



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



**JACIARA RIBEIRO MIRANDA**

**DESEMPENHO DA PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA COM DÉFICIT HÍDRICO  
E BAIXA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**JULHO - 2021**



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



**JACIARA RIBEIRO MIRANDA**

**DESEMPENHO DA PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA COM DÉFICIT HÍDRICO  
E BAIXA FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente.

**Orientador:** Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado

**CAMPINA GRANDE - PB**

**JULHO – 2021**

M672d Miranda, Jaciara Ribeiro.  
Desempenho da palma forrageira irrigada com déficit hídrico e baixa frequência de irrigação no semiárido brasileiro / Jaciara Ribeiro Miranda. – Campina Grande, 2021.  
121 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2021.  
"Orientação: Prof. Dr. Dermeval Araújo Furtado".  
Referências.

1. Palma Forrageira. 2. Condições Edafoclimatológicas. 3. Escassez Hídrica. 4. *Opuntia stricta* How. I. Freire, Raimundo Carlos Silvério. II. Carvalho, Elyson Ádan Nunes. III. Título.

CDU 633.3(043)



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

### FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

JACIARA RIBEIRO MIRANDA

**DESEMPENHO DA PALMA FORRAGEIRA  
IRRIGADA COM DÉFICIT HÍDRICO E BAIXA  
FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO  
BRASILEIRO**

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

Aprovada em: 30/07/2021

Dermeval Araújo Furtado – Orientador – UAEA/CTRN/UFCG  
José Dantas Neto – Examinador Interno - UAEA/CTRN/UFCG  
Vera Lucia Antunes de Lima – Examinadora Interna - UAEA/CTRN/UFCG  
José Thyago Aires Souza - Examinador Externo - INSA  
Patrícia Ferreira da Silva - Examinadora Externa - PNPd/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **Patrícia Ferreira da Silva, Usuário Externo**, em 03/08/2021, às 14:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **VERA LUCIA ANTUNES DE LIMA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/08/2021, às 15:45, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **DERMEVAL ARAUJO FURTADO, PROFESSOR 3 GRAU**, em 03/08/2021, às 16:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DANTAS NETO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2021, às 17:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **JOSE THYAGO AIRES SOUZA, Usuário Externo**, em 04/08/2021, às 17:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **1677810** e o código CRC **B0C6E02B**.

---

*Dedico este trabalho a meu Pai, Francisco Jacintho Miranda da Silva “in memoriam” que tanto sonhou em me ver doutora.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, que com sua inexplicável força impulsiona às nossas realizações e nos traz força para continuar mesmo com tantas atribulações diárias. Agradeço por ter abençoado em especial nesses 4 anos de doutorado. A trajetória até aqui não foi fácil, além de todo esse processo de pandemia e isolamento social que assusta e mexe com nosso psicológico, ainda passei por alguns experimentos que não obtiveram êxito, seja devido a questões financeiras ou a problemas com sensores, mas Deus sempre esteve presente iluminando os caminhos e me dando forças para seguir sempre em frente.

A meu orientador Dermeval Araújo Furtado, profissional que sempre admirei desde a minha graduação, pela sua trajetória e por ser referência dentro da Zootecnia e da Engenharia Agrícola, essa admiração só aumentou com a convivência no Mestrado e no Doutorado. Agradeço não só por ter me recebido como orientanda em meios a tantos outros profissionais, mas por acreditar no meu potencial e me confiar um dos maiores desafios de minha vida, trabalhar a campo com palma forrageira.

A Valquiria Cordeiro da Silva, pelo companheirismo, carinho, respeito, e pelo constante acreditar em mim. Agradeço pelo auxílio em todas as etapas do meu experimento, sempre meu braço direito desde a implantação, em todos os momentos tristes e frustrantes, assim como nos felizes.

Ao professor José Dantas Neto agradeço pela paciência, confiança e dedicação que teve em repassar um pouco dos seus conhecimentos ao longo de todo esse período experimental, me ajudando a concluir este trabalho, foi uma oportunidade ímpar tê-lo como co-orientador, mesmo que não oficialmente, um profissional que é exemplo de simplicidade, compreensão e competência.

A todos que representam o Instituto Nacional do Semiárido (INSA), pela confiança depositada em mim para o desenvolvimento de minha tese. Em especial a Jucilene Araújo, que prontamente se disponibilizou a me orientar e coordenar meu experimento dentro do INSA e a Geovergue Medeiros que aceitou o desenvolvimento do experimento no Instituto.

A equipe maravilhosa da Fazenda Experimental do INSA, Tarcísio Oliveira Filho, Thyago Aires, Romildo Neves, Evaldo Félix, Valdir e Zezo por serem sempre solícitos e pelo apoio em todo o desenrolar de meu experimento desde a implantação até as análises laboratoriais.

Ao professor Vicente de Paulo Albuquerque Araújo pela confiança ao me inserir na equipe do projeto da PRONEX de Modelagem agrometeorológica de hortaliças e forragens cultivadas em diferentes condições edafoclimáticas do estado da Paraíba.

A meu pai Francisco Jacintho Miranda da Silva (*“in memoriam”*) que tanto acreditou em meu crescimento profissional durante sua estada na terra, e que segue sendo minha estrela guia lá no céu. Ele nunca escondeu o orgulho de ver a filha seguir seus passos na Zootecnia, alcançando lugares acadêmicos que lhe foram privados, devido a problemas de saúde.

A minha mãe, agradeço por sua doação e renúncia de seus sonhos em detrimento dos meus, por todo amor, carinho, dedicação, apoio, orações e pelo seu papel imprescindível em todos os momentos de minha existência. Meus pais deixam para minha vida o entendimento que apenas com o estudo se consegue vencer na vida, eles nunca mediram esforços para me proporcionar a melhor educação que a cidade de Areia poderia oferecer.

A meu filho, Ian Ribeiro, agradeço pelos momentos de felicidades que tivemos juntos, que me encham de satisfação e orgulho de ser sua mãe, assim como pela compreensão nos momentos de ausência.

Aos examinadores da banca, José Dantas Neto, Vera Lúcia Antunes de Lima, José Thyago Aires Souza e Patrícia Ferreira da Silva, por disponibilizarem seu tempo para avaliar meu trabalho de tese.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela convivência harmoniosa, pelas trocas de conhecimento e experiências que foram tão importantes na minha vida acadêmica, pois através de seus ensinamentos e suas atitudes servirão de exemplo para minha vida profissional.

Aos amigos que ganhei durante a minha trajetória acadêmica, agradeço imensamente, em especial Joelma Vieira do Nascimento Duarte, pela parceria diária, a irmandade construída que se perpetuará pelo resto de nossas vidas.

E a todos que de forma direta e indireta me ajudaram, aos funcionários e funcionárias da UFCG, e aos demais que por ventura eu tenha esquecido, podem não estar sendo lembrados no papel, mas sempre serão lembrados em meu coração.

*“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente,  
mas o que melhor se adapta às mudanças” (Charles Darwin)*

MIRANDA, Jaciara Ribeiro. Desempenho da palma forrageira irrigada com déficit hídrico e baixa frequência de irrigação no Semiárido brasileiro. 2021. 121f. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente estudo avaliar o desempenho da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Sctricta Haw*), irrigada com déficit hídrico e baixa frequência de irrigação no Semiárido brasileiro. Para isso, foram analisados os dados climatológicos no período experimental, as variáveis morfométricas, composição bromatológica, temperatura superficial do solo e dos cladódios e as variáveis fisiológicas, no primeiro ciclo e na rebrota, além de realizar a modelagem agrometeorológica pelo modelo AquaCrop, comparando os resultados estimados pelo modelo com os dados obtidos à campo. Para tanto, utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com 2 tratamentos (I7 – frequência de irrigação de 7 dias e I28 – frequência de irrigação de 28 dias) e 4 repetições (número de blocos), sendo cada tratamento repetido 3 vezes dentro do bloco (triplicata) totalizando 24 parcelas experimentais, sendo os dados coletados, analisados através do SAS® (2002). A morfometria da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana é alterada em decorrência da frequência de irrigação, apresentando maior número, altura, largura e espessura dos cladódios sob irrigação semanal, porém mesmo sendo irrigada em frequência de 28 dias, a palma teve peso de matéria verde de 187,58 ton ha<sup>-1</sup> e produtividade na matéria seca de 14,32 ton ha<sup>-1</sup>. Com exceção do extrato etéreo, as frequências de irrigação não afetaram os componentes bromatológicos da forrageira e as variáveis fisiológicas taxa respiratória e condutância estomática. As temperaturas superficiais dos cladódios apresentaram-se de 4,5 a 8,8 °C superiores no turno da tarde e a temperatura do solo com diminuição de 9 °C após irrigação. A calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura da palma forrageira, cultivar Orelha de Elefante Mexicana e clima específico da mesorregião do Agreste paraibano exibiu resultados satisfatórios no primeiro ciclo da forrageira, com produtividade simulada, similar as de campo para as frequências de 7 e 28 dias, tornando o AquaCrop uma ótima ferramenta no auxílio da previsão agrometeorológica no campo.

**Palavras Chave:** Condições edafoclimatológicas; Escassez hídrica. Forrageira; *Opuntia Sctricta Haw*.

MIRANDA, Jaciara Ribeiro. Performance of irrigated forage cactus with water deficit and low irrigation frequency in the Brazilian Semiarid Region. 2021. 121f. Tese. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB.

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the performance of the forage cactus cultivar Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta Haw*), irrigated with water deficit and low irrigation frequency in the Brazilian semiarid region. For this, the climatological data in the experimental period, the morphometric variables, chemical composition, surface temperature of the soil and cladodes and the physiological variables, in the first cycle and in the regrowth, were analyzed, in addition to carrying out the agrometeorological modeling by the AquaCrop model, comparing the results estimated by the model with data obtained in the field. For this purpose, we used a randomized block design (DBC) with 2 treatments (I7 - irrigation frequency of 7 days and I28 - irrigation frequency of 28 days) and 4 replications (number of blocks), with each treatment being repeated 3 times within the block (triplicate) totaling 24 experimental plots, with the collected data being analyzed using SAS® (2002). The morphometry of the forage cactus Orelha de Elefante Mexicana is altered as a result of the frequency of irrigation, with greater number, height, width and thickness of cladodes under weekly irrigation, but even being irrigated at a frequency of 28 days, the cactus had weight of matter green of 187,58 ton ha<sup>-1</sup> and dry matter yield of 14,32 ton ha<sup>-1</sup>. With the exception of the ether extract, irrigation frequencies did not affect the forage bromatological components and the physiological variables respiratory rate and stomatal conductance. The surface temperatures of the cladodes were 4.5 to 8.8 °C higher in the afternoon shift and the soil temperature decreased by 9 °C after irrigation. Calibration and validation of the AquaCrop model for the cultivation of cactus forage, cultivar Orelha de Elefante Mexicana and specific climate of the mesoregion of the Agreste region of Paraíba showed satisfactory results in the first cycle of the forage, with simulated productivity, similar to those in the field for the frequencies of 7 and 28 days, making AquaCrop a great tool to aid agrometeorological forecasting in the field.

**Keywords:** Edaphoclimatological conditions. Water shortage. Forage. *Opuntia Stricta Haw*.

## LISTA DE FIGURAS

### **Capítulo 2 Morfometria e bromatologia da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação na mesorregião do Agreste paraibano**

Figura 1.	Distribuição total dos blocos experimentais	52
Figura 2.	Distribuição da área total e plantada por parcela experimental	52
Figura 3.	Distribuição da mangueira com gotejadores por parcela experimental na área plantada de palma	53

### **Capítulo 3 Fisiologia da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

Figura 1	Distribuição total dos blocos experimentais	79
Figura 2	Distribuição da área total e plantada por sub-bloco	79
Figura 3	Pinça adaptada para análise fisiológica da palma forrageira	81

### **Capítulo 4 Temperatura superficial da palma forrageira e do solo sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

Figura 1	Distribuição total dos blocos experimentais	95
Figura 2	Distribuição da área total e plantada por sub-bloco	95

## LISTA DE TABELAS

<b>Capítulo 2</b>	<b>Morfometria e bromatologia da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação na mesorregião do Agreste paraibano</b>	
Tabela 1	Caracterização físico-química do solo	50
Tabela 2	Análise da água de irrigação	51
Tabela 3	Dados meteorológicos do primeiro ciclo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	56
Tabela 4	Dados meteorológicos da rebrota da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	57
Tabela 5	Estimativa no primeiro ciclo da biomassa de matéria verde da palma forrageira irrigada a cada 7 e 28 dias em gramas	58
Tabela 6	Estimativa no período de rebrota da biomassa de matéria verde da palma forrageira irrigada a cada 7 e 28 dias em gramas	59
Tabela 7	Peso de campo parcial e total de palma forrageira irrigada aos 7 e 28 dias	59
Tabela 8	Características morfométricas no primeiro ciclo de palma forrageira irrigada nas frequências de 7 e 28 dias	61
Tabela 9	Características morfométricas da rebrota da palma forrageira irrigada nas frequências de 7 e 28 dias	62
Tabela 10	Médias da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CHOT) dos cladódios de palma irrigada nas frequências de 7 e 28 dias no primeiro ciclo	64
Tabela 11	Valores de referência para matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (Pb), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CHOT) em palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia Stricta Haw</i> )	65

**Capítulo 3 Fisiologia da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

Tabela 1	Caracterização físico-química do solo	77
Tabela 2	Dados meteorológicos dos dias de análise fisiológica	82
Tabela 3	Análise Fisiológica das palmas irrigadas aos 7 e 28 dias	83
Tabela 4	Variáveis Fisiológicas da rebrota da palma forrageira irrigada a cada 7 e 28 dias	83

**Capítulo 4 Temperatura superficial da palma forrageira e do solo sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

Tabela 1	Caracterização físico-química do solo	93
Tabela 2	Dados meteorológicos do primeiro ciclo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	97
Tabela 3	Dados meteorológicos da rebrota da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	98
Tabela 4	Temperatura superficial dos de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob frequência de irrigação de 7 e 28 dias	100
Tabela 5	Temperatura superficial da rebrota dos cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante sob frequência de irrigação de 7 e 28 dias	101
Tabela 6	Temperatura superficial do solo antes e depois da irrigação do campo experimental	102
Tabela 7	Correlação de Pearson entre a temperatura de solo molhado e dos cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	103
Tabela 8	Correlação de Pearson entre a temperatura de solo seco e dos cladódios e dos cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	104

