicos e menos sensível às variáveis do clima, principalmente temperatura.

Para número de cladódios por planta, a cultivar Miúda foi a que apresentou maior brotação, entretanto, não houve diferença entre a IPA Sertânia e a Orelha EM (Tabela 7), no segundo ciclo anual de avaliação. A elevada brotação da palma Miúda é normalmente observada nos palmais e amplamente reportada pela literatura (Sales et al., 2009; Silva et al., 2014; Silva et al., 2015; Rocha et al., 2017).

Silva et al. (2015) verificaram que a Orelha EM e a IPA Sertânia foram os cultivares que se destacaram na maioria das características morfológicas dos cladódios, em relação a Miúda, mas esta foi a que emitiu maior número de cladódios (35 unidades), respostas observadas neste estudo (Tabela 7) para comprimento, largura, perímetro, área

e índice de área dos cladódios na Orelha EM e IPA Sertânia, e para elevada brotação na Miúda (38 unidades).

A relação brotação e dimensão dos cladódios na palma forrageira torna-se indicativo estratégico na escolha da cultivar para plantio. A Orelha EM apresenta maiores medidas dos cladódios em relação à Miúda, mas emite menos brotações, o que pode resultar em equivalência produtiva entre as mesmas sob determinadas condições de cultivo.

A presença de água durante todo ciclo de cultivo, seja pela ocorrência das chuvas ou da irrigação, favorece o número de cladódios, conforme verificado por Arba et al. (2018), em Marrocos. Esses autores cultivaram três variedades de palma frutífera com e sem espinho (*Opuntia* spp.) sob irrigação, por dois anos, e observaram que houve aumento da emissão de brotos jovens e maduros, e do rendimento de frutos, no segundo ciclo anual de colheita. A lâmina de água aplicada variou de 30 a 60 mm por estágio fenológico.

Inglese (2010) e Nerd e Mizrahi (2010) obtiveram semelhantes respostas de maior número brotação de gemas e outras estruturas vegetais na palma sob aporte hídrico. Este comportamento é importante pois tem relação com elevação na produtividade de matéria verde.

De maneira geral, a morfologia dos cladódios, incluindo comprimento, largura, perímetro, área e índice de área, altura e largura de plantas, expressaram-se nas cultivares similarmente durante os dois ciclos anuais de avaliação (Tabelas 2 e 7), confirmando que essas características morfológicas são mais influenciadas pelo cultivar do que pelas manipulações do meio (Jacobo e González, 2001). Assim como verificado por Barbosa et al. (2018) em que as lâminas e frequência de irrigação aplicadas às cultivares de palma forrageira não determinaram significativamente a estacionalidade do crescimento das plantas.

Contudo, alguns fatores podem interferir de alguma maneira nessas características, seja de forma isolada ou em interação com outro fator, se apresentando num determinado período do crescimento, como por exemplo, a densidade de plantio, conforme ocorreu neste ensaio para teor de MS, espessura, perímetro e área e índice de área dos cladódios, altura e largura de planta ao longo dos dois anos de avaliação (Tabelas 3, 5 e 6), denotando a importância de menores espaçamentos no cultivo da palma forrageira para estas características morfológicas que direta ou indiretamente tem relação com a produtividade.

Por fim, as características morfológicas da palma forrageira podem ser influenciadas por algumas variáveis, tais quais a espécie, cultivar, fase de crescimento da planta, práticas de manejo e espaçamento, além dos ambientais, por exemplo disponibilidade de água no solo e temperatura (Hernández et al., 2004; Dubeux Jr. et al., 2006; Knebel et al., 2006; Sales et al., 2013).

No que se refere as características produtivas, no primeiro ciclo anual de crescimento, houve efeito significativo ($P < 0,05$) de interação entre os horários de irrigação e as densidades de plantio, somente para produtividade de matéria verde, quando houve influência do adensamento no período diurno e não no noturno (Tabela 8).

No desdobramento da PMV dentro dos horários de irrigação, observa-se que durante a irrigação diurna a produtividade foi significativamente superior no maior adensamento (80 mil plantas⁻¹) do que no menor testado (20 mil plantas⁻¹), e a densidade intermediária (40 mil plantas⁻¹) não diferiu de ambas. No período de irrigação noturna os rendimentos não diferiram entre as densidades aplicadas. Na comparação da PMV dentro de cada densidade entre os horários de irrigação, os rendimentos não foram significativamente diferentes em nenhum adensamento.

Tabela 8. Produtividade de matéria verde de cultivares de palma forrageira em função dos horários de irrigação e das densidades de plantio no primeiro ano de avaliação (2017-2018)

Densidade (plantas ha ⁻¹)	Horário de irrigação	
	Manhã	Noite
20 mil	156,79bA	178,62aA
40 mil	169,90abA	187,44aA
80 mil	196,59aA	169,58aA
Erro padrão	12,1006	

Letras minúsculas comparam na coluna (densidade) e maiúsculas na linha (horário). Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Talvez não tenha ocorrido efeito dos horários de irrigação neste primeiro ano de cultivo, devido no estabelecimento da cultura haver alta demanda de nutrientes, sobretudo água, em função do desenvolvimento radicular e das primeiras brotações dos cladódios. Especialmente se considerar as condições climáticas no local deste ensaio, de elevadas temperaturas, inclusive a noite, a água é essencial para que a palma forrageira se estabeleça.

Assim, a necessidade hídrica pelas plantas pode ter sido intensa e a disponibilidade da água, independente do horário de aplicação, seria semelhantemente utilizada durante a implantação da cultura, sobretudo na maior densidade de plantio, na

qual pode haver absorção imediata da água disponibilizada. Todavia, reconhece-se que as condições de evapotranspiração potencial sejam diferentes durante o dia e a noite. Assim, ao aplicar a mesma lâmina nos dois horários opostos, não tenha atendido satisfatoriamente a estas demandas hídricas.

Nobel e Bobich (2002) destacaram que sob suprimento hídrico adequado, o sistema anatômico e fisiológico das plantas MAC possibilita o funcionamento como C3, captando CO₂ durante o dia. Essa condição favorece a abertura estomática e contribui para o ganho líquido diário e acúmulo de reserva pela planta nas épocas favoráveis ao seu desenvolvimento.