**Capítulo 5 Modelagem agrometeorológica da palma forrageira em diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

Tabela 1	Dados meteorológicos anuais do período experimental.	114
Tabela 2	Dados da cultura da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana no período experimental.	115

Tabela 3	Produtividade real e estimada no modelo AquaCrop das palmas irrigadas em frequência de 7 e 28 dias	116
Tabela 4	Diferença entre os valores de produtividade reais e estimadas das palmas irrigadas a cada 7 e 28 dias	116
Tabela 5	Validação do modelo AquaCrop para palma forrageira cultivar Orelha de elefante Mexicana irrigada	116

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURA .....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE TABELA .....</b>	<b>XIII</b>

<b>Capítulo 1</b>	<b>Contextualização</b>	
1	<b>INTRODUÇÃO</b>	19
2	<b>OBJETIVOS</b>	20
2.1	Objetivo Geral	20
2.2	Objetivos Específicos	20
3	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA</b>	20
3.1	Semiárido brasileiro	20
3.2	Variáveis climatológicas	21
3.2.1	<i>Temperatura do ar</i>	21
3.2.2	<i>Umidade relativa do ar</i>	22
3.2.3	<i>Precipitação</i>	23
3.2.4	<i>Velocidade do vento</i>	24
3.2.5	<i>Insolação</i>	25
3.3	Palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana	26
3.4	Fisiologia da palma forrageira	26
3.5	Bromatologia e morfometria da palma forrageira	27
3.6	Irrigação da palma forrageira	28
3.7	Temperatura superficial da palma	30
3.8	Modelagem agrometeorológica	30
4	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	31

**Capítulo 2**    **Morfometria e bromatologia da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação na mesorregião do Agreste paraibano**

<b>RESUMO</b>		47
1	<b>Introdução</b>	47

2	<b>Material e Métodos</b>	48
3	<b>Resultados e Discussão</b>	56
4	<b>Conclusões</b>	66
5	<b>Referências</b>	66

**Capítulo 3** **Fisiologia da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

	<b>RESUMO</b>	75
1	<b>Introdução</b>	75
2	<b>Material e Métodos</b>	76
3	<b>Resultados e Discussão</b>	82
4	<b>Conclusões</b>	84
5	<b>Referências</b>	85

**Capítulo 4** **Temperatura superficial da palma forrageira e do solo sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

	<b>RESUMO</b>	91
1	<b>Introdução</b>	91
2	<b>Material e Métodos</b>	92
3	<b>Resultados e Discussão</b>	97
4	<b>Conclusões</b>	104
5	<b>Referências</b>	104

**Capítulo 5** **Modelagem agrometeorológica da palma forrageira em diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

	<b>RESUMO</b>	110
1	<b>Introdução</b>	110
2	<b>Material e Métodos</b>	111
3	<b>Resultados e Discussão</b>	114
4	<b>Conclusões</b>	117
5	<b>Referências</b>	117

## **CAPÍTULO I**

-

## **CONTEXTUALIZAÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

A região Semiárida brasileira possui diversas características edafoclimatológicas particulares, dentre elas as altas temperaturas, baixa nebulosidade, elevadas taxas de evaporação, deficiência hídrica, solos pobres em matéria orgânica, baixa pluviosidade com distribuição irregular e longos período de estiagem (Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017).

Considerando-se que o desenvolvimento das plantas é o resultado das relações entre a disponibilidade de água, nutrientes do solo e ambiente e que os processos fisiológicos e bioquímicos são diretamente influenciados pelas variáveis climatológicas, o clima do Semiárido pode afetar de forma negativa a produção, produtividade e desenvolvimento das plantas. Com isso, torna-se fundamental a implantação e utilização de culturas adaptadas a regiões Semiáridas para evitar perdas produtivas dos rebanhos (Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017; Souza et al., 2018).

Assim, a palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta Haw*) desponta como alternativa para a região Semiárida, por possuir adaptação ao clima por suas características anatômicas, morfológicas e fisiológicas, a exemplo da elevada eficiência na utilização de água em função da sua maneira de assimilar CO<sub>2</sub> através do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que a torna um importante recurso forrageiro para a pecuária em regiões áridas e semiáridas, por sua ótima aceitabilidade pelos animais, altos teores energéticos, grande concentração de água e minerais, elevada produtividade por unidade de área, alta produção de fitomassa, além de ser uma planta sem espinhos e resistente à cochonilha do carmim (Araújo et al., 2010; Silva et al. 2014; Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017; Marques et al., 2017; Souza et al., 2018; Nogueira de Sá et al., 2021).

Com intuito de otimizar a produção e obter elevadas produtividade da palma forrageira podem ser utilizadas diversas tecnologias agrícolas, como o cultivo irrigado (Leite et al., 2014; Lima et al., 2016), o cultivo adensado (Silva et al., 2014) e o cultivo adubado (Peixoto et al., 2018), além de técnicas agrícolas como as modelagens agrometeorológicas utilizadas para estimar o potencial produtivo das culturas em diferentes cenários climáticos, facilitando a tomada de decisões em relação aos fatores que afetam a produção (Minuzzi e Lopes, 2015; Morell et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017; Marques et al., 2017; Xu et al., 2019) sendo promissores os resultados das pesquisas desenvolvidas para o cultivo de soja (Silva et al., 2018), café (Almeida et al., 2017), milho (Wang et al., 2008; Paredes et al., 2014; Ahmadi

et al., 2015), algodão (Tsakmakis et al., 2017), batata (Zhou et al., 2018), cebola (Matsunaga, 2019), coentro (Oliveira, 2018), tomate (Freitas, 2018), entre outras.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, irrigada com déficit hídrico e baixa frequência de irrigação no Semiárido brasileiro.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar crescimento e desempenho produtivo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob frequências de irrigação por gotejamento de 7 e 28 dias;
- Analisar a bromatologia da cultivar de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana em diferentes frequências de irrigação localizada;
- Contrastar a fisiologia da cultivar de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana irrigada sob diferentes frequências;
- Coletar e comparar as temperaturas superficiais do solo e dos cladódios primários, secundários e terciários das palmas forrageiras cultivar Orelha de Elefante Mexicana nas diferentes frequências de irrigação;
- Avaliar a produtividade da água do sistema de irrigação por gotejamento em palma forrageira;
- Estudar a modelagem agrometeorológica da palma cultivar Orelha de Elefante Mexicana com utilização do modelo AquaCrop, para estimar a produção e produtividade além de comparar as respostas de produtividade da cactácea em condições de campo.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1 Semiárido brasileiro**

A região Semiárida brasileira é distribuída em quase sua totalidade na região Nordeste, com pequena parte do Sudeste, compreendendo os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba,

Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e Minas Gerais (Santos et al., 2017; INSA, 2021), ela se caracteriza pelas altas temperaturas durante parte do ano, baixa nebulosidade, elevada taxa de evaporação, irregularidades de relevo, solos predominantemente rasos, dificultando a infiltração da água, com baixa fertilidade e baixo teor de matéria orgânica, índice de aridez de 0,50, percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60 %, além de poucas chuvas com distribuição irregular, apresentando índices pluviométricos inferiores à 800 mm ano<sup>-1</sup> e secas periódicas (Souza et al., 2016; Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017).

As fortes estiagens costumam atingir a região em intervalos de poucos anos até décadas, afetando a expansão da agricultura, ocasionando queda na produção e produtividade das forragens, trazendo problemas para as condições de vida da população, assim como para a produção e bem-estar dos animais (Marengo et al., 2011; Araújo, 2015; Faustino et al., 2016; Perazzo et al., 2017).

As atividades agrícolas nessa região são centradas em cultivos de sequeiros e criações de ruminantes, por isso, para pensar em elevar a produtividade das forragens e garantir alimento para o rebanho na região Semiárida, torna-se importante a implantação de culturas tolerantes à seca, garantindo a sustentabilidade da produção, suprimindo as necessidades dos rebanhos e gerando renda ao produtor, podendo aliar o cultivo de variedades adaptadas às técnicas agrícolas como adubação e irrigação para auxiliar na elevação da produção e produtividade (Araújo, 2015; Cruz Neto et al., 2017; Costa et al., 2017; Marques et al., 2017).

A palma forrageira desponta como alternativa por possuir adaptação ao Semiárido, elevada eficiência no uso da água, alta produção de fitomassa, ótima aceitabilidade pelos animais, além de possuir grande concentração de água e uma fonte de minerais, constituindo-se como importante fonte hídrica para os rebanhos (Araújo et al., 2010; Silva et al. 2014; Nunes et al., 2019). Com as técnicas de adubação e irrigação na produção de palma forrageira pode-se obter elevadas produtividades como da região Semiárida do Rio Grande do Norte (Lima et al., 2016), de Pernambuco (Queiroz et al., 2015) e da Sicília na Itália (Consolli et al., 2013).

## **3.2 Variáveis climatológicas**

### **3.2.1 *Temperatura do ar***

As elevadas temperaturas do ar, característica da região Semiárida brasileira podem afetar a produção vegetal, uma vez que inibem as atividades das enzimas encarregadas pela realização

da fotossíntese e demais processos fisiológicos e bioquímicos, responsáveis pelo desempenho e crescimento das plantas (Pontes et al., 2010; Souza et al., 2018). As altas temperaturas podem inibir a atividade fotossintética e a abertura dos estômatos, reduzindo o mecanismo de absorção do dióxido de carbono, trazendo influências negativas para a produção e produtividade das forragens, que podem causar a diminuição da produção animal (Silva et al., 2016; Souza et al., 2018).

A morfologia da palma forrageira sofre influência da idade, variedade e nível de adubação, mas os fatores climatológicos, a exemplo das elevadas temperaturas do ar podem alterar suas características morfológicas, como sua composição química, comprimento, largura e número de cladódios, além de atrasar o surgimento dos cladódios e levar ao maior aparecimento de espinhos, característica indesejável para a alimentação dos animais, por dificultar o manejo e o consumo (Silva et al., 2010; Sales et al., 2013; Marques et al., 2017).

A palma forrageira apresenta bom desempenho quando cultivada em condições ideais de temperaturas e umidade relativa do ar e, de acordo com o zoneamento agroclimático para o estado da Paraíba desenvolvido por Bezerra et al. (2014), bons comportamentos produtivos em palmas cultivadas ocorrem em temperaturas que variam de 18 a 30 °C na microrregião da Borborema e, entre 20 a 32 °C na mesorregião do Sertão e, as regiões do Litoral e Brejo paraibano apresentam limitações climáticas para o cultivo dessa forrageira. Outra preocupação em relação a temperatura do ar ocorre no período noturno, pois, em algumas localidades da região Semiárida, é comum que elas se apresentem altas. Bezerra et al. (2014), indicam a temperatura amena, em torno de 15 °C, como aideal para as cactáceas à noite, que auxiliam o metabolismo CAM das plantas e favorecem a absorção de CO<sub>2</sub>, tendo em vista que, as temperaturas elevadas ocasionam problemas no crescimento das plantas, deixando de realizar a abertura dos estômatos, inibindo a atividade das enzimas fotossintéticas (Santos et al., 2006; Souza et al., 2008; Oliveira et al.; 2011; Silva et al., 2015; Marques et al., 2017).

Em localidades do Semiárido em que as noites são quentes e secas, pode ocorrer intensa perda de água pela abertura dos estômatos na captação do CO<sub>2</sub>, provocando a murcha dos cladódios e até morte das plantas na estação seca (Lima et al., 2013).

### **3.2.2 Umidade relativa do ar**

A produtividade vegetal é resultado da interação dos fatores ambientais, tratos culturais e dos fatores genéticos da planta que, em geral, exploram dois ambientes, o atmosférico, por

meio de sua parte aérea e o solo, pelas suas raízes. Para que haja desenvolvimento das plantas e se tenha altos rendimentos pelas culturas é necessário a ação integrada dos fatores ambientais, umidade relativa do ar, temperatura do ar, insolação e de disponibilidade de nutrientes (Souza et al., 2018).

Para a palma a umidade relativa do ar deve encontrar-se amena, ou seja, situando-se entre 37,3 a 63,1 % de acordo com Souza et al. (2008). Se estiver elevada ela impede a penetração do oxigênio na planta, podendo causar contaminação bacteriana, e em seguida o apodrecimento e/ou tombamento, assim como torna as plantas vulneráveis a proliferação de fungos ou outros patógenos (Pandey, 2003; Bezerra et al., 2014; Souza et al., 2018).

No estado da Paraíba as áreas que podem ter problemas no cultivo da forrageira são o Litoral, Brejo, Agreste Paraibano e a área em torno do município de Olho d'Água, no Sertão Paraibano, onde são observados elevados índices de umidade relativa do ar (Bezerra et al., 2014). Cavalcante et al. (2017) avaliando o crescimento de mudas de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, citam que as plantas submetidas a baixa umidade relativa do ar não apresentaram problemas fitossanitários, já que não ficaram expostas aos excessos de água e, com isso, reduzem as chances de apodrecimento devido à proliferação de fungos, salientando que no período chuvoso, onde a umidade relativa encontra-se elevada, os resultados seriam diferentes, uma vez que a forrageira não tolera excessos de umidade no solo.

Quando a palma é submetida a ambientes quentes e secos no período noturno, os cladódios tendem a murchar, podendo conduzir a morte das plantas, sendo assim é necessário um clima ameno para que a planta atinja todo o seu potencial produtivo, recomendando-se a umidade relativa noturna em torno de 60 %, para favorecer a formação de orvalho, condição necessária para que seja baixa a perda de água durante a abertura dos estômatos para a captação do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Dantas, 2019).