No presente estudo, além das chuvas (609 e 920 mm no primeiro e segundo ciclo anual de cultivo, respectivamente), a irrigação durante todo período seco propiciou considerável quantidade de água para o sistema do palmar (575 e 460 mm nos ciclos anuais 1 e 2, nessa ordem), favorecendo para satisfatória produtividade de matéria verde.

Brito et al. (2018) avaliaram a eficiência fotoquímica em cladódios da palma forrageira ‘Gigante’, cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino na região semiárida, e observaram que o rendimento fotossintético foi considerado ideal na estação das chuvas, confirmando importância da água inclusiva para o desenvolvimento dos palméis. Os autores supõem que devido as plantas terem recebido um volume hídrico substancial, aumentou significativamente a assimilação instantânea de CO₂ e o ganho diário de carbono.

Barrios et al. (2012) verificaram captura líquida diária de CO₂ acentuada em períodos chuvosos e aumento da formação de raízes em resposta à disponibilidade de água no solo. Neste ensaio houve irrigação durante todo o ciclo, sobretudo na época seca, o que interferiu positivamente para obtenção das satisfatórias produções.

Ao considerar o maior IAC obtido sob maiores densidades de plantas (Tabela 4), confirmou-se a correlação positiva com a PMV, que também apresentou elevação com aumento do adensamento de plantio. Entretanto, essa a correspondência prevista não se repetiu ao avaliar o efeito do horário noturno de irrigação.

Ocorreu efeito significativo ($P < 0,05$) de interação entre as cultivares e as densidades de plantio para número de cladódios por planta, produtividades de matéria verde e seca (PMV e PMS) e eficiência do uso da água (EUA) no primeiro ano de avaliação (Tabela 9). A interação se observa em função de comportamento diferenciado da cultivar Miúda que respondeu significativamente ao adensamento, enquanto as

cultivares IPA Sertânia e Orelha EM não apresentaram incremento de produtividade em resposta ao adensamento.

Tabela 9. Número de cladódios por planta, produções de matéria verde e seca e eficiência do uso da água em função das cultivares de palma forrageira e das densidades de plantio no primeiro ano de avaliação (2017-2018)

Características avaliadas	Cultivares	Densidade (plantas ha ⁻¹)			Erro padrão
		20 mil	40 mil	80 mil	
Número de Cladódios	IPA Sertânia	13aC	13aB	10aB	0,2523
	Miúda	53aA	40bA	28cA	
	Orelha EM	26aB	18bB	15bB	
PMV (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IPA Sertânia	127,57aB	146,33aA	145,12aB	14,8201
	Miúda	158,39bB	192,34abA	212,29aA	
	Orelha EM	217,15aA	197,35aA	191,85aAB	
PMS (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	IPA Sertânia	11,35aB	12,03aB	11,82aB	1,6562
	Miúda	17,69bA	21,65abA	22,61aA	
	Orelha EM	22,17aA	18,31aA	20,18aA	
EUA (kg de MS kg ⁻¹ de água)	IPA Sertânia	9,59aB	10,16aB	9,98aB	1,3993
	Miúda	14,95bA	18,29abA	19,11aA	
	Orelha EM	18,73aA	15,47aA	17,05aA	

Letras minúsculas comparam na linha (densidades) e maiúsculas na coluna (cultivares). Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Para o número de cladódios por planta, na comparação das cultivares dentro de cada densidade de plantio, nesse primeiro ciclo anual de avaliação, a cultivar Miúda apresentou maior número de cladódios (média de 40 unidades) que as demais cultivares em todas as densidades, e as cultivares IPA Sertânia e Orelha EM não diferiram nas densidades de 40 e 80 mil plantas ha⁻¹. Ao se comparar as densidades em cada cultivar, a Miúda foi favorecida sob 20 mil plantas ha⁻¹, apresentando 33 e 89% mais de cladódios que no adensamento de 40 e 80 mil, respectivamente. Se extrapolar para população de 20 mil plantas por hectare ao ano, a produção de cladódios supera um milhão de unidades, com potencial inclusive pra utilização por sementes. A Orelha EM apresentou resposta semelhante, com maior número de cladódios na menor densidade em comparação às maiores densidades. Para IPA Sertânia não se observou efeito da densidade de plantio (Tabela 9).

Silva et al. (2014) testaram densidades de 10, 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹ no cultivo da palma Gigante, Redonda e Miúda por 12 meses, em sequeiro, tendo a Miúda apresentado superioridade em mais de 400% no número de cladódios em comparação com as outras espécies, além de produzir mais cladódios (62 unidades) na menor densidade. Os autores mencionaram que esta resposta implicou na maior altura das

plantas, haja vista a característica genética da Miúda de crescer mais na vertical, conferida neste estudo (Tabelas 2, 3 e 7).

O crescimento e a produtividade das palmas IPA Sertânia, Miúda e Orelha EM sob influência de variáveis meteorológicas (radiação solar global, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e precipitação pluviométrica) em Serra Talhada/PE, foi comparada por Silva et al. (2015) por dois anos, em sequeiro, na densidade de 31.250 plantas ha⁻¹. A Miúda foi a que mais emitiu cladódios (> 35 unidades), mas a que alcançou menor PMV (117,5 Mg ha⁻¹), juntamente com a IPA Sertânia, se sobressaindo a Orelha EM (163,0 Mg ha⁻¹).

Rocha et al. (2017) contabilizaram 32 e 15 cladódios por planta para palma Miúda e OEM, nesta sequência. Pinheiro et al. (2014) verificaram que o número de cladódios, a altura e largura da planta tiveram alta correlação com o IAC e com a produtividade, confirmado no presente experimento (Tabelas 2, 3, 6 e 7).

Como se verificou, esses dois cultivares se equivalem em rendimento, apesar da diferença na brotação, devido fator genético, no qual cada espécie possui seu aspecto produtivo: a *Nopalea* produz mais cladódios de menor tamanho, enquanto a *Opuntia*, emite menos cladódios, de maior dimensão (Rocha et al., 2017).

Isso se confirma na presente pesquisa quando a palma Miúda apresenta número maior de cladódios em todas as densidades testadas (Tabela 6). A equivalência em rendimentos entre as palmas Miúda e Orelha EM também é significativa, com produtividades médias dos dois anos de avaliação, de PMV de 195 Mg ha⁻¹ e de PMS da ordem de 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, ambas superando os rendimentos da cultivar IPA Sertânia.