### ***3.2.3 Precipitação***

O Semiárido caracteriza-se por possuir baixa pluviosidade anual e alto índice de aridez do solo, que traz um problema crônico de falta de água, com a precipitação é em torno de 350 a 800 mm ano<sup>-1</sup> (Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017). Os longos períodos de estiagem são influenciados pela atuação de fenômenos oceânico-climáticos, como a Zona de Convergência Intertropical, o El Niño e o Dipolo do Atlântico, sendo considerados os principais responsáveis pela variabilidade climática em diversas regiões do Planeta, além de provocarem

perdas irreparáveis a população, que obtém seu sustento da agricultura familiar (Hastenrath, 2012; Alves et al., 2015; Rodriguez et al., 2015; Pereira et al., 2015; Nobrega et al., 2016).

Na mesorregião do Agreste paraibano, a precipitação pluviométrica é em torno de 500 mm, enquanto que no Sertão de 800 mm, estando ambas dentro da precipitação considerada ideal para palma forrageira, entre 368,4 e 812,4 mm ano<sup>-1</sup>, faixa onde podem atingir seu maior potencial produtivo (Souza et al., 2008; Bezerra et al., 2014). Entretanto, na Zona da Mata paraibana são registrados maiores volumes de chuva, que ultrapassam 1200 mm, não sendo benéficos para a palma (Souza et al., 2008; Bezerra et al., 2014; Cavalcante et al., 2017).

As características produtivas de palma forrageira em ambientes com precipitação de 243,3 mm mostraram-se insuficiente para o bom desempenho da palma forrageira, por causa da redução no seu desempenho, causando restrição ao cultivo deste recurso forrageiro em cultivo de sequeiro (Rocha et al., 2017). De acordo com o zoneamento agroclimático da palma forrageira (Bezerra et al., 2014), em virtude das elevadas precipitações as microrregiões do Litoral e Brejo paraibano são inaptas ao cultivo de palma forrageira. Assim, em regiões onde a precipitação pluviométrica local não consegue atingir os níveis considerados ideais para a palma forrageira, podem ser utilizadas técnicas como a irrigação, com intuito de atender as necessidades hídricas da cultura e conseguir atingir produtividades satisfatórias (Pereira et al., 2015).

#### ***3.2.4 Velocidade do vento***

As condições ambientais interferem na resposta estomática das culturas e, o vento em particular, possui efeito na distribuição de água no ar, com maior atuação em regiões que apresentam baixa umidade do ar e elevadas temperaturas, podendo assim, a perda de água por evaporação atingir valores elevados, provocar a incidência de doenças nas plantas e, conseqüentemente, a queda da produção (Silveira e Stone, 2004).

A direção do vento pode influenciar no crescimento das culturas, uma vez que atua no processo de evapotranspiração, assim quando o ar acima da cultura se torna gradativamente saturado com o vapor d'água, caso não haja reposição de ar seco, a evapotranspiração da cultura decresce (Silva et al., 2016). A velocidade do vento poder afetar as taxas de evapotranspiração dos cultivos agrícolas, por isso deve ser considerado juntamente com os demais parâmetros climatológicos na avaliação do processo evaporativo, como sugerido na publicação do boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998).

No Semiárido os meses com menores níveis pluviométricos são aqueles com velocidade de vento mais intensa e essa alta velocidade pode promover aumento na transpiração, prejudicando o crescimento das plantas, trazendo perdas de raquetes de palma (Silva et al., 2015; Silva et al., 2020).

No plantio da palma forrageira deve-se evitar a direção com predominância do vento, com intuito de reduzir as quedas das raquetes. Quando a velocidade do vento apresenta-se adequada para essa cultura, entre 1 a 3 m s<sup>-1</sup>, ele carrega moléculas de vapor d'água na superfície das folhas, favorecendo as trocas gasosas e a diminuição da temperatura superficial, elevando a produção (Lemos Filho et al., 2010; Marques et al., 2017; Camelo, 2018; Silva et al., 2020). A alta velocidade do vento atua de maneira negativa no desenvolvimento da palma forrageira, principalmente no número, na largura da planta mãe, no comprimento e largura dos cladódios de segunda ordem (Silva et al., 2015).

### **3.2.5 Insolação**

O Semiárido brasileiro apresenta escassez hídrica, podendo ocorrer alta salinidade da água e elevada insolação e essas características afetam o crescimento, desempenho e rendimento das plantas, além da disponibilidade de nutrientes, que devem estar disponíveis em quantidades adequadas em todo o ciclo da cultura, para que a planta possa expressar o máximo potencial produtivo (Bezerra et al., 2014; Silva et al., 2016; Silva, 2019).

A insolação representa o número de horas de brilho solar efetivo, sendo uma variável que interfere diretamente no crescimento e na produtividade da palma forrageira, pois a luz é considerada um dos principais fatores associados ao metabolismo clorofiliano, ou seja, interfere diretamente na fotossíntese e nos demais processos fisiológicos, morfológicos e bioquímicos das plantas (Lima Junior et al., 2005; Belúcio et al., 2014; Silva et al., 2016).

A luz natural deve incidir na planta e ser absorvida pelos pigmentos fotossintéticos, em especial pela clorofila, para que ocorra o processo de fotossíntese. No caso da palma forrageira a luz é um fator que assume importância, haja vista que a disposição dos cladódios é quase perpendicular em relação ao solo, sendo assim, dificulta a interceptação da luz incidente, resultando em um crescimento inicial lento, em função da baixa área fotossintética (Lopes et al., 2007; Silva et al., 2020).

As variações sazonais da temperatura são resultantes das variações da insolação, mesmo sendo baixas nas regiões tropicais não inviabilizam o cultivo da palma forrageira, mas podem

se expressar em eventuais quedas de rendimento de matéria seca e deficiências na assimilação de nutrientes (Ayoade, 2012; Bezerra et al., 2014).

### **3.3 Palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana**

A palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* Haw) é uma cultura nativa do México que pertence à família das cactáceas, introduzida no Brasil através do Instituto Agrônomo de Pernambuco (Santos et al., 2006). Trata-se de uma planta sem espinhos, resistente à cochonilha do carmim largamente cultivada na região Semiárida, adaptando-se bem a esta região, onde a disponibilidade de água é um fator limitante ao crescimento e desenvolvimento das plantas (Santos et al., 2013; Neder et al., 2013; Souza et al., 2018).

A cultivar apresenta diferenciação em sua forma estrutural sendo composta por artículos suculentos, também denominados de cladódios ou raquetes caracteriza-se por possuir copa larga em torno de 1,5 m de diâmetro, aspecto arborescente com crescimento semiaberto e desenvolvimento lateralizado, sendo estimulado pelo contínuo aporte de água (Pinheiro et al., 2014; Edvan et al., 2020).

Em pesquisas desenvolvidas com a palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, Fonseca et al. (2019) avaliando as características morfológicas desta cultivar sob diferentes frequências de irrigação no Sertão baiano relataram valores médios de comprimento de cladódios variando de 23,94 a 27,47 cm. Enquanto Rocha et al. (2017) obtiveram largura média de 21,36 cm, avaliando as características estruturais da palma, possuindo estas variáveis correlação positiva com a produção de massa seca.

Xavier et al. (2020), estudando as características biométricas obtiveram espessuras de cladódios entre 2,6 e 9,3 mm, em lâmina fixa de 5,5 L semana<sup>-1</sup>, variável esta que atua na capacidade fotossintética e no armazenamento de água pela planta, característica fundamental na fisiologia da palma (Rocha et al., 2017).

### **3.4 Fisiologia da palma forrageira**

A adaptação das forrageiras às condições do Semiárido é devido as suas características anatômicas, morfológicas e principalmente por sua fisiologia, tornando-a um importante

recurso forrageiro para manter a produtividade da pecuária nordestina (Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017; Marques et al., 2017; Souza et al., 2018; Nogueira de Sá et al., 2021).

Em estresse hídrico a palma forrageira possui elevada eficiência na utilização de água, sobretudo em função da sua maneira de assimilar CO<sub>2</sub> através do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM). Esse processo fotossintético resulta em economia hídrica por causa do fechamento estomático durante o dia e abertura à noite, característica fundamental para a adaptação e sobrevivência da forrageira no Semiárido, reduzindo perdas de água por transpiração e garantindo a hidratação dos tecidos (Rodrigues al., 2016; Taiz et al., 2017).

Quando sujeitas a maior disponibilidade de água transitam gradualmente do metabolismo CAM para o metabolismo C3, passando a atuar como CAM facultativa, provocando assim, a redução da temperatura da folha. Esse ajuste do padrão de captação de CO<sub>2</sub> traz uma vantagem competitiva para as plantas CAM em ambientes secos quando comparadas as demais forrageiras (Lüttge, 2010; West-Eberhard et al., 2011; Winter et al., 2011; Liguori et al., 2013; Taiz et al., 2017).

### **3.5 Bromatologia e morfometria da palma forrageira**

Pelas características dessa forrageira e seu potencial de produção de biomassa em condições de baixa pluviosidade, a palma é um importante recurso forrageiro para a base alimentar dos rebanhos no Semiárido, chegando a compor 80 % das dietas dos ruminantes (Almeida, 2012; Leite et al., 2014; Silva et al., 2015; Souza et al., 2018). Apresenta altos teores de energia, água, além da elevada produtividade por unidade de área, todavia, sua utilização na dieta desses animais deve ser limitada, pois em elevadas quantidades diminui a fibra em detergente neutro (FDN) da dieta, além de apresentar baixa concentração de fibra e proteína e, elevado teor de umidade retido na mucilagem, que podem causar efeito laxativo nos animais, sendo assim, o fornecimento deve ser associado a uma fonte de fibra, proporcionando um adequado funcionamento do rúmen dos animais poligástricos (Tegegne et al., 2007; Monteiro et al., 2014; Felix et al., 2016; Marques et al., 2017; Alves et al., 2017; Oliveira et al., 2018).

As características morfométricas e a composição bromatológica da palma forrageira sofrem interferências da fertilidade do solo, pluviosidade, idade da planta, época do ano, variedades, espécies, densidade de plantio, ataque de pragas e das doenças. Podem apresentar diferenças entre as ordens dos cladódios, por esse motivo torna-se fundamental o conhecimento das variáveis morfométricas como a altura, comprimento e espessura dos cladódios, para avaliar

o potencial de adaptação da variedade ao ambiente onde é cultivada (Sales et al., 2006), além de conhecer o valor nutricional das ordens de cladódios da forrageira, com intuito de recomendar os mais nutritivos nas épocas da colheita (Alves et al., 2017).

Em busca de alternativas para aumentar a produtividade têm sido realizados estudos das técnicas de adubação e irrigação, o baixo volume de água pode promover alterações na dinâmica de crescimento da planta em relação à palma cultivada em sequeiro, elevando o rendimento, qualidade e produtividade (Consolli et al., 2013; Silva et al. 2014; Queiroz et al., 2015; Lima et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017; Marques et al., 2017; Rocha et al. 2017).

Lima et al. (2016) citam que na produção de palma forrageira irrigada consegue-se 25 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de matéria seca (MS), e Sales et al. (2013) descrevem produção de 35 ton ha<sup>-1</sup> de MS de palma no Cariri paraibano com palma adubada e irrigada. Os pesquisadores Leite et al. (2014) avaliando produção de palma irrigada no Semiárido paraibano, observaram produção de matéria seca de 20 ton ha<sup>-1</sup> ano de MS. Silva et al. (2014), estudando a produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio, encontraram produção de 26,5 ton ha<sup>-1</sup> de MS para a palma redonda e 20,2 ton ha<sup>-1</sup> de MS para a palma gigante e Peixoto et al. (2018), pesquisando o efeito da adubação orgânica em palma, constataram diferenças significativas entre a palma não adubada e a palma com uso adubação orgânica, com 37,82 ton ha<sup>-1</sup> e 60,48 ton ha<sup>-1</sup> de MS, respectivamente.

### **3.6 Irrigação da palma forrageira**

A escassa disponibilidade de recursos hídricos na região Semiárida brasileira pode ocasionar reflexos negativos na produção de forragens, uma vez que no período de estiagem as plantas sofrem na maior parte do ano à taxa de evapotranspiração exceder a de precipitação ocasionando diminuição dos índices produtivos (Feitosa et al., 2015).

A palma forrageira é comumente cultivada sem irrigação, em sistema de sequeiro, em razão da sua resistência ao estresse hídrico, no entanto, a utilização de estratégias de irrigação como o déficit hídrico controlado, também chamado irrigação deficitária ou déficit de irrigação pode ser utilizado, com o mínimo de água em sistema de gotejamento, agregando maior produtividade, elevando seu rendimento e qualidade (Du et al., 2015; Gava et al., 2015), como observado em estudo desenvolvido por Lira et al. (2017), que identificaram respostas produtivas positivas na palma forrageira em sistema de irrigação por gotejamento com quantidade de água limitada. Essa técnica ainda reduz a utilização de água em áreas com

disponibilidade limitada deste recurso para fins agrícolas (Silva et al., 2010; Queiroz et al., 2015).

O sistema por gotejamento é uma técnica de irrigação que apresenta vantagens na região Semiárida, por possibilitar maior eficiência de aplicação, tendo em vista que a aplicação de água ocorre apenas na região do solo explorada pelas raízes, fazendo uso de quantidades mínimas de água, tornando-se ótima opção para o cultivo da palma forrageira nas regiões Semiáridas, tendo em vista que poucos milímetros são utilizados de maneira eficiente pela palma (Lima et al., 2016; Santos et al., 2017).

Além de o cultivo irrigado de palma possibilitar produções significativas de forragem para alimentação animal já no primeiro ano de condução da cultura, auxilia na geração de reserva forrageira estratégica para utilização nos longos períodos de estiagem nas regiões Semiáridas (Lima et al., 2016). A irrigação pode reduzir o efeito da estacionalidade de produção, promovendo maiores produtividades e melhor uniformidade no desenvolvimento das plantas (Mochel Filho et al., 2016; Koetz et al., 2017), portanto a irrigação com alta eficiência no uso da água, se apresenta como uma alternativa viável no intuito de fornecer índices de produtividade mais altos nesta região.

As culturas possuem respostas estomáticas influenciadas diretamente pela variação dos elementos micrometeorológicos como radiação, vento, concentração de CO<sub>2</sub> no ambiente, porém elas podem ser modificadas pelo sistema de irrigação, uma vez que o cultivo irrigado tende a apresentar valores diferenciados em termos de interação gasosa, variáveis micrometeorológicas e indicadores de crescimento (Silva et al., 2016).