Ramos et al. (2017) cultivaram a palma Miúda durante 12 meses, em sequeiro, com 10 e 40 mil plantas ha⁻¹ e registraram maior número de cladódios (9,5), PMV (94 Mg ha⁻¹), PMS (10 Mg ha⁻¹) e EUA de chuva (28 Mg ha⁻¹) na máxima densidade.

Avaliando o desenvolvimento na palma forrageira cultivar Gigante (*Opuntia ficus-indica* Mill) com altas densidades de plantio de 50, 100 e 150 mil plantas ha⁻¹, Sales et al. (2013) observaram que no adensamento intermediário, a produção de matéria verde por área e o índice de área de cladódio aumentaram.

Sobre os plantios muito adensados, apesar de ultimamente serem mais adotados, vale alertar que os cultivos com menor adensamento podem ser razoáveis. Embora a captura de luz não seja ótima, outros fatores podem limitar, como a disponibilidade de água ou de nutrientes (Sampaio, 2005), e essas condições influenciam na determinação

da densidade de plantas, além do alto custo dos cladódios sementes. Deve-se considerar ainda a cultivar e seu comportamento produtivo diante dessa prática.

Souza et al. (2017) pesquisaram o rendimento e teor de nutrientes na palma Miúda sob níveis de adubação (N e P) e inferiores densidades de plantio (5.000 e 40.000 plantas ha⁻¹) e observaram aumento da produtividade e diminuição da concentração dos nutrientes, exceto enxofre (S), com elevação do número de plantas na área.

Na produtividade de matéria verde (PMV), comparando os efeitos das três cultivares avaliadas dentro de cada densidade de plantio, no primeiro ano de cultivo, observou-se que a menor densidade promoveu maior produtividade para a Orelha EM quando comparada com a Miúda e a IPA Sertânia, que não diferiram entre si.

Na densidade de 40 mil plantas ha⁻¹ não houve diferença significativa entre as cultivares. Entretanto, na densidade de 80 mil plantas, a Miúda foi superior em rendimento em relação a IPA Sertânia, e similar a Orelha EM que não diferiu de ambas (Tabela 9). Quando se avaliou os adensamentos dentro de cada cultivar, os rendimentos da IPA Sertânia e a Orelha EM não diferiram entre as densidades de plantio. A Miúda por outro lado, apresentou maior produtividade na densidade de 80 mil plantas ha⁻¹ em relação à de 20 mil, sem diferir da densidade intermediária.

A área do cladódio tem direta relação com a absorção de CO₂ e conseqüentemente com a capacidade produtiva de forragem (Tobias et al., 2010). Rocha et al. (2017) conferiram que uma maior área do cladódio promoveu elevação na taxa fotossintética e obtenção de máxima PMV. A superior área de cladódio da Orelha EM confirmou a relação da morfologia do cladódio com a produtividade, haja vista a PMV de até 217 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ obtida por esta cultivar (Tabelas 2, 3 e 7).

Ainda, a elevação da produtividade sob maiores adensamentos de plantas é relacionada com outra característica morfológica, o índice de área de cladódio. O aumento desse IAC promove elevação da eficiência fotossintética, devido maior número de plantas (Nobel e Bobich, 2002; Silva et al., 2016).

Os altos índices de área de cladódios obtidos (6,34 e 5,72m²/m²) sob o maior adensamento de plantio nas medições de 2018 e 2019, respectivamente (Tabelas 3 e 6), favoreceram o aumento de produtividade na densidade de 80 mil plantas ha⁻¹ na Miúda, e talvez justifique a superior PMV também na Orelha EM, quando comprada com a IPA Sertânia.

Quanto as cultivares, observou-se novamente um comportamento diferenciado da palma Miúda, que foi a única a responder em termos de PMV, PMS e EUA em relação

ao maior sobre o menor adensamento, enquanto que as cultivares IPA Sertânia e Orelha EM não apresentaram diferenças significativas para essas características entre as três densidades testadas (Tabela 9). Assim, o adensamento pode não ser necessário para a obtenção de produtividades maiores nessas duas cultivares.

Semelhante a este estudo, Silva et al. (2014) observaram que a palma forrageira (Miúda, Redonda e Gigante) respondeu de forma positiva ao cultivo adensado com até 80.000 plantas por hectare e ainda verificaram que nessa maior densidade, a palma Miúda se destacou das *Opuntias* quanto ao potencial produtivo (médias de 318 e 22 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de PMV e PMS, respectivamente).

Também no presente estudo não houve diferença significativa na PMS e na EUA (P<0,05) entre a palma Miúda e a Orelha EM todas as densidades testadas, ambas superando o desempenho da cultivar IPA Sertânia (Tabela 9).

Silva et al. (2015) observaram que a Orelha EM foi a que apresentou maior produção de matéria verde em comparação com a Sertânia e Miúda e associaram esse resultado ao maior IAC da *Opuntia*, devido a maior área de seus cladódios quando comparada às *Nopaleas*.

Rocha et al. (2017) cultivaram a palma Orelha EM e Miúda sob intervalos de corte de 4, 8, 12 e 16 meses em sistema irrigado por gotejamento e nos dois maiores espaços de tempo pós plantio obtiveram máximos rendimentos. Sob 12 meses as PMV e PMS foram de 566 e 76 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ e EUA de 126 kg de MS mm água⁻¹ para a *Opuntia* em relação a *Nopalea* (315 e 31 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MV e MS) e eficiência de 52 kg de MS mm água⁻¹. Esses expressivos valores foram justificados pela disponibilidade de água e aplicação de adubações ao longo dos ciclos. Isso demonstra a necessidade dos manejos de irrigação e adubação no cultivo da palma forrageira sobretudo em condições de clima semiárido e maiores adensamentos.

Vale alertar que se deve buscar um adensamento de plantio intermediário para manutenção do sistema de produção, uma vez que as maiores densidades de plantas podem não representar a obtenção de produtividades máximas, além da possibilidade de maiores populações de palma também incrementarem o índice de pragas e doenças. Há também a necessidade de um manejo sustentável do palmar visando diminuir custos como aquisição de sementes, adubação e de mão de obra. Outra reflexão necessária é a da restrição do uso de água e de fertilizantes, ambos de forte apelo ecológico, devido à escassez de um, e aos impactos ambientais de outro, neste caso, em função da inadequada utilização.

Para PMS, ainda no primeiro ano de cultivo, ao se comparar os efeitos das três cultivares em cada densidade de plantio, observou-se que as variedades Miúda e Orelha EM não diferiram entre si em todas as densidades, mas ambas superaram a cultivar IPA Sertânia. Na análise do adensamento dentro de cada cultivar, a IPA Sertânia e a Orelha EM não apresentaram diferenças para PMS entre as densidades de plantio. A Miúda apresentou maior rendimento na densidade de 80 mil plantas ha⁻¹ em comparação a de 20 mil, sem diferir com a densidade intermediária (Tabela 9).

No estudo de Cavalcante et al. (2014), em cultivo de sequeiro por dois anos, o aumento da densidade de plantas (10, 20, 40 e 80 mil ha⁻¹) para *Opuntia* (Redonda e Gigante) e *Nopalea* (Miúda), diminuiu o número de cladódios por planta, mas aumentou a PMS.

O potencial de rendimento da palma forrageira, sobretudo a Miúda e Orelha EM está disponível na literatura. Sob adensamento de 20 mil plantas por hectare, as PMS médias para Orelha EM e Miúda foram de 49 e 22 Mg ha⁻¹ respectivamente, cultivadas por dois anos em sequeiro (Santos et al., 2011). A palma Miúda foi cultivada em sequeiro por Silva et al. (2014) em densidades de 10, 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹, e obtiveram aos 12 meses, PMV e PMS médias de 318 e 22 Mg, respectivamente. Produção da mesma *Nopalea*, de 18 Mg ha⁻¹ dois anos⁻¹ foi obtida por Cunha et al. (2008).

Silva et al. (2015) não obtiveram diferença significativa entre as variedades IPA Sertânia, Miúda e Orelha EM para PMS, média de 13 Mg ha⁻¹ aos dois anos de plantio em sequeiro. Os autores citaram a literatura quanto à Miúda ser considerada de baixa adaptação ao ambiente semiárido, naqueles locais onde há altas temperaturas e baixa umidade noturna (Albuquerque e Santos, 2006; Sales et al., 2009), mas ressaltaram que quando cultivada em condições de maior disponibilidade de água e/ou temperaturas amenas, o rendimento da Miúda equivale ao dos cultivares mais produtivos (Santos et al., 2006 a, b).

Por fim, na primeira avaliação anual, em relação a eficiência do uso da água (EUA), ao se comparar o desempenho das três cultivares dentro de cada densidade de plantio, o comportamento da reposta foi similar ao da PMS, ou seja, as cultivares Miúda e Orelha EM não diferiram entre si, mas ambas superaram a IPA Sertânia em todas as densidades. Quanto ao desempenho das diferentes densidades em relação a cada cultivar, a Miúda apresentou maior EUA na densidade de 80 mil plantas ha⁻¹ em comparação a de 20 mil, mas não diferiu da densidade intermediária (40 mil plantas ha⁻¹).

Silva et al. (2014b) avaliaram a EUA da palma Miúda, IPA Sertânia e Orelha EM, cultivadas em sequeiro por dois anos, e verificaram que sobre a PMS, as três cultivares exibiram a mesma eficiência, médias de 8,1 kg de MS ha⁻¹ mm⁻¹ (precipitação) e de 9,1 kg de MS ha⁻¹ mm⁻¹ (evapotranspiração real). Considerando que a IPA Sertânia e a Orelha EM superaram a Miúda, em termos de PMV, os autores consideraram que esta foi o cultivar menos eficiente para o Semiárido brasileiro.

Finalmente sobre as respostas de produção da palma forrageira, no segundo ano de avaliação, o efeito significativo (P<0,05) dos horários de irrigação se evidenciou para PMV, PMS e EUA, sendo os melhores resultados obtido quando a complementação hídrica foi realizada no período diurno (Tabela 10).

Tabela 10. Produtividades de matéria verde e seca e eficiência do uso da água de cultivares de palma forrageira em função do horário de irrigação no segundo ano de avaliação (2018-2019)

Horário de irrigação	PMV (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	PMS (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	EUA (kg de MS/kg de água)
Manhã	196,58a	16,65 ^a	12,07a
Noite	147,24b	12,94b	9,37b
Erro padrão	8,3153	0,5687	0,4122

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A palma forrageira possui metabolismo MAC (metabolismo ácido das crassuláceas) captando o CO₂ à noite, quando geralmente as condições climáticas são amenas em relação ao dia, a fim de reduzir as perdas de água por ocasião da abertura dos estômatos. No entanto, é durante o dia que se realiza o ciclo de Calvin da fotossíntese, processo responsável pelo crescimento das plantas e, conseqüentemente, pela produtividade. Assim, a absorção de água pelo sistema radicular pode ser mais efetiva no período diurno, quando há maior demanda hídrica pelos vegetais.

Segundo Marouelli et al. (2011) a hidratação dos tecidos das plantas é influenciada pelo clima, sobretudo no período diurno, quando a perda de água é maior em função do calor do dia, que ocasiona estresse hídrico, sobretudo em torno do meio-dia e início da tarde, principalmente em dias quentes e secos. Desse modo, o horário da rega às nove horas da manhã parece ter suprido essa demanda hídrica sob as condições meteorológicas do local do experimento que apresentam altas temperaturas e baixa a mediana umidade relativa do ar (Figura 2, capítulo 2).

Embora as altas temperaturas e umidade noturnas (Figura 1, capítulo 1) no local do experimento não sejam as mais adequadas para o pleno desenvolvimento da palma forrageira, a quantidade de água disponibilizada no sistema via irrigação, maior que 500 ml (Figura 1), pode ter amenizado as consequências do estresse abiótico para as plantas. Rocha et al. (2017) cultivaram a palma Miúda e Orelha EM sob irrigação por gotejamento, com lâminas quinzenais de 16 mm por 12 meses e sugeriram que o aporte hídrico disponibilizado minimizou os efeitos adversos do clima e possibilitou expressivas produtividades.