Em regiões Semiáridas, a água é um recurso escasso e fundamental para a produção agrícola, sendo assim, torna-se necessária a utilização desse recurso natural de forma mais eficiente. Contudo, o estabelecimento de lâmina d'água adequada e frequência de irrigação são ferramentas importantes para maximizar a produção de forragem usando menos água (Queiroz et al., 2015; Pereira et al., 2021). A maior frequência de irrigação da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana apresenta influência na produção (Pereira et al., 2021) como elevação do número de cladódios (Queiroz et al., 2015), espessura dos cladódios (Nunes et al., 2020) e taxa de crescimento (Pereira et al., 2015; Scalisi et al., 2016).

Desta forma, o uso da irrigação para a palma forrageira, outrora considerado como “bodismo”, expressão popular no Semiárido que significa que a palma por ser rústica e adaptada às condições Semiáridas, poderia ser cultivada sem práticas culturais para que produzisse da mesma forma em que eram criados os bodes, soltos em sistema extensivo (Donato et al., 2017)

é atualmente, uma opção de incremento produtivo no Semiárido brasileiro, mostrando-se ser uma técnica bem sucedida na região (Queiroz et al., 2015; Pereira et al., 2015; Cruz Neto, et al., 2017; Santos et al., 2017; Rocha et al., 2017; Pereira et al., 2021).

### **3.7 Temperatura superficial da palma**

A temperatura da pastagem depende diretamente das variáveis climáticas, radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, além de relacionar-se as condições do solo, teor de água e com as propriedades do dossel, influenciando no desenvolvimento da pastagem (Maes e Steep, 2012).

As pastagens quando submetidas à altas temperaturas podem sofrer alterações nos processos evapotranspiratórios, inclusive comprometendo o aparato fotossintético, com elevação das taxas de respiração, além de comprometer os processos de germinação, crescimento e desenvolvimento das pastagens, ocasionando redução de produtividade pecuária (Taiz et al., 2017).

Neste sentido a medição da temperatura superficial do solo e da planta são técnicas utilizadas nas ciências agrônômicas e ambientais (Maes e Steppe, 2012), para demonstrar diferenças entre as plantas não irrigadas e irrigadas (Tejada et al., 2012), permitindo o diagnóstico precoce do estresse hídrico severo, por existir uma grande correlação entre temperatura foliar e conteúdo de água na planta (Berni et al., 2009).

### **3.8 Modelagem agrometeorológica**

O déficit hídrico é um dos fatores responsáveis pelas baixas produtividades das culturas, sendo observado na região Semiárida brasileira pela irregularidade e má distribuição das chuvas, sendo necessário utilizar estratégias para mitigar os efeitos negativos (Alderfasi et al., 2016; Wu et al., 2017).

Neste contexto, a modelagem agrometeorológica apresenta-se como uma importante ferramenta agrícola, permitindo estimar o potencial produtivo das culturas em diferentes cenários climáticos, desde cultivos irrigados até os de condições de déficit hídrico, facilitando a tomada de decisões sobre o manejo dos fatores que afetam na produção das culturas, sejam eles bióticos ou abióticos (Minuzzi e Lopes, 2015; Morell et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Xu et al., 2019).

Diversos pesquisadores propuseram modelos, como o Daisy, de Hansen et al. (1991); o Apex, de Gassman et al. (2009); o Mohid Land de Simionesei et al. (2016); o Simetaw por Mancosu et al. (2016) e o AquaCrop por Raes et al. (2009) e Steduto et al. (2009), sendo todos utilizados para prever a produtividade das culturas agrícolas. A modelagem na agricultura apresentou êxito para diversas culturas, como milho (Wang et al., 2008; Paredes et al., 2014; Ahmadi et al., 2015), soja (Silva et al., 2018); café (Almeida et al., 2017), algodão (Tsakmakis et al., 2017), batata (Zhou et al., 2018), coentro (Oliveira, 2018), tomate (Freitas, 2018), cebola (Matsunaga, 2019), entre outras.

O modelo AquaCrop apresenta precisão, simplicidade, robustez e facilidade de utilização, sendo desenvolvido pela FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), é um modelo direcionado pelo balanço de água no solo, possuindo este fator extrema importância nas respostas ao estresse hídrico de culturas agrícolas, que é um dos que mais causam perdas de safra na região semiárida (Raes et al., 2011).

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmadi, S. H.; Mosallaepour, E.; Kamgar-Haghighi, A. A.; Sepaskhah, A. R. Modeling maize yield and soil water content with AquaCrop under full and deficit irrigation managements. **Water Resources Management**, v.29, n.1, p.2837-2853, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0973-3>

Alderfasi, A. A.; Selim, M. M.; Alhammad, B. A. Evaluation of plant densities and various irrigation regimes of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under low water supply. **Journal of Water Resource and Protection**, v.8, n.1, p.1-8, 2016. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.81001>

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO - Irrigation and Drainage Paper, 56).

Almeida, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde**, v.7, n.4, p.8-14, 2012

Almeida, T. S.; Sedyama, G. C.; Alencar, L. P. Estimativa da produtividade de cafeeiros irrigados pelo método zona agroecológica espectral. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.1, p.1-11, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i1.727>

Alves, T. L. B.; Azevedo, P. V.; Farias, A. A. Comportamento da precipitação pluvial e sua relação com o relevo nas microrregiões do Cariri Oriental e Ocidental do estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.6, p.1601-1614, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150090>

Alves, F. A. L.; Andrade, A. P.; Bruno, R. L. A.; Santos, D. C.; Magalhães, A. L. R.; Silva, D. S. Chemical and nutritional variability of cactus pear cladodes, genera *Opuntia* and *Nopalea*. **American Journal of Food Technology**. v.12, n.1, p.25-34, 2017. <https://doi.org/10.3923/ajft.2017.25.34>

Araújo, G. G. L.; Voltolini, T. V.; Chizzotti, M. L.; Turco, S. H. N.; Carvalho, F. F. R.; Water and small ruminant production. **Brazilian Journal of Animal Science**, v.39, n.1, p.326-336, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300036>

Araújo, G. G. L. Os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos e a produção animal em regiões semiáridas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.8, n.1, p.598-609, 2015. <https://doi.org/10.26848/rbqf.v8.0.p598-609>

Ayoade, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 332p., 2012.

Bacalhau, J. R.; Ribeiro Neto, A.; Oliveira, L. M. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.3, p.283-293, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1449.283-293>

Belúcio, L. P.; Silva, A. P. N.; Souza, L. R.; Moura, G. B. A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, p.494-504, 2014. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130079>

Berni, J. A. J.; Zarco Tejada, P. J.; Suárez, L.; Fereres, E. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from An Unmanned Aerial Vehicle. **Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.47, n.1, p.722–738, 2009. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2008.2010457>

Bezerra, B. G.; Araújo, J. S.; Pereira, D. D.; Laurentino, G. Q.; Silva, L. L. D. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.755-761, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700013>

Camelo, T. C. Produtividade e aporte de nutrientes em palma forrageira ‘gigante’ irrigada com água residuária. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal no Semiárido) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2018, 36p

Cavalcante, A. B.; Leite, M. L.M. V.; Pereira, J. S.; Lucena, L. R. R. Crescimento de palma forrageira em função da cura de segmentos dos cladódios. **Tecnologia e Ciência agropecuária**, v.11, n.5, p.15-20, 2017. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i4.13951>

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, n.8, p.680-690, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589)

Costa, J. A.; Rodrigues, G. P.; Silva, N. D.; Lopes Sobrinho, O. P.; Costa, L. D. A. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, v.25, n.1, p.173-179, 2017. <https://doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26277>

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. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1170.98-106>

Dantas, F. D. G. Sistema de cultivo de palma forrageira irrigada no Semiárido potiguar. Tese (Doutorado em Zootecnia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, 135f, 2019.

Donato, S. L. R.; Silva, J. A.; Donato, P. E. R.; Rodrigues, M. G. V.; Rufino, L. D. A.; Silva Júnior, A. A. **Exigências nutricionais e manejo de adubação em palma forrageira**. Informe Agropecuário, v.38, n.296. Belo Horizonte - MG: EPAMIG, 2017.

Du, T.; Kang, S.; Zhang, J.; Davies, W. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, v.66, n.8, p.2253-69, 2015 <https://doi.org/10.1093/jxb/erv034>

Edvan, R. L.; Mota, R. R. M.; Dias-Silva, T. P.; Nascimento, R. R. do.; Sousa, S. V. de.; Silva, A. L. da.; Araújo, M. J. de.; Araújo, J. S. Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction, **Scientific Reports**, v.10, n.1. p 1-9, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66972-0>

Faustino, J. C. S.; Lima, P. V. S.; Casimiro Filho, F.; Rodrigues, M. I. V. Convivência com a escassez de água: a importância do capital social nas áreas susceptíveis à desertificação no Semiárido. **Sustentabilidade em Debate**, v.7, n.1, p.114-135, 2016. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v7nEsp.2016.18357>

Feitosa, S. O.; Silva, S. L.; Feitosa, H. O.; Carvalho, C. M.; Feitosa, E. O. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. **Revista Agropecuária Técnica**, v.36, n.1, p.146-155, 2015. <https://doi.org/10.25066/agrotec.v36i1.23360>

Felix, S. C. R.; Pessoa, R. A. S.; Ferreira, M. A.; Soares, L. F. P.; Silva, J. L.; Abreu, K. S. F.; Melo, A. C. C. Intake, performance, and carcass characteristics of lambs fed spineless cactus replacing wheat bran. **Tropical Animal Health and Production**, v.48, n.2, p.1-7, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11250-015-0969-2>

Fonseca, V. A.; Santos, M. R.; Silva, J. A.; Donato, S. L. R.; Rodrigues, C. S.; Brito, C. F. B. Morpho-physiology, yield, and water use efficiency on *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. **Acta Scientiarum-Agronomy**, v.41, p. 42631, 2019.

Freitas, J. C. 2018. Calibração do modelo AquaCrop e necessidades hídricas da cultura do tomateiro cultivada em condições tropicais. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 119f.

Gassman, P. W.; Williams, J. R.; Wang, X.; Saleh, A.; Osei, E.; Hauck, L. M.; Izaurrealde, R. C.; Flowers, J. The Agricultural Policy Environmental EXtender (APEX) Model: An Emerging Tool for Landscape and Watershed Environmental Analyses. **Card Technical Reports**, v.41, n.1, p.1-109, 2009.

Gava, R.; Frizzone, J. A.; Snyder, R. L.; Jose, J. V.; Fraga Junior, E. F.; Perboni, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n.6, p.349-359, 2015.

Hansen, S.; Jensen, H. E.; Nielsen, N. E.; Svendsen, H. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter wheat using the Danish simulation model Daisy. **Fertilizer Research**, v.27, n.1, p.245-259, 1991.

Hastenrath, S. Exploring the climate problems of Brazil's Nordeste: a review. **Climatic Change**, v. 112, n.1, p.243-251, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0227-1>

**INSA. INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. O Semiárido Brasileiro – Riquezas, diversidades e saberes. n.1, 2014. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/images/acervocartilhas/O%20Semi%C3%A1rido%20brasileiro%20riquezas%20diversidades%20e%20saberes.pdf>>. Acessado em: 01. mar. 2021.**

Koetz, M.; Lima Bär, C. S. L.; Pacheco, A. B.; Castro, W. J. R.; Crisostomo, W. L.; Silva, E. M. B. Produção e eficiência no uso da água do capim paiguás sob tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.1, p.1223-1232, 2017. <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n100571>

Leite, M. L. M. V., Silva, D. S., Andrade, A. P. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v.27, n.2, p.192-200, 2014.

Lemos Filho, L. C. A.; Carvalho, L. G.; Evangelista, A. W. P.; Alves Júnior, J. Análise espacial da influência dos elementos meteorológicos sobre a evapotranspiração de referência em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1294-1303, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200007>

Liguori, G.; Inglese, G.; Pernice, F.; Sortino, G.; Inglese, P. CO<sub>2</sub> uptake of *Opuntia ficusindica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v.8, n.3, p.14-20, 2013. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e3>

Lima, G. F. da C.; Rego, M. M. T.; Dantas, F. D. G.; Lobo, 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. <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n226rc>

Lima Junior, E. C.; Alvarenga, A. A.; Castro, E. M.; Vieira, C. V.; Oliveira, H. M. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, v.35, n.5, p.1092-1097, 2005.

Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dias, F. M. Palma forrageira: cultivo e usos. Recife, CREA, 2017. 76 p. (Caderno Semiárido 7).

Lopes, E. B. Palma forrageira: cultivo, uso atual e perspectivas de utilização no semi-árido nordestino. João Pessoa: EMEPA/FAEPA, 2007.

Lüttge, U. Ability of crassulacean acid metabolism plants to overcome interacting stresses in tropical environments, **Aobplants**, v.5, n.1, p.1-15, 2010. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plq005>

Maes, W. H.; Steppe, K. Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. **Journal of Experimental Botany**, v.63, n.13, p.4671–4712, 2012. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers165>

Mancosu, N.; Spano, D.; Orang, M.; Sarreshteh, S.; Snyder, R. L. Simetaw - A model for Agricultural Water Demand Planning. **Water Resources Management**, v.30, n.2, p.541-557, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1176-7>

Marengo, J. A.; Alves, L. M.; Bezerra, E.; Lacerda, F. Variabilidade e mudanças climáticas no Semiárido brasileiro, in: Medeiros, S. S., Gheyi, H. R., Galvão, C. O., Paz, V. P. S. (Orgs.). Recursos Hídricos e, Regiões Áridas e Semiáridas. INSA, p.383- 416, 2011.

Marques, O.; Gomes, L.; Mourthé, M.; Braz, T.; Pires Neto, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.75-93, 2017.

Matsunaga, W. K. 2019. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no Semiárido nordestino. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 69f.