Barrios et al. (2012) confirmaram que a disponibilidade de água possibilita aumento do ganho de carbono (C), promovendo a captura de CO₂ durante a noite (via MAC) e durante o dia (via C3).

A palma foi cultivada em regime de sequeiro por Brito et al. (2018), que verificaram que as plantas tiveram seu aparato fotossintético danificado de forma mais acentuada nos momentos de maior estresse pelo calor e radiação, durante a época seca e nos horários mais quentes do dia, entre 10 e 16 h. Portanto, a água disponibilizada às 09 h pode ter suprido esta demanda e favoreceu os maiores rendimentos para o tratamento da irrigação diurna.

Outro fator que contribui para a manutenção da produtividade de plantas perenes cultivadas, como essas cactáceas forrageiras, é o manejo de colheita. Neste estudo, preservou-se dois cladódios de ordem primária e essa prática foi recomendada por Santos et al. (2010), pois maior área de cladódio residual promove uma rebrota vigorosa e maior longevidade do palmal.

Ainda, o controle frequente de plantas invasoras nas épocas seca e chuvosa durante o período de cultivo favoreceu às satisfatórias produtividades obtidas, conforme orientado por Santos et al. (2002) que confirmaram respostas positivas da palma forrageira a este trato cultural.

Ocorreu efeito significativo ($P < 0,05$) das cultivares para a produtividade de matéria seca (PMS) e eficiência do uso da água (EUA) no segundo ano de avaliação (Tabela 11). A PMS e a EUA foram maiores para Miúda que para a IPA Sertânia, não diferindo da Orelha EM, que apresentou desempenho intermediário não diferindo de ambas.

Tabela 11. Produtividade de matéria seca e eficiência do uso da água de cultivares de palma forrageira no segundo ano de avaliação (2018-2019)

Características	Cultivar			Erro padrão
	IPA Sertânia	Miúda	Orelha EM	
PMS (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹)	13,51b	16,17a	14,71ab	0,5687
EUA (kg de MS/kg de água)	9,79b	11,72a	10,66ab	0,5048

Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O efeito das cultivares sobre a PMS e a EUA se apresentou mais diretamente no primeiro ciclo anual (2017-2018) pela interação significativa com as densidades de plantio (Tabela 11), evidenciando a influência dessa variável genética e dos manejos de cultivo na produção da palma forrageira.

Em resultados de pesquisa, sob regime de sequeiro, a Orelha EM tem apresentado maior PMS que a Miúda, e essa por sua vez, mais produtiva, em base seca, que a IPA Sertânia. Quando sob irrigação, a Miúda tem se equiparado em rendimento de matéria seca com a *Opuntia* (Santos et al., 2011; Silva et al., 2015; Rocha et al., 2017).

O elevado número de cladódios (Tabelas 7 e 9), IAC e altura e largura de plantas (Tabelas 2 e 7) obtidos pela Miúda conferiram superior PMS, pois estas características morfológicas tem alta correção com a produtividade na palma forrageira (Pinheiro et al., 2014).

Essas respostas de rendimento são importantes também para auxiliar na decisão sobre qual cultivar de palma forrageira deve-se implantar, considerando as condições climáticas e de disponibilidade de água local. Todavia, os resultados testados ainda são preliminares.

Considerando que neste estudo, entre as *Nopaleas*, a palma Miúda se destacou em PMS e EUA em relação a IPA Sertânia, verifica-se que aquela cultivar é a mais indicada para implantação de novos campos de cultivo, a partir dos atributos morfológicos e produtivos e máxima habilidade na utilização da água obtidos neste ensaio.

Vale salientar que não houve efeito significativo ($P > 0,05$) das densidades de plantio, seja sob interação ou isolado, nas características produtivas das cultivares estudadas nesse segundo ano de avaliação. As médias obtidas de PMS foram 14,35; 15,358 e 14,69 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ para 20, 40 e 80 mil plantas ha⁻¹, respectivamente.

Conforme mencionado na discussão do primeiro ano de cultivo, quanto às respostas da PMV, PMS e EUA ao adensamento de plantas, as cultivares IPA Sertânia e Orelha EM não diferiram em produtividade entre as densidades de plantio, e a Miúda apresentou superior produção por área sob 80 mil em comparação à 20 mil plantas ha⁻¹,

não havendo diferença com relação às 40 mil plantas por hectare entre os outros dois extremos de adensamentos.

De certa forma, essa reposta se manteve no segundo ciclo de avaliação, haja vista a ausência da influência das densidades de plantio testadas nas três cultivares da palma forrageira, indicando que intermediários adensamentos de plantas entre 20 a 40 mil plantas ha⁻¹ são eficientes quanto a produtividade, e que populações superiores a este intervalo podem acarretar maiores custos de produção, partindo da implantação (quantidade de palma semente), seguido da manutenção (adubação) desses palmais.

Em resumo, as características produtivas número de cladódios, PMV, PMS e EUA foram influenciadas significativamente, nos dois anos de avaliação, pelos tratamentos aplicados, horários de irrigação, cultivares e densidades de plantio, ora sob efeitos isolados ou em interação.

O número de cladódios conferiu relação direta e positiva com a produtividade. Por exemplo, na cultivar Miúda, a maior brotação (Tabela 7) revelou elevada PMV (Tabela 9). E, a influência significativa das densidades de plantio e das cultivares sobre a emissão de cladódio, confirmaram a relação de ambos os fatores para essa resposta, por meio da interação dos dois tratamentos testados no primeiro ano de avaliação (Tabela 9), que foi reforçada no ciclo anual seguinte pelos efeitos isolados dos adensamentos de plantio e das cultivares (Tabelas 6 e 7).

Quanto a PMV, no primeiro ano de crescimento, a influência das interações significativas entre os horários de irrigação e as densidades de plantio (Tabela 8), e entre as cultivares e os adensamentos de plantio (Tabela 9), indicam o efeito do espaçamento de plantio na produção da palma forrageira irrigada. No segundo ciclo anual de cultivo, a resposta significativa dos horários de irrigação (Tabela 10), que se expressou de forma isolada, demonstra que esse conjunto de respostas pode auxiliar na busca de práticas de manejo mais adequadas para a produção dessas cactáceas.

Para a PMS e a EUA, o efeito significativo da interação entre as cultivares e as densidades de plantio (Tabela 9) sugeriu estreita aproximação dessas duas características, no primeiro ano de cultivo, confirmada pela influência significativa dos horários de irrigação (Tabela 10) e das cultivares (Tabela 11) no segundo ciclo anual de crescimento para ambas as características produtivas. Esses resultados apontam a importância da manipulação dessas práticas (adensamento de plantio e hora de rega) na expressão fenotípica da palma forrageira, principalmente no intuito de se obter respostas produtivas mais eficientes, a partir da utilização dos recursos do solo e da água.

CONCLUSÕES

Sobre a morfologia da palma forrageira, a cultivar Orelha EM confirmou-se de maiores dimensões de cladódios (largura, perímetro, AC e IAC), seguida da IPA Sertânia, que se apresentou como de maior comprimento e espessura. A Miúda por sua vez, apresentou-se superior em porte de planta.

Quanto as respostas produtivas, o horário de irrigação diurno propiciou elevação da produtividade às cultivares de palma forrageira, em detrimento ao noturno, somente após o primeiro ano de estabelecimento do palmal. Assim, sugere-se aplicação da irrigação durante o dia.

O adensamento de plantas não promoveu incrementos de produtividade às cultivares de palma forrageira, sobretudo para IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana, com exceção da Miúda no primeiro ano, que respondeu significativamente a maior densidade de plantio ha⁻¹. Desta forma, adensamentos intermediários são recomendados.

No desempenho dos cultivares, a Miúda e a Orelha de Elefante Mexicana se destacaram devido maior PMS e EUA que a IPA Sertânia. Portanto, estas cultivares devem ser priorizadas nos sistemas de produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agüero, J.A.R.; Rivera, J.R.A.; Hernández, H.M. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia*, v.39, p.395-408, 2005.

Albuquerque, S.G.; Santos, D.C. Agronomic evaluation of *Opuntia* spp. varieties for fodder production in the Semiarid Northeast, Brazil. *Acta Horticulturae*, v.728, p.183-188, 2006.

Almeida, A.A.; Silva, R.A.; Oliveira, A.V.B.; Leite, D.T.; Melo, B.A. Perfil sócio-econômico e nível tecnológico dos produtores de palma (*Opuntia ficus indica* Mill.) no Cariri paraibano. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.6, n.2, p.86-92, 2011.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

Arba, M.; Falisse, A.; Allaha, R.C.; Sindic, M. Effect of irrigation at critical stages on the phenology of flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp. *Brazilian Journal of Biology*. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.170086>, 2018.

Barbosa, M.L.; Silva, T.G.F.; Zolnier, S.; Silva, S.M.S.; Ferreira, W.P.M. Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. *Revista Ciência Agronômica*, v.49, n.3, p. 399-408, 2018.

Barrios, E.P.; Hernández, J.Z.; Urias, A.M.; Murguía, C.R. Ecophysiology of young stems (cladodes) of *Opuntia ficus-indica* in wet and dry conditions. *Gayana. Botanica*, v.69, p.232-239, 2012.

Brito, C.F.B.; Donato, S.L.R.; Arantes, A.M.; Donato, P.E.R.; Silva, J.A. Photochemical efficiency in cladodes of 'Gigante' cactus pear cultivated under different spacings and organic fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.22, n.5, p.338-343, 2018.

Cavalcante, L.A.D.; Santos, G.R.A.; Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Silva, M.A. Respostas de cultivares de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.44, n.4, p.424-433, 2014.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Diagnóstico do município de Apodi, estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p, 2005.

Cunha, M.V.; Santos, D.C.; Silva, M.C.; Lira, M.A.; Farias, I.; Vaz, A.A. Características agronômicas de cultivares de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) no semi-árido de Pernambuco. In: Reunião anual da Sociedade brasileira de zootecnia, 45, Lavras, 2006. Anais ... SBZ, Lavras, 2008.

Dantas, F.D.G. (2015). Lâminas de água salina e doses de adubação orgânica na produção de palma miúda adensada no semiárido. Dissertação (Mestrado em produção animal). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Macaíba, 92.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V.F.; Lira, M.A.; Santos, D.C.; Farias, I.; Lima, L.E.; Ferreira, R.L.C. Productivity of *Opuntia ficus-indica* miller under different N and P fertilizations and plant population in north east Brazil. *Journal of arid environments*, v.67, n.3, p.357-372, 2006.

Dubeux Jr., J.C.B.; Santos, M.V.F.; Mello, A.C.L.; Santos, D.C.; Cunha, M.V.; Lira, M.A.; Andrade, M.A.; Silva, M.C. Forage potential of cacti on drylands. *Acta horticulturae (ISHS)*, v.1067, p.181-186, 2015.

Farias, I.; Santos, D.C.; Dubeux Jr., J.C.B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: Menezes, R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds.) A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Universitária: UFPE, p.81-103, 2005.

Hernández, A.F.; Castillo, I.O.; Amador, B.M.; Hernandez, J.L.G.; Dieguez, E.T. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water Management*. v.70. p.97-107, 2004.

Hills, F.S. Anatomy and morphology. In: Barbera, G.; Inglese, P.; Barrios, E.P. (Eds.). *Agro-ecology, cultivations and uses of cactus pear*. Rome. FAO. v.132, p. 28-35, 1995.

Holanda, J.S.; Dantas, J.A.; Medeiros, A.A.; Ferreira Neto, M.; Medeiros, J.F.; Guedes, F.X. Indicações para adubação de culturas em solos do Rio Grande do Norte. Parnamirim: EMPARN, Documentos 46, 2017, 63p.

Inglese, P. Cactus pear *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. for fruit production: an overview. Rome: FAO. Cactusnet Newsletter Special Issue, 2010.

Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet. Estações convencionais – Dados de precipitação. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODIOTA=>>. Acesso em 06 mar.2019.

Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet. Normais climatológicas do Brasil 1981-2010. Brasília, DF, 2018. Edição digital. 766p. Disponível em: http://www.inmet.gov.br/portal/normais_climatologicas/mobile/index.html#p=1> Acesso em 06 mar.2019.

Jacobo, C.M.; González, S, P. Germoplasm resources and breeding *Opuntia* for fodder production. In: Jacobo, C.M.; González, S.P. (Eds). Cactus (*Opuntia spp.*) as forage. Rome: FAO, 2001. p. 21-28.