Minuzzi, R. B. e Lopes, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, n.8, p.734-740, 2015. <http://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p734-740>

Mochel Filho, W. D. J.; Carneiro, M. S. D. S.; Andrade, A. C.; Pereira, E. S.; Andrade, A. P. D.; Cândido, M. J.; Magalhães, J. A.; Rodrigues, B. H. N.; Santos, F. J. S.; Costa, N. L. Produtividade e composição bromatológica de *Panicum maximum* cv. Mombaça sob irrigação e adubação azotada. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.1, p.81-88, 2016. <https://doi.org/10.19084/RCA14154>

Monteiro, C. C. F.; Melo, A. A. S.; Ferreira, M. A. F.; Campos, J. M. S.; Souza, J. S. R.; Silva, E. T. S.; Andrade, R. P. X.; Silva, E. C. Replacement of wheat bran with spineless cactus (*Opuntia ficus indica* Mill cv *Gigante*) and urea in the diets of Holstein×Gyr heifers. **Tropical**

**Animal Health and Production**, v.46, n.7, p.1149-1154, 2014.  
<https://doi.org/10.1007/s11250-014-0619-0>

Morell, F. J.; Yang, H. S.; Cassman, K. G.; Wart, J. V.; Elmore, R. W.; Licht, M.; Coulter, J. A.; Ciampitti, I. A.; Pittelkow, C. M.; Brouder, S. M.; Thomison, P.; Lauer, J.; Graham, C.; Massey, R.; Grassini, P. Can crop simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the U.S. **Corn Belt Field Crops Research**, v.192, n.1, p.1-12, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.004>

Neder, D. G.; Costa, F. R.; Edvan, R. L.; Souto Filho, L. T. Correlations and path analysis of morphological and yield traits of cactus pear accessions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.13, n.3, p.1-5, 2013.

Nobrega, R. S.; Santiago, G. A. C. F.; Soares, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil, **Revista Brasileira de Climatologia**, v.18, n.12, p.276-292, 2016. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.43657>

Nogueira de Sá, M. K.; Andrade, A. P.; Magalhães, A. L. R.; Valença, R. L.; Campos, F. S.; Araújo, F. S.; Araújo, G. G. L. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, p.1-12, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>

Nunes, J. S. L.; Silva, T. G. F.; Souza, L. S. B.; Jardim, A. M. R. F.; Alves, H. K. M. N.; Cruz Neto, J. F.; Leite, R. M; C.; Pinheiro, A. G. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v.27, n.2, p.367-375, 2019. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26449>

Nunes, J. S. L.; Salvador, K. R. S.; Jardim, A. M. R. D.; Araujo Junior, G. N.; Carvalho, A. A.; Souza, L. S. B.; Montenegro, A. A. A.; Silva, T. G. F. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.5, n.1, p.128-139, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>

Oliveira, A. S. C.; Cavalcante Filho, F. N.; Rangel, A. H. N.; Lopes, K. B. P. A palma forrageira: Alternativa para o Semiárido. **Revista Verde**, v.6, n.3, p.49-58, 2011.

Oliveira, L. A. M.; Azeredo, R. A.; Araújo, G. L.; Mantovani, E. C. Estimativa de produção em áreas irrigadas sob o cultivo da cultura do milho utilizando imagens de satélites. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.10, n.1, p.400-409, 2016. <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n100321>

Oliveira, J. P. F.; Ferreira, M. A.; Alves, A. M. S. V.; Melo, A. C. C.; Andrade, I. B.; Urbano, S. A.; Suassuna, J. M. A.; Barros, L. J. A.; Melo, T. T. B. Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v.31, n.4, p.529-536, 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0375>

Oliveira, A. B. 2018. Consumo hídrico e calibração/validação do modelo AquaCrop para a cultura do coentro submetido à irrigação localizada. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 50f.

Pandey, A. Solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v.13, n.1, p.81-84, 2003.

Paredes, P.; Melo-Abreu, J. P.; Alves, I.; Pereira, L. S. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. **Agriculture Water Management**, v.144, n.1, p.81-97, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.002>

Peixoto, M. J. A.; Carneiro, M. S. de S.; Amorim, D. S.; Edvan, R. L.; Pereira, E. S.; Costa, M. R. G. F. Características agrônômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v.67, n.257, p.35-39, 2018. <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>

Perazzo, A. F.; Carvalho, G. G. P.; Santos, E. M.; Bezerra, H. F. C.; Silva, T. C.; Pereira, G. A.; Ramos, R. C. S.; Rodrigues, J. A. S. Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage

Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plants Science**, v.7, n.1, p.1088, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01088>

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. <http://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>

Pereira, M. O.; Ramos, J. G.; Tomaz, B. A.; Cabral, J. H. A.; Pereira, M. C. A.; Azevedo, C. A. V.; Lyra, G. B.; Silva, P. F. Growth of forage palm cultivars irrigated with saline waters. **Semina: Ciências Agrárias**, v.42, n.3, p.1421-1434, 2021. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2021v42n3Supl1p1421>

Pinheiro, K. M.; Silva, T. G. F. da; Sousa C. H. F.; Santos, J. E. O.; Morais, J. E. F. de.; Zolnier, S.; Santos, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.48, n.12, p.939-947. 2014.

Pontes, L. S.; Louault, F.; Carrère, P.; Maire, V.; Andeuza, D.; Soussana, J. F. The role of plant traits under their plasticity in the response of pasture grasses to nutrients and cutting frequency. **Annals of Botany**, v.105, n.6, p.957-965, 2010. <https://doi.org/10.1093/aob/mcq066>

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. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E. AquaCrop the FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. **Agronomy Journal**. v.101, n.3, p.438–447, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0140s>

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. Reference Manual: AquaCrop Version 3.1 plus. Rome, Italy: FAO. 2011.

Rocha, R. S.; Voltolini, T. V.; Gava, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. **Archivos de Zootecnia**, v.66, n.255, p.365-373, 2017. <https://doi.org/10.21071/az.v66i255.2512>

Rodrigues, A. M.; Pitacas, F. I.; Reis, C. M. G.; Blasco, M. Nutritional value of opuntia ficus-indica cladodes from portuguese ecotypes. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v.22, n.1, p.40-45, 2016.

Rodriguez, R. D. G.; Singh, V. P.; Pruski, F. F.; Calegario, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v.7, n.1, p.2096-2109, 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Sales, A. T.; Andrade, A. P.; Silva, D. S.; Leite, M. L. V.; Viana, B. L.; Santos, E. G.; Parente, H. N. Potencial de adaptação de variedades de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* e *Nopalea cochenilifera*) no Cariri Paraibano. In: Congresso Nordeste de Produção Animal, 4., 2006, Petrolina. Anais... Petrolina: SNPA, 2006. p.434-438.

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 Curimataú Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.7, n.1, p.19-24, 2013.

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. 48p.

Santos, D. C.; Silva, M. C.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Lira, M. A.; Silva, R. M. 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. R.; Silva, A. J. P.; Fonseca, V. A.; Campos, A. R. F.; Lisboa, M. A. Irrigação na palma forrageira. **Research Gate: Informe Agropecuário**, v.38, n.296, p.1-13, 2017.

Scalisi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Bianco, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v.122, n.1, p.158–167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>

Silva, N. G. M.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B.; Mello, A. C. L.; Silva, M. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira. **Brazilian Journal of Animal Science**, v.39, n.11, p.2389-2397, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100011>

Silva, L. M. da; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; Rangel, J. H. de A.; Moreira, A. L.; Backes, A. C. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., Souza, C. A. A., Silva, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no Semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, n.2, p.1018, 2015.

Silva, M. A. V.; Ferreira, W. M. P.; Andrade, V. M. S.; Costa, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BR 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.3, p.383-394, 2016. <https://doi.org/10.19084/RCA15117>

Silva, V. P. R.; Silva, R. A.; Maciel, G. F.; Braga, C. C.; Silva Junior, J. L. C.; Souza, E. P.; Almeida, R. S. R.; Silva, M. T.; Holanda, R. M. Calibration and validation of the AquaCrop model for the soybean crop grown under different levels of irrigation in the Motopiba region, Brazil. **Ciência Rural**, v.48, n.1, p.1-8, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161118>

Silva, A. N. E. Efeito da adubação nitrogenada em cártamo no Semiárido nordestino e percepção de estudantes de agropecuária sobre seu uso. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2019, 67p

Silva, A. P.; Souza, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da palma forrageira no Semiárido. **Brasilian Journal of Development**, v.6, n.4, p.20048-20057, 2020. <http://doi.org/10.34117/bjdv6n4-251>

Silveira, P. M.; Stone, L. F. Irrigação do feijoeiro, Embrapa Arroz e Feijão, 2004.

Simionesei, L.; Ramos, T. B.; Brito, D.; Jauch, e.; Leitão, P. C.; Almeida, C.; Neves, R. Numerical simulation of soil water dynamics under station ary sprinkler irrigation with Mohid-land. **Irrigation and Drainage**, v.65, n.1, p.98–111, 2016. <https://doi.org/10.1002/ird.1944>

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: III Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semi-árido, Petrolina, Anais... Embrapa Semi-Árido, 2008.

Souza, N. G. M.; Silva, J. A.; Maia, J. M.; Silva, J. B.; Nunes Júnior, E. D. S.; Meneses, C. H. S. G. Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do Semiárido brasileiro. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v.12, n.3, p.1-12, 2016.

Souza, D. C. F. de; Lima, I. da S.; Santana, J. A.; Almeida, A. Q. de; Gonzaga, M. I. da S.; Santana, J. F. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*opuntia sp.*) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.1, p.2338 - 2347, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n100715>

Steduto, P.; Hsiao, T. C.; Raes, D.; Fereres, E. AquaCrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. **Agronomy Journal**, v.101, n.3, p.426-437, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

Tegegne, F.; Kijora, C. Peters, K. J. Study on the optimal level of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) supplementation to sheep and its contribution as source of water. **Small Ruminant Research**, v.72, n.2, p.157-164, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.10.004>

Tejada, P. J. Z; González Dugo, V.; Berni, J. A. J. Fluorescence Temperature and Narrow-Band Indices Acquired from A UAV Platform for Water Stress Detection Using A Micro-Hyperspectral Imager and A Thermal Camera. **Remote Sensing of Environment**, v.117, n.1, p.322–337, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007>

Tsakmakis, I.; Kokkos, N.; Pisinaras, V.; Papaevangelou, V.; Hatzigiannakis, E.; Arampatzis, G.; Gikas, G. D.; Linker, R.; Zoras, S.; Evagelopoulos, V.; Tsihrintzis, V. A.; Battilani, A.; Sylaios, G. Operational Precise Irrigation for Cotton Cultivation through the Coupling of Meteorological and Crop Growth Models. **Water Resources Management**, v.31, n.1, p.563-580, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1548-7>

Wang, X.; Gassman, P. W.; Williams, J. R.; Potter, S.; Kemanian, A. R. Modeling and impact of soil management practices on runoff, sediment yield, maize productivity, and soil organic carbon using Apex. **Soil & Tillage Research**, v.101, n.1, p.78-88, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.014>

West-Eberhard, M.; Smith, J. A.; Winter, K. ‘Photosynthesis, reorganized’, **Science**, v.332, n.6027, p.311-312, 2011. <https://doi.org/10.1126/science.1205336>

Winter, K.; Garcia, M.; Holtum, J. A. M. Drought-stress-induced up-regulation of CAM in seedlings of a tropical cactus, *Opuntia elatior*, operating predominantly in the C3 mode. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.11, p.4037-4042, 2011.

Wu, G.; Johnson, S.; Bornman, J. F.; Bennett, S. J.; Fang, Z. Changes in whole grain polyphenols and antioxidant activity of six sorghum genotypes under different irrigation treatments. **Food Chemistry**, v.214, n.1, p.199-207, 2017. <https://doi.org/10.1126/science.1205336>

Xavier, M. A.; Batista, M. C.; Santos, J. P. O.; Silva, J. L. C.; Cartaxo, P. H. A.; Reges, R. S.; Pereira, D. D. P. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Revista Agrarian**, v.13, n.47, p.74-81, 2020.

Xu, J.; Bai, W.; Li, Y.; Wang, H.; Yang, S.; Wei, Z. Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. **Agricultural Water Management**, v.213, n.1, p.289-297, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.028>

Zhou, Z.; Plauborg, F.; Parsons, D.; Andersen, M. N. Potato canopy growth, yield and soil water dynamics under different irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v.202, n.1, p.9-18, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.009>

## **CAPÍTULO II**

-

### **MORFOMETRIA E BROMATOLOGIA DA PALMA FORRAGEIRA ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SOB DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO NA MESORREGIÃO DO AGRESTE PARAIBANO**

## **Morfometria e bromatologia da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação na mesorregião do Agreste paraibano**

**Resumo:** Objetivou-se com o presente estudo avaliar a morfometria e a bromatologia da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana irrigadas por gotejamento nas frequências de irrigação de 7 e 28 dias na mesorregião do Agreste paraibano. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC) arranjado o primeiro ciclo em esquema fatorial 2 x 12, sendo duas frequências de irrigação 7 e 28 dias e 12 épocas de avaliação, totalizando 24 tratamentos distribuídos em 4 blocos. Já para a rebrota o arranjo foi 2 x 5, sendo duas frequências de irrigação 7 e 28 dias e 5 épocas de avaliação. Avaliou-se no primeiro ciclo as características morfométricas e bromatológicas e nos 5 meses de rebrota as características morfométricas da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana. Os dados obtidos passaram por análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% e teste t ao nível de 5% de probabilidade com auxílio do SAS® (2002). A morfometria da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana é alterada em decorrência da frequência de irrigação, apresentando maior número, altura, largura e espessura dos cladódios sob irrigação semanal no primeiro ciclo e na rebrota, com exceção do extrato etéreo, as frequências de irrigação não afetaram os componentes bromatológicos da forrageira no primeiro ciclo.

**Palavras chave:** cactácea, forrageira, gotejamento; *Opuntia Stricta Haw*; proteína bruta

### **Introdução**

A palma é um importante recurso forrageiro para a base alimentar dos rebanhos em regiões áridas e semiáridas, chegando a compor 80 % das dietas dos ruminantes, pelos altos teores de energia, água, além da elevada produtividade por unidade de área, mas, sua utilização na dieta desses animais deve ser limitada e associada a outras fontes de fibra e proteínas, dado que em elevadas quantidades diminui a fibra em detergente neutro (FDN) da dieta, além de apresentar baixa concentração de fibra e proteína e elevado teor de umidade retido na mucilagem que pode causar diarreia nos animais (Monteiro et al., 2014; Felix et al., 2016; Marques et al., 2017; Alves et al., 2017; Oliveira et al., 2018).

A região Semiárida brasileira caracteriza-se pelos baixos índices pluviométricos, irregularidade de chuvas e elevadas temperaturas (Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017)

por isso, para evitar perdas produtivas e econômicas deve-se cultivar espécies forrageiras adaptadas a região, como a palma forrageira, que possuem características anatômicas, fisiológicas e bioquímicas que permitem seu crescimento e desenvolvimento em áreas com elevadas temperaturas e escassez hídrica (Souza et al., 2018; Nogueira de Sá et al., 2021).

A composição bromatológica e as características morfométricas da palma sofrem influências das variáveis climáticas, que podem incidir na fotossíntese e os demais processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, da fertilidade do solo, idade da planta, época do ano, espécies, variedades, densidade de plantio, ataque de pragas e das doenças (Silva et al., 2016; Souza et al., 2018). Portanto, a busca por alternativas para aumentar a produtividade se utiliza de cultivos com adubação e irrigação, sendo que o baixo volume de água pode promover alterações na dinâmica de crescimento da planta em relação à palma cultivada em condições de sequeiro, elevando seu rendimento, qualidade e produtividade (Consolli et al., 2013; Silva et al. 2014; Queiroz et al., 2015; Lima et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017; Marques et al., 2017; Rocha et al. 2017).

O surgimento de cladódios primários, secundários e terciários recebem influência da frequência de irrigação (Silva et al., 2015; Rocha et al., 2017; Silva et al., 2019; Nunes et al., 2019), a restrição hídrica pode reduzir o conteúdo relativo de água, a espessura e a taxa de crescimento dos cladódios (Scalisi et al., 2016; Nunes et al., 2020), podem ocorrer variações na morfometria e na composição bromatológica entre as ordens dos cladódios da palma tanto irrigadas quanto em sequeiro, assim avaliar as características morfométricas e a bromatologia dos cladódios por ordem é fundamental para então ser possível fazer recomendações da parte nutritiva nas épocas da colheita, além de se ter uma noção sobre suas características como fonte de ração para os rebanhos na região Semiárida (Almeida, 2012; Alves et al., 2017).

Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar a morfometria e a bromatologia da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana irrigadas por gotejamento nas frequências de irrigação de 7 e 28 dias na mesorregião do Agreste paraibano

## **Material e Métodos**

### ***Caracterização da área experimental***

O experimento ocorreu na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande - PB, mesorregião do Agreste paraibano, cujas coordenadas são latitude Sul 07° 14' 00'' e longitude Oeste 35° 57' 00'', com altitude de 491 m, sendo o clima da região classificado como As de acordo com a classificação de Koppen (Francisco et al., 2015).

### ***Solo da área experimental***

Com base nos critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2013), o solo da área experimental é classificado como Planossolo haplico e, para análise do solo da área de cultivo foram coletadas 15 amostras simples em diferentes pontos, nas profundidades de 0 a 20 cm (Santos et al., 2017). As amostras foram homogeneizadas, resultando uma única amostra, acondicionada em saco plástico devidamente identificadas e encaminhada ao Laboratório de Irrigação e Salinidade, da Universidade Federal de Campina Grande para a realização da caracterização físico-química do solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo

Características Químicas		Características Físicas	
Ca (meq/100g de solo)	1,85	Areia (%)	82,16
Mg (meq/100g de solo)	2,54	Silte (%)	16,08
Na (meq/100g de solo)	0,17	Argila (%)	1,76
K (meq/100g de solo)	0,49	Textura	Areia Franca
S (meq/100g de solo)	5,05	DS (g/cm <sup>3</sup> )	1,34
H (meq/100g de solo)	0,40	DP g/cm <sup>3</sup>	2,68
Al (meq/100g de solo)	0,24	Porosidade %	50,00
T (meq/100g de solo)	5,69	<b>Umidade (% base solo seco)</b>	
CCQ	Ausência	Natural	0,54
CO %	0,78	0,10 atm	
MO %	1,34	0,33 atm	13,01
N %	0,08	1,00 atm	
P assimilável mg/100g	0,18	5,00 atm	
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	5,57	10,0 atm	
pH KCl (1:2,5)		15,0 atm	5,62
CE – mmhos/cm (Suspensão Solo-Água)	0,16	AD	7,39
pH (Extrato de saturação)	5,05		
CE – mmhos/cm (Extrato de Saturação)	0,59		
Cloreto (meq/l)	3,75		
Carbonato (meq/l)	0,00		
Bicarbonato (meq/l)	0,40		
Sulfato (meq/l)	Ausência		
Ca (meq/l)	2,00		
Mg (meq/l)	1,25		
K (meq/l)	0,55		
Na (meq/l)	2,40		
Percentual de saturação	21,66		
Relação de adsorção de sódio	1,88		
PSI	2,99		
Salinidade	Não salino		
Classe de solo	Normal		

Ca – cálcio; Mg – magnésio; Na – sódio; K – potássio; S – enxofre; H – hidrogênio; Al – alumínio; CCQ – carbonato de cálcio qualitativo CO - Carbono orgânico; MO - matéria orgânica; N – nitrogênio; P – fósforo; CE – condutividade elétrica; DS – densidade do solo; DP - Densidade de partículas; AD - Água disponível

Antes da implantação das culturas o solo passou pelos processos de aração e gradagem e, após as análises foram realizadas as adubações, com 200 kg de uréia, 40 kg de fosfato monoamônico (MaP) e 60 kg de cloreto de potássio granulado, distribuídos de forma homogênea na área.

### **Água de irrigação**

A análise da água de irrigação deu-se no laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, classificada como C1 (Tabela 2), que corresponde a uma água de baixa salinidade (Bernardo, 1995)

**Tabela 2.** Análise da água de irrigação

pH	7,54
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S, Cm}^{-1}$ )	200
Cálcio ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,88
Magnésio ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,48
Sódio ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,54
Potássio ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,05
Carbonatos ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,00
Bicarbonatos ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,80
Cloretos ( $\text{meq L}^{-1}$ )	0,50
Sulfatos ( $\text{meq L}^{-1}$ )	Ausente
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	0,65
Classe da água	C1

### ***Cultivar utilizada e forma de plantio***

Foram utilizadas raquetes de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, provenientes do INSA e isentas de infestações por pragas e doenças, as quais passaram pelo período de cura de sete dias à sombra, para que os cladódios perdessem parte da umidade e ocorresse a cicatrização das lesões provocadas pelo corte no campo, já o plantio feito em sulco com alinhamento bilateral (Dominó).

Optou-se por utilizar a nomenclatura de ordens para denominar os cladódios, de acordo com a sua disposição sobre o crescimento, sendo a raquete originalmente plantada denominada raquete-mãe, planta-mãe ou cladódio mãe, que são as que dão origem aos artículos primários ou cladódios primários, responsáveis pela emissão de novos artículos, os artículos secundários ou cladódios secundários, que dão origem aos novos artículos denominados cladódios terciários (Lopes et al., 2009; Silva et al., 2010; Donato et al., 2014; Lima et al., 2016; Cavalcante et al., 2017; Marques et al., 2017; Xavier et al., 2020; Pereira et al., 2020; Pereira et al., 2021).

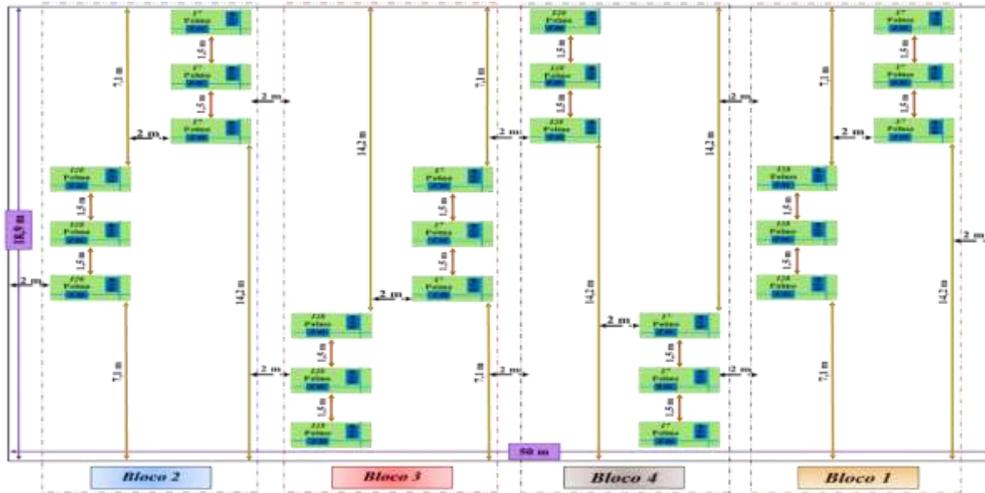
### ***Delineamento experimental e tratamentos***

O período experimental transcorreu em 17 meses, compreendendo o primeiro ano do ciclo da palma forrageira (janeiro a dezembro de 2020) e os cinco primeiros meses do segundo ano - rebrota (de janeiro a maio de 2021). O delineamento experimental utilizado se deu por meio de blocos casualizados (DBC) com 2 tratamentos (I7 – frequência de irrigação de 7 dias e I28 –

frequência de irrigação de 28 dias) e 4 repetições (número de blocos), sendo cada tratamento repetido 3 vezes dentro do bloco (triplícata) totalizando 24 parcelas experimentais.

A área plantada foi de 57,6 m<sup>2</sup> e área total de 945 m<sup>2</sup> (18,9 m x 50 m) (Figura 1). A área plantada com um total de 432 plantas, delas 216 irrigadas em frequência de 7 dias em 28,8 m<sup>2</sup>, ocorrendo o mesmo para as irrigadas a cada 28 dias.

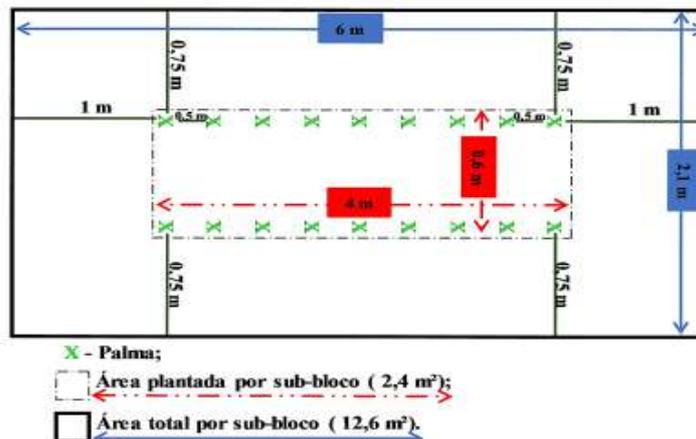
**Figura 1.** Distribuição total dos blocos experimentais



I7 - Irrigado a cada 7 dias; I28 - Irrigado a cada 28 dias.

Cada parcela experimental composta por uma fileira dupla com 18 plantas, sendo 9 por fila, possuindo 2,4 m<sup>2</sup> de área plantada, o espaçamento entre linhas de 0,6 m e de 0,5 entre plantas, com 4 m de comprimento, 0,75 m de bordadura nas laterais e de 1m de bordaduras superiores e inferiores, com área total por parcela experimental, considerando as bordaduras de 12,6 m<sup>2</sup> (Figura 2).

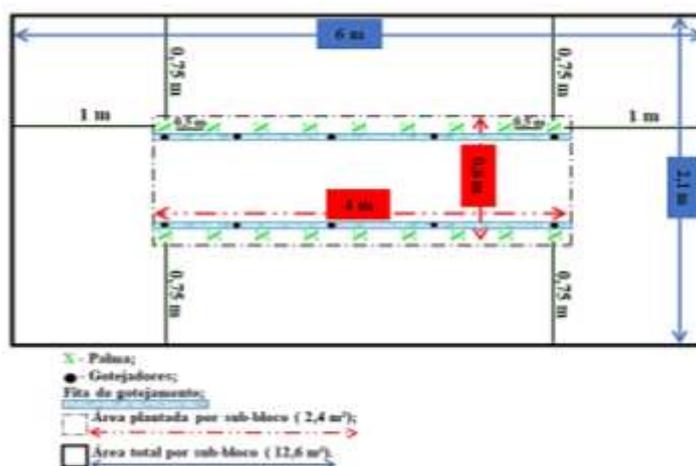
**Figura 2.** Distribuição da área total e plantada por parcela experimental



### *Manejo de irrigação*

Utilizou-se a irrigação por gotejamento, com gotejadores do tipo GA 4, distribuídos em linhas próximas as plantas a cada 0,5 m e a mangueira utilizada como tubulação possuía 17 mm de diâmetro interno, realizada no período da tarde entre 15:00 e 16:30 h (Figura 3).

**Figura 3.** Distribuição da mangueira com gotejadores por parcela experimental na área plantada de palma



O manejo de irrigação para as palmas irrigadas a cada 7 dias aconteceu por meio da lâmina fixa semanal de 8,74 mm, o que corresponde a 35,96 mm mês<sup>-1</sup>, sendo este complemento da precipitação semanal, ou seja, caso houvesse chovido o volume igual ou superior ao necessário descartava-se a irrigação semanal, caso contrário realizava-se a mesma. Para as parcelas experimentais irrigadas a cada 28 dias utilizava-se o volume de 8,74 mm sendo este distribuído a cada 28 dias.

### *Estimativa de produtividade com base em biomassa da matéria verde não destrutiva*

A estimativa não destrutiva (sem corte) da biomassa de matéria verde, foi quantificada no primeiro ciclo e na rebrota da palma cultivar Orelha de Elefante Mexicana em gramas, através da metodologia de Menezes et al. (2005), sendo a massa média dos cladódios estimados com base na Equação 1.

$$BMVC = C * L * E * 0,535$$

Equação 1

Em que: BMVC - biomassa de matéria verde do cladódio em g;

C - Comprimento médio dos cladódios em cm;

L - Largura média dos cladódios em cm; 25

E - Espessura média dos cladódios em cm;

0,535 - Fator resultante da multiplicação do fator de correção da área (0,883) pelo peso específico corrigido ( $0,772 \text{ g cm}^{-3}$ ), pelo valor de 3,14 e por  $\frac{1}{4}$ , provenientes do cálculo da área da elipse, em  $\text{g cm}^{-3}$ .