Knebel, J.L.; Guimaraes, V.F. Andreotti, M.; Stangarlin, J.R. Influência do espaçamento e população de plantas sobre doenças de final de ciclo e oídio e caracteres agrônômicos em soja. Acta Scientia Agronomica. v.28, n.3, p. 385-392. 2006.

Lima, G.F.C.; Rêgo, M.M.T.; Aguiar, E.M. Silva, J.G.M.; Dantas, F.D.G.; Guedes, F.X.; Lôbo, R.N.B. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Nopalea* forage cactus. Acta horticulturae (ISHS), v.67, p.253-258, 2015.

Lima, G.F.C.; Rêgo, M.M.T.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, R.N.B.; Silva, J.G.M.; Aguiar, E.M. 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.; Rêgo, M.M.T; Silva, J.G.M.; Aguiar, E.M.; Dantas, F.D.G.; Guedes, F.X.; Novaes, L.P. Situación actual de las técnicas de producción de nopal forrajero en Brasil: avances y limitaciones. In: Jacobo, M.C. (Ed). Simposio Internacional Tuna Nopal. 1., 2013. Puebla: Resumos... SAGARPA, 2013. p. 94-105.

Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Farias, I; Cunha, M.V.; Santos, D.C. Meio século de pesquisa com a palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) - Ênfase em manejo. In: Congresso Brasileiro de Zootecnia. 16. 2006. Recife: Anais... ZOOTEC, 2006. 22 p. Disponível em: <http://www.abz.org.br/publicacoes-tecnicas/anais-zootec/palestras/3729-Meio-Sculo-Pesquisa-com-Palma-Forageira-Opuntia-Nopalea---Enfase-Manejo.html>>. Acesso em 04 de julho de 2019.

Littell, R.C.; Henry, P.R.; Ammerman, C.B. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. Journal of Animal Science, v.76, n., p.1216-1231, 1998.

Lopes, L.A.; Cardoso, D.B.; Camargo, K.S.; Silva, T.G.P.; Souza, J.S.R.; Silva, J.R.C.; Morais, J.S.; Araújo, T.P.M. Palma forrageira na alimentação de ruminantes. PUBVET, v.13, n.2, a277, p.1-10, 2019.

Marouelli, W.A.; Oliveira, A.S.; Coelho, E.F.; Nogueira, L.C.; Sousa, V.F. In: Sousa, V.F.; Marouelli, W.A.; Coelho, E.F.; Pinto, J.M.; Coelho Filho, M.A. (Eds.). Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011, Cap. 5, p. 158-232.

Nerd, A.; Mizrahi, Y. Reproductive biology of cactus fruit crops. Horticultural Reviews, v.18, p. 321-346, 2010.

Nobel, P.S. Temperature and energy budgets. Leaves and fluxes. Plants and fluxes. In: Park S. Nobel (ed): Physicochemical and environmental plant physiology. (4 ed.). Academic Press, p. 318-363, 364-437, 438-505, 2009.

Nobel, P.S.; Bobich, E.G. Environmental biology. In Nobel, P.S. (ed). Cacti, biology and uses. Ed. University of California Press, Los Angeles, California, United States of America, p.57-74, 2002.

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.

Pinheiro, K.M.; Silva, T.G.F.; Carvalho, F.S.; Santos, J.E.O.; Morais, J.E.F.; Zolnier, S.; Santos, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.49, n.12, p.939-947, 2014.

Queiroz, M.G.; Silva, T.G.F.; Zolnier, S.; Silva, S.M.S.; Souza, C.A.A.; Carvalho; H.F.S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. Irriga, Ed.Esp.:p.141-154, 2016.

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 veterinaria, v.18, n.8, 2017.

Rêgo, M.M.T.; Lima, G.F.C.; Silva, J.G.M.; Guedes, F.X.; Dantas, F.D.G.; Lôbo, R.N.B. Morfologia e rendimento de biomatéria 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 cultivares de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. Archivos de Zootecnia, v.66, n.255, p.365-373, 2017.

Sales, A.T.; Andrade, A.P.; Silva, D.S.; Leite, M.L.M.V.; Viana, B.L.; León, M.J.; Solís, A.M. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the Semi-Arid in Paraíba State, Brazil. Acta Horticulturae, v. 811, p. 395-400, 2009.

Sales, A.T.; Leite, M.L.M.V.; Alves, A.Q.; Ramos, J.P.F.; Nascimento, J.P. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraibano. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, v.7, n.1, p.19-24, 2013.

Sampaio, E.V.S. Fisiologia da palma. In: Menezes R.S.C.; Simões, D.A.; Sampaio, E.V.S.B. (Eds). *A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Ed. UFPE, 2005, p. 43-56.

Santos, D.C.; Farias, I.; Dias, F.M.; Lira, M.A.; Lima, L.E. Evaluation of forage cactus pear varieties in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. *Acta Horticulturae*, v. 728, p. 173-175, 2006b.

Santos, D.C.; Farias, I.; Lira, M.A.; Santos, M.V.F.; Arruda, G.P.; Coelho, R.S.B.; Dias, F.M.; Warumby, J.F.; Melo, J.N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia e Nopalea*) em Pernambuco. Recife: IPA, 2002. 48 p.

Santos, D.C.; Lira, M.A.; Farias, I.; Dias, F.M.; Silva, F.G. Assessment of forage cactus pear varieties for semi-arid conditions of Northeast, Brazil. *Acta Horticulturae*, v. 728, p. 177-181, 2006a.

Santos, D.C.; Lira, M.A.; Silva, M.C.; Freitas, E.V.; Cavalcante, H.M.B.; Santos, M. V.F.; Vaz, A.A.; Pereira, V.L.A. Cultivares de palma forrageira para áreas atacadas pela Cochonilha do Carmim no Sertão Pernambucano. In: Congresso brasileiro de melhoramento de plantas, 6, 2011, Búzios-RJ. Anais...Búzios: SBMP, Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2011. CD-ROM.

Santos, D.C.; Silva, M.C.; Dubeux Jr., J.C.B.; Lira, M.A.; Silva, R.N. Estratégias para uso de cactáceas em zonas semiáridas: Novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. *Revista Científica de Produção Animal*, v.15, n.2, p.111-121, 2013.