### ***Estimativa de produtividade com base em biomassa da matéria verde destrutiva***

Após 12 meses de plantio (primeiro ciclo), as palmas foram cortadas no mês de dezembro, em seguida realizada a pesagem no campo dos cladódios primários, secundários e terciários de 4 plantas em cada parcela experimental das frequências de 7 e 28 dias, sendo 48 plantas para cada tratamento. Depois realizou-se a soma dos pesos dos cladódios para obtenção do peso de cada planta individualmente, para chegar ao peso de campo parcial das plantas irrigadas nos tratamentos, calculando posteriormente o peso de campo total experimental das 432 plantas, sendo 216 plantas irrigadas a cada 7 dias e a mesma quantidade para 28 dias. Após 45 dias do corte, em janeiro de 2021, ocorreram as avaliações mensais da rebrota das palmas forrageiras pelo período de 5 meses.

### ***Variáveis analisadas***

#### ***Análises morfométricas***

Foram feitas as análises morfométricas no primeiro ciclo e no período da rebrota da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, em 4 plantas de cada parcela experimental, por meio da avaliação do crescimento vegetativo mensal das variáveis morfométricas altura (cm), largura (cm) e espessura (cm) da palma mãe e dos cladódios primário, secundário e terciário, determinados com o auxílio de fita métrica e paquímetro digital, considerando desde o solo até a extremidade mais alta do artícolo, além de avaliar o número de cladódios primários (u), secundários e terciários através de contagem direta na planta.

#### ***Análises bromatológicas***

No momento do corte (análise destrutiva do primeiro ciclo de cultivo - 12 meses após o plantio) retirou-se uma amostra de cladódios primários, secundários e terciários de cada parcela experimental, posteriormente elas foram homogeneizadas dentro do bloco coletando-se uma amostra composta para cada ordem de cladódio, totalizando seis amostras por bloco (cladódios primários, secundários e terciários das frequências de irrigação de 7 e 28 dias), o mesmo para os demais blocos, totalizando 24 amostras, 12 de 7 dias e 12 de 28 dias com as análises bromatológicas dos cladódios feitas individualmente.

As amostras foram secas em estufa de circulação e renovação de ar a 65°C pelo período de 72 horas e depois moídas em moinho de facas tipo Willey com peneiras de crivo de 1 mm e acondicionadas 0,600 g em plásticos identificados.

Foram efetuadas as determinações dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) em aparelho destilador de nitrogênio, método de Kjeldahl; extrato etéreo (EE) em aparelho Goldfish; matéria mineral (MM) em mufla elétrica a 600°C, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo determinador de fibra modelo ANKOM.

Para isso, foram usados os métodos descritos em AOAC (Analytical Methods Association of Official Analytical Chemists, 1990) para identificar os teores de matéria seca (MS, método nº 930.15), cinzas (CZ, método nº 942,05), proteína bruta (PB, método nº 984,13), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e lignina segundo Van Soest et al. (1991). E também os carboidratos totais (CT) calculados segundo a fórmula:  $CT (\%MS) = 100 - (\%PB + \%EE + \%RM)$ .

### ***Análise estatística***

Para as variáveis morfométricas do primeiro ciclo foi utilizado um fatorial 2 x 12, com 2 frequências de irrigação (7 e 28 dias) e 12 épocas de avaliação (meses do ano). Na rebrota um esquema fatorial 2 x 5, sendo 2 frequências de irrigação (7 e 28 dias) e 5 épocas de avaliação. Os dados passaram por análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*), do SAS® (2002).

Os dados bromatológicos coletados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*), do *Statistical Analysis System - SAS* ® (2002).

## Resultados e Discussão

O crescimento e desenvolvimento das plantas sofrem interferência das variáveis climáticas, como temperatura, umidade relativa do ar, insolação e precipitação (Bezerra et al., 2014; Silva et al., 2016; Souza et al., 2018). A temperatura do ar (TA, °C) influencia na fotossíntese e nos demais processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (Silva et al., 2016; Souza et al., 2018), no primeiro ciclo apresentou-se mais elevada no mês de fevereiro (Tabela 3), e mais baixa em julho, todavia, permaneceu dentro da faixa adequada para palma forrageira, que é de 18,00 a 32,00 °C (Bezerra et al., 2014). Na rebrota, observou-se TA mais elevada em fevereiro e inferior em maio, mas ainda assim, dentro da faixa adequada para a forrageira (Tabela 4).

**Tabela 3.** Dados meteorológicos do primeiro ciclo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana

Época de avaliação	TA (°C)	UR (%)	Vv (m s <sup>-1</sup> )	I (h)	P (mm)
Janeiro	25,70	72,38	3,47	7,10	16,00
Fevereiro	26,13	73,92	3,39	8,50	5,80
Março	25,51	79,71	2,44	7,10	173,40
Abril	24,99	81,73	2,54	7,40	97,20
Maiο	24,27	83,46	2,67	7,00	65,60
Junho	22,62	84,98	2,49	5,10	84,90
Julho	21,68	82,33	2,44	7,05	73,10
Agosto	22,28	75,33	3,13	8,50	8,70
Setembro	22,77	74,98	3,49	8,05	10,80
Outubro	24,26	72,88	3,82	9,30	0,80
Novembro	24,92	74,94	4,09	8,50	13,60
Dezembro	24,64	74,54	4,21	8,30	1,30

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.

TA (°C) – Temperatura média do ambiente; UR (%) - Umidade relativa média; Vv (m s<sup>-1</sup>) - Velocidade do vento; I (h) - Insolação; P (mm) - Precipitação.

**Tabela 4.** Dados meteorológicos da rebrota da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana

Época de avaliação	TA (°C)	UR (%)	Vv (m s <sup>-1</sup> )	I (h)	P (mm)
Janeiro	25,03	74,54	3,91	7,00	7,00
Fevereiro	25,44	73,52	3,68	7,25	7,25
Março	24,95	77,92	3,31	7,40	7,40
Abril	24,42	84,00	3,09	7,35	7,35
Mai	23,33	83,13	2,61	5,70	5,70

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.

TA (°C) – Temperatura média do ambiente; UR (%) - Umidade relativa média; Vv (m s<sup>-1</sup>) - Velocidade do vento; I (h) - Insolação; P (mm) - Precipitação.

As médias da umidade relativa do ar (UR, %) no primeiro ciclo foram mais elevadas no mês de junho e em janeiro mais baixa (Tabela 3) apresentando-se acima da faixa adequada para esta forrageira, que seria de 37,30 a 63,10 % (Souza et al., 2008), o mesmo sucedeu na rebrota em abril, onde a UR foi maior e em fevereiro, inferior (Tabela 3).

A Vv no primeiro ciclo da forrageira apresentou-se inferior nos meses de março e julho e mais alta no mês de dezembro (Tabela 3), encontrando-se dentro da faixa adequada para produção da palma forrageira de março a julho, entre 1 e 3 m s<sup>-1</sup> (Silva et al., 2020). Na rebrota, a Vv esteve dentro do ideal para palma forrageira apenas no mês de maio, e de janeiro a abril acima de 3,00 m s<sup>-1</sup>, tendo seu máximo no mês de janeiro (Tabela 4).

A insolação (I, h) está associada ao metabolismo clorofiliano (Silva et al., 2016), no primeiro ciclo apresentou-se superior em outubro e inferior em junho (Tabela 3). A rebrota inferior em maio e superior em março (Tabela 4). No primeiro ciclo percebeu-se a maior precipitação (P, mm) em março e a menor em outubro, com a precipitação anual de 551,20 mm (Tabela 3), dentro do considerado adequado para palma forrageira, na faixa de 368,4 a 812,4 mm ano<sup>-1</sup> (Souza et al., 2008). Na rebrota encontrou-se 262,5 mm nos cinco meses de avaliação, dentro do considerado adequado para palma forrageira (Tabela 4).

A estimativa da biomassa de matéria verde dos cladódios (g) mostrou progressão mensal para as frequências de irrigação no primeiro ciclo, evidenciando superioridade para as palmas irrigadas na frequência de 7 dias, fato que se justifica em decorrência do maior aporte hídrico elevar o desenvolvimento das plantas, aumentando a quantidade de biomassa (Tabela 5), corroborando com o estudo desenvolvido por Dantas Neto et al. (2020) que avaliando o crescimento e produtividade da palma forrageira sob frequências de irrigação verificaram que a produção de biomassa verde da palma forrageira diminui com a redução da frequência de irrigação em dias. Assim, pode-se inferir que o fornecimento hídrico a palma forrageira com

lâmina fixa a cada 28 dias pode ser uma alternativa viável para o produtor da região Semiárida, uma vez que nessa região ocorre escassez hídrica em grande parte do ano.

**Tabela 5.** Estimativa no primeiro ciclo da biomassa de matéria verde da palma forrageira irrigada a cada 7 e 28 dias em gramas

Frequência de irrigação	Época de avaliação (mês)	Estimativa de produção média±DP (g planta <sup>-1</sup> )	CV (%)	Máximo	Mínimo
7 dias	Janeiro	508,10±219,79f	43,26	1766,36	106,41
	Fevereiro	683,89±285,93e	41,81	2144,60	109,09
	Março	792,87±342,72d	43,22	2526,53	163,79
	Abril	1048,28±613,57c	58,53	6280,90	347,16
	Maio	1192,78±616,73c	51,70	6351,95	319,88
	Junho	1367,57±809,36b	59,18	6682,79	400,13
	Julho	1513,86±895,79a	59,17	7004,92	463,52
	Agosto	1519,66±897,47a	59,06	7004,92	463,52
	Setembro	1542,88±902,66a	58,52	7004,92	463,52
	Outubro	1555,03±904,79a	58,19	7004,92	463,52
	Novembro	1587,16±906,80a	57,13	7004,92	463,52
	Dezembro	1574,90±908,67a	57,69	7004,92	463,52
28 dias	Janeiro	348,59±138,66g	39,78	1058,98	110,75
	Fevereiro	489,73±181,58f	37,08	1206,00	144,45
	Março	575,34±221,16f	38,43	1492,12	155,04
	Abril	830,77±289,80e	34,88	1647,80	160,50
	Maio	982,75±327,43d	33,32	1925,68	177,19
	Junho	1190,96±375,16c	31,50	2224,53	235,13
	Julho	1291,38±389,75b	30,18	2160,76	236,74
	Agosto	1298,58±391,26b	30,13	2173,71	236,74
	Setembro	1313,18±389,71a	29,68	2214,20	236,74
	Outubro	1326,95±385,67a	29,06	2325,97	332,24
	Novembro	1354,66±399,48a	29,49	2661,95	353,58
	Dezembro	1378,91±417,53a	30,28	2676,39	353,58
Valor de P					
Irrigação			<.0001		
Mês			<.0001		
Irrigação*Mês			0.9999		

Letras minúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Na rebrota a estimativa da biomassa de matéria verde foi similar ( $P < 0,05$ ) nas palmas irrigadas a cada 7 e 28 dias (Tabela 6), demonstrando a adaptabilidade da cultura já estabelecida

ao estresse hídrico. Com base nesses dados pode-se afirmar que a partir do segundo ano de cultivo (rebrotar) a palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana pode ser irrigada em frequência de 28 dias, sem comprometer os seus rendimentos produtivos. O menor rendimento de biomassa verde obtido na rebrota em comparação com o primeiro ciclo, pode ser justificado pelo fato de que a análise foi realizada apenas por cinco meses após o primeiro corte. A produtividade da palma forrageira (destrutiva) em função das frequências de irrigação no primeiro ciclo de cultivo foi 28,38 % superior nas palmas irrigadas na frequência de 7 dias quando comparadas as irrigadas com frequência de 28 dias (Tabela 7).

**Tabela 6.** Estimativa no período de rebrota da biomassa de matéria verde da palma forrageira irrigada a cada 7 e 28 dias em gramas

Frequência de irrigação	Época de avaliação	Média±DP (g)	CV (%)	Máxima (g)	Mínima (g)
7 dias	Janeiro	64,70±44,54e	65,79	250,38	13,48
	Fevereiro	158,36±61,29d	38,71	422,00	77,04
	Março	305,84±134,01c	43,82	765,26	120,38
	Abril	509,11±211,51b	41,54	1022,39	246,53
	Maior	712,77±278,37a	39,06	1320,38	249,79
28 dias	Janeiro	71,74±35,40e	49,34	202,23	3,21
	Fevereiro	171,52±66,34d	38,68	333,84	51,36
	Março	289,13±122,97c	42,54	706,63	134,82
	Abril	480,90±175,82b	36,56	956,58	147,34
	Maior	695,44±340,82a	49,00	1767,21	176,87
Valor de P					
Frequência de irrigação (I)			0,5777		
Época de avaliação (E)			<.0001		
I*E			0,9263		

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste t

**Tabela 7.** Peso de campo parcial e total de palma forrageira irrigada aos 7 e 28 dias

Frequência de irrigação	Peso de campo parcial (48 plantas analisadas - kg)	Peso de campo total (216 plantas - kg)	Peso de massa verde total (ton ha <sup>-1</sup> )
7 dias	624,22	2.730,95	240,81
28 dias	486,24	2.127,30	187,58

O surgimento de cladódios primários, secundários e terciários sofrem influência da frequência de irrigação (Silva et al., 2015; Rocha et al., 2017; Silva et al., 2019; Nunes et al.,

2019), sendo observado nas plantas irrigadas a cada 7 dias um número de cladódios primários (4,38 u) mais expressivo apresentando 11,45 % superiores aos de 28 dias e os secundários superiores em 26,94 % (Tabela 8). Isso ocorreu devido ao maior conteúdo relativo de água na palma irrigada com a frequência de 7 dias, uma vez que a restrição hídrica reduz o conteúdo relativo de água, a espessura e a taxa de crescimento dos cladódios (Scalisi et al., 2016; Nunes et al., 2020). Além disso, a dinâmica de crescimento da palma apresenta boa relação com a temperatura do ar, sendo assim, quando as palmas estiveram em TA adequada, recebendo maior frequência de irrigação apresentaram conseqüentemente maior desenvolvimento.