Santos, M.V.F.; Cunha, M.V.; Lira, M.A.; Dubeux Jr., J.C.B.; Freire, J.L.; Pinto, M.S.C.; Santos, D.C.; Souza, T.C.; Silva, M.C. Manejo da palma forrageira. In: Congresso brasileiro de palma e outras cactáceas, 2, 2011, Garanhuns, Anais... Garanhuns: UFRPE-UAG, 2011a. 15 p.

Santos, M.V.F.; Lira, M.A.; Dubeux Jr., J.C.B.; Ferreira, M.A.; Cunha, M.V. Palma forrageira. In: Fonseca, D.M.; Martuscello, J.A. (Org.). *Plantas forrageiras*. 1ed. Viçosa: Editora UFV, 2010, v. único, p. 459-493.

Silva, A.P.G.; Souza, C.C.E.; Ribeiro, J.E.S.; Santos, M.C.G.; Pontes, A.L.S.; Madruga, M.S. Características físicas, químicas e bromatológicas de palma gigante (*Opuntia ficus-indica*) e miúda (*Nopalea cochenillifera*) oriundas do estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v.9, n.2, p.1810-1820, 2015a.

Silva, D.J.; Queiroz, A.C. *Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos*. 3 ed. Viçosa, MG: UFV, 235p, 2006.

Silva, L.M.; Fagundes, J.L.; Viegas, P.A.A.; Muniz, E.N.; Rangel, J.H.A.; Moreira, A.L.; Backes, A.A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. *Ciência Rural*, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014.

Silva, N.G.M.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Cunha, M.V.; Lira, M.A.; Ferraz, I. Effects of planting density and organic fertilization doses on productive efficiency of cactus pear. *Revista Caatinga*, v.29, n.4, p.976-983, 2016.

Silva, T.G.F.; Araújo Primo, J.T.; Moura, M.S.B.; Silva, S.M.S.; Morais, J.E.F.; Pereira, P.C.; Souza, C.A.A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.50, n.7, p.515-525, 2015b.

Silva, T.G.F.; Araújo, G.G.L.; Moura, M.S.B.; Souza, L.S.B. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. *Amazonian Journal of Plant Research*, v.1, n.2, p.45-65, 2017.

Silva, T.G.F.; Miranda, K.R.; Santos, D.C.; Queiroz, M.G.; Silva, M.C.; Cruz Neto, J.F.; Araújo, J.E.M. Área do cladódio de cultivares de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.9, n.4, p.633-641, 2014a.

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 cultivares de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v.28, n.2, p.10-18, 2015.

Silva, T.G.F.; Primo, J.T.A.; Silva, S.M.S.; Moura, M.S.B.; Santos, D.C.; Silva, M.C.; Araújo, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de cultivares de palma forrageira em condições de sequeiro no semiárido brasileiro. *Bragantia*, v.73, n.2, p.184-191, 2014b.

Snyman, H.A. A greenhouse study on root dynamics of cactus pears, *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *Journal of arid Enviroments*. v.65, p.529-542, 2006.

Sosa, E.S.; Escareño, H.I.T.; Castillo, I.O.; Melendez, E.S.; Montiel, L.G.H.; Amador, B.M. The potential of using solarized cattle manure fertilizer and planting densities to cultivate the cactus *Opuntia ficus-indica* L. *Journal of the professional Association for Cactus Development*, v.20, p.1-22, 2018.

Souza, A.H.C.; Rezende, R.; Lorenzoni, M.Z.; Santos, F.A.S.; Oliveira, J.M. Response of bell pepper to water replacement levels and irrigation times. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.49, e53662, 2019.

Souza, T.C.; Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., 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*, v.12, n.4, p.555-560, 2017.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Porto Alegre: Artmed, 888p, 2017.

Teles, M.M.; Mércia Virgínia Ferreira dos Santos, M.V.F.; Dubeux Jr., J.C.B.; Bezerra Neto, E.; Ferreira, R.L.C.; Lucena, J.E.C.; Lira, M.A. Efeitos da adubação e de nematicida no crescimento e na produção da palma forrageira (*Opuntia ficus indica* Mill) cv. Gigante. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.52-60, 2002.

Tobias, H.M.R.; Rivera, J.R.A.; Rodriguez, J.M.P. Productivity of *Opuntia* ssp. and *Nopalea* sp. (Cactacea) growing under greenhouse hydroponics system. Journal Food Agriculture and Environmental, v.8, n. 660-665, 2010.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido a casca de arroz manter a umidade do solo, favorecer algumas características morfológicas da palma forrageira, elevar a produtividade de matéria verde e apresentar propriedades químicas adequadas como cobertura de solo, pode ser utilizada para este fim. Entretanto, por se tratar de um material de massa leve, que pode ser carregado pelas intempéries, deve ser reposta sempre que se fizer necessário.

Em função de alguns efeitos da salinidade da água no desempenho da palma forrageira, no período de estabelecimento, esse recurso hídrico de composição química semelhante ao analisado neste ensaio, pode ser utilizado, desde que sob condições edáficas, climáticas e de irrigação similares ao deste sistema de produção. Sendo a palma forrageira uma cultura perene, é necessário realizar um manejo sustentável, por meio de monitoramento da influência do estresse salino nas plantas e, principalmente, do processo de salinização no solo, após cada colheita anual, a fim de monitorar a instalação dos possíveis danos dos sais no ambiente produtivo, ao longo do tempo.

Quanto ao manejo de irrigação por aspersão, sugere-se horário de aplicação no período diurno, em função do favorecimento da produtividade, principalmente após o estabelecimento da cultura.

Sobre as cultivares de palma forrageira, tendo confirmado as respostas fenotípicas da Orelha EM, que apresentou satisfatórias dimensões dos cladódios, e da Miúda, que possui plantas mais altas e elevada brotação, que por sua vez, apresentaram maiores produtividades, indica-se o cultivo de ambas, visando obtenção de suficientes rendimentos por área.

Em relação às densidades de plantio observa-se, de maneira geral, que o adensamento pode não ser necessário para a obtenção de maiores produtividades, particularmente para as cultivares IPA Sertânia e Orelha de Elefante Mexicana.