**Tabela 8.** Características morfométricas no primeiro ciclo de palma forrageira irrigada nas frequências de 7 e 28 dias

Efeito	Cladódios			Cladódio Mãe			Cladódio Prim.			Cladódio Sec.			Cladódio Terc.		
	Prim. (u)	Sec. (u)	Terc. (u)	Alt. (cm)	Larg. (cm)	Esp. (mm)	Alt. (cm)	Larg. (cm)	Esp. (mm)	Alt. (cm)	Larg. (cm)	Esp. (cm)	Alt. (cm)	Larg. (cm)	Esp. (mm)
Frequências de Irrigação															
7	4,38a	5,56a	2,94a	21,62a	26,94a	1,49a	34,81a	26,47a	1,02a	26,60a	21,90a	0,90a	23,61a	19,76a	0,69a
28	3,93b	4,38b	2,70a	19,91b	25,81b	1,27b	34,01b	26,94a	0,97b	25,28b	21,01b	0,83b	19,97b	17,27a	0,60b
Épocas de avaliação															
Janeiro	2,28d	-	-	20,78a	26,43a	1,18a	16,75f	11,05f	0,62f	-	-	-	-	-	-
Fevereiro	2,92c	1,00c	-	20,78a	26,43a	1,18a	25,87e	19,43e	0,73e	10,00c	7,00c	0,40b	-	-	-
Março	3,49b	2,09bc	-	20,78a	26,43a	1,18a	29,17d	21,98d	0,80d	14,55bc	12,27bc	0,56ab	-	-	-
Abril	4,35a	4,33abc	-	20,76a	26,37a	1,28a	34,18c	26,11c	0,98c	16,56bc	13,16b	0,43ab	-	-	-
Mai	4,46a	4,53abc	1,00a	20,76a	26,37a	1,28a	35,88b	27,68b	1,03b	18,70b	15,59b	0,75ab	27,00a	22,00a	0,50a
Junho	4,51a	4,62abc	1,00a	20,76a	26,35a	1,37a	37,24a	29,19a	1,06ab	26,12a	21,53a	0,86ab	31,00a	24,00a	0,90a
Julho	4,52a	4,74ab	1,00a	20,76a	26,35a	1,37a	38,25a	30,18a	1,09a	27,97a	23,11a	0,95a	31,00a	24,00a	1,10a
Agosto	4,52a	4,70abc	1,00a	20,76a	26,35a	1,37a	38,25a	30,19a	1,09a	27,76a	22,98a	0,93ab	13,60a	11,80a	0,44a
Setembro	4,52a	4,76ab	1,88a	20,76a	26,35a	1,37a	38,28a	30,21a	1,09a	28,01a	23,21a	0,94a	21,43a	17,71a	0,69a
Outubro	4,53a	5,04ab	2,29a	20,76a	26,35a	1,37a	38,27a	30,20a	1,09a	28,36a	23,58a	0,95a	17,88a	15,35a	0,52a
Novembro	4,58a	5,97a	3,19a	20,76a	26,35a	1,37a	38,27a	30,20a	1,09a	28,68a	23,79a	0,92ab	20,02a	17,49a	0,49a
Dezembro	4,58a	5,97 <sup>a</sup>	3,19a	20,76a	26,35a	1,37a	38,27a	30,20a	1309a	28,68a	23,79a	0,92ab	25,91a	21,61a	0,87a
EPM	1,48	3,59	2,65	4,86	3,83	1,56	5,60	4,58	0,17	6,77	5,13	0,52	8,20	6,82	0,26
Valor de P															
Frequência de irrigação (I)	<.0001	<.0001	0,6660	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,5762	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,0314	0,0683	0,0207
Épocas de avaliação (E)	<.0001	<.0001	0,4422	1,000	1,000	0,7300	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,5231	0,5892	0,5236
I*E	0,3989	1,0000	0,9592	1,000	1,000	0,9878	0,0318	0,5273	<.0001	0,0002	0,0002	0,9719	0,7379	0,7371	0,6128

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; EPM=erro padrão da média

Prim. – primárias; Sec. – secundárias; Terc – terciárias; Alt. – altura; Larg. – largura; Esp. – espessura; u - unidade; EPM – erro padrão da média

Todavia, esse comportamento não foi identificado para o número de cladódios terciários, isso pode ter ocorrido devido a palma forrageira está em sua fenofase dois, que de acordo com Lima et al. (2021) corresponde ao período entre a emissão do cladódio de 2ª ordem e o de 3ª ordem, assim os cladódios terciários ainda são jovens e passam pelo seu desenvolvimento inicial.

Na rebrota, também houve influência da frequência de irrigação no número de cladódios primários, que se apresentaram 6,25 % mais elevados nas plantas irrigadas em frequência de 7 dias. Não havendo diferença significativa para o número de cladódios secundários entre as frequências de irrigação (Tabela 9), haja vista que a cultura estava em fenofase um (FV1) do seu desenvolvimento vegetativo (Lima et al., 2021).

**Tabela 9.** Características morfométricas da rebrota da palma forrageira irrigada nas frequências de 7 e 28 dias

Efeito	Cladódios		Cladódio primário			Cladódio secundário		
	Prim. (u)	Sec. (u)	Alt. (cm)	Larg. (cm)	Esp. (cm)	Alt. (cm)	Larg. (cm)	Esp. (cm)
Frequência de irrigação (dias)								
7	10,20a	6,26a	28,84a	22,06a	0,74a	19,29a	16,27a	0,54a
28	9,60b	6,67a	29,02a	22,15a	0,73a	20,03a	16,69a	0,72a
Épocas de avaliação								
Janeiro	8,86c	-	18,23e	14,67e	0,45e	-	-	-
Fevereiro	9,42bc	1,00a	25,82d	20,26d	0,57d	5,00b	5,00b	4,33b
Março	10,14ab	2,19 <sup>a</sup>	31,28c	23,06c	0,73c	9,85b	9,85b	7,92b
Abril	10,40ab	7,06 <sup>a</sup>	33,58b	25,51b	0,92b	19,19a	19,19a	16,23a
Mai	10,69a	7,75 <sup>a</sup>	35,80a	27,07 <sup>a</sup>	1,00a	23,91a	23,91a	20,08a
Valor de P								
Irrigação	0,0267	0,9422	0,5812	0,7048	0,6661	0,6228	0,5707	0,5108
Mês	0,0001	0,5632	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0,0162
Irrigação*Mês	0,9758	0,9780	0,7172	0,4333	0,8497	0,5228	0,6631	0,3331

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Prim. – primárias; Sec. – secundárias; Alt. – altura; Larg. – largura; Esp. – espessura; u – unidade.

A frequência de aplicação da irrigação também interfere nas características estruturais da palma forrageira, alterando a altura (Silva et al., 2014; Silva et al., 2015), largura (Rocha et al., 2017; Silva et al., 2019) e a espessura das plantas (Nunes et al., 2019; Nascimento et al., 2020; Matos et al., 2020), que na presente pesquisa são superiores nas palmas irrigadas a cada 7 dias, com percentuais de 8,59; 17,34 e 4,38 %, respectivamente, para os cladódios mãe e de 5,23; 4,24 e 8,44 % para os cladódios secundários (Tabela 8), já os cladódios primários e terciários tiveram valores superiores nas palmas irrigadas a cada 7 dias para altura, de 2,36 e 18,23 %,

respectivamente, e para espessura de 5,16 e 15,00 %, respectivamente, não apresentando diferenças significativa para a variável largura entre a diferentes frequências de irrigação (Tabela 8).

Na rebrota as alturas, larguras e espessuras dos cladódios primários e secundários foram similares ( $P>0,05$ ) entre as frequências de irrigação (Tabela 9), podendo ser justificado pelas altas precipitações ocorridas nos meses estudados, fazendo com que as palmas irrigadas a cada 28 dias conseguissem armazenar uma maior quantidade de água em seu interior. Destaca-se que os cladódios primários, independente da frequência de irrigação, apresentam maiores alturas, larguras e espessuras que os secundários, pela idade e fenofase deles. O observado na presente pesquisa, para a rebrota, corrobora com o encontrado nas pesquisas de Pereira et al. (2015) e Queiroz et al. (2015), que estudando o efeito de diferentes frequências de irrigação na palma forrageira, não observaram alterações significativas sob as características agrônômicas da palma forrageira.

Não houve influência das épocas de avaliação na dinâmica de crescimento da palma mãe, que manteve altura, largura e espessura sem modificações (Tabela 8), possivelmente por tratar-se de um cladódio formado, que ao constituir raízes em menos de um mês, iniciou o surgimento de cladódios primários, encontrando-se na fenofase um (FV1) do seu desenvolvimento vegetativo, período que compreende do plantio à emissão do cladódio secundário (Lima et al., 2021)

Notou-se efeito significativo ( $P>0,05$ ) das épocas de avaliação no número de cladódios primários e secundários, que apresentaram crescimento progressivo ao longo dos meses, com pouca variação a partir do mês de junho (Tabela 8), onde não foram mais vistas diferenças estatísticas significativas. Não sendo observadas diferenças estatísticas expressivas no crescimento dos cladódios terciários, possivelmente devido a sua fenofase. Contudo, a partir do mês de junho recomenda-se ao produtor, a realização de um primeiro corte e fornecimento aos animais no cocho, pela estabilização do crescimento dos cladódios primários e secundários.

Entre os meses de março e abril houve maior porcentagem de crescimento para altura (14,65 %), largura (15,82 %) e espessura (18,36 %) dos cladódios primários, podendo ser explicado pelas maiores precipitações observadas nesses meses, 173,40 mm em março e 97,20 mm em abril (Figura 8), esse período também condiz com os quatro meses após o plantio, que ocorre o enchimento ou maior crescimento da planta. Situação semelhante aconteceu nos cladódios secundários, que entre os meses de maio e junho apresentaram maior porcentagem de crescimento para altura (28,41 %) e largura (27,58 %), também podendo ser compreendida pelas altas precipitações ocorridas nesses meses com 65,60 e 84,90 mm, respectivamente.

Houve efeito de interação entre os fatores frequência de irrigação e época de avaliação para altura e espessura do cladódio primário, assim como para altura e largura do cladódio secundário, não apresentando interação entre os demais fatores avaliados (Tabela 8).

A composição química dos cladódios primários, secundários e terciários não apresentaram diferença significativa estatística ( $P>0,05$ ) para as frequências de irrigação (Tabela 10). Possivelmente deve estar relacionado a composição química da palma entre as variedades, épocas do ano e tratos culturais (Almeida, 2012). Portanto a similaridade na composição química pode ser pelas palmas pertencerem a mesma variedade, além de cortadas e analisadas na mesma época e apresentarem tratos culturais semelhantes.

**Tabela 10.** Médias da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CHOT) dos cladódios de palma irrigada nas frequências de 7 e 28 dias no primeiro ciclo

Primárias			
Variáveis	7 dias	28 dias	Valor de P
MS	11,71±1,21a	10,71±1,13a	0,2740
MO	87,42±0,41a	86,41±1,60a	0,2672
MM	12,58±0,41a	13,59±1,60a	0,2672
PB	7,22±0,45a	7,08±1,17a	0,4697
EE	1,92±0,24a	1,71±0,44a	0,4375
FDN	51,09±9,74a	51,91±8,27a	0,9018
FDA	12,57±3,63a	9,55±1,94a	0,1917
CNF	27,19±10,22a	25,08±10,43a	0,7821
CHOT	78,28±0,75a	76,99±2,62a	0,3818
Secundárias			
MS	9,72±1,85a	10,28±1,54a	0,6550
MO	86,99±1,84a	87,65±0,97a	0,5521
MM	13,01±1,84a	12,36±0,97a	0,5521
PB	7,82±0,16a	8,76±2,51a	0,4859
EE	1,96±0,14a	1,51±0,14b	0,0039
FDN	42,35±9,17a	48,25±10,19a	0,4221
FDA	8,99±3,40a	9,46±1,37a	0,8051
CNF	34,87±10,01a	29,14±10,36a	0,4566
CHOT	77,21±1,65a	77,39±2,55a	0,9107
Terciárias			
MS	9,19±1,92a	9,85±1,92a	0,6411
MO	88,47±0,80a	88,93±1,38a	0,5829
MM	11,54±0,80a	11,07±1,38a	0,5829
PB	9,30±1,86a	9,70±2,05a	0,7836
EE	1,67±0,16a	1,48±0,25a	0,2404
FDN	48,28±5,28a	40,64±6,63a	0,1217
FDA	9,84±1,50a	8,42±1,50a	0,2316
CNF	29,23±5,00a	37,12±8,91a	0,1733
CHOT	77,50±2,70a	77,76±2,36a	0,8904

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste de t ao nível de 5% de probabilidade

Os valores de matéria seca (MS) estiveram dentro do considerado adequado para palma forrageira, de 9,40 a 12,30 % (Tabela 11) (Monteiro et al., 2019; Conceição et al., 2018; Silva et al., 2018; Barros et al., 2017). A matéria orgânica (MO), que é o conjunto de compostos nitrogenados e não nitrogenados do alimento também estiveram dentro do adequado, de 77,61 a 91,40 % (Monteiro et al., 2019; Peixoto et al., 2018; Conceição et al., 2018; Silva et al., 2018; Barros et al., 2017).

**Tabela 11.** Valores de referência para matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (Pb), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CHOT) em palma forrageira variedade Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia Stricta* Haw)

Referências	MS	MO	MM	PB	EE	FDN	FDA	CNF	CHOT
Monteiro et al. (2019)	12,30	91,40	-	5,50	-	25,90	-	55,00	-
Peixoto et al. (2018)	-	77,61	13,70	5,15	1,22	-	18,53	-	79,90
Conceição et al. (2018)	10,55	80,25	-	5,55	1,21	29,16	-	40,67	-
Silva et al. (2018)	9,40	88,12	-	6,00	1,27	26,20	-	54,73	-
Barros et al. (2017)	12,20	86,90	-	5,10	1,60	25,70	-	52,80	-

A matéria mineral (MM) ou cinzas, que é o teor de minerais contidos na palma forrageira, estiveram dentro da média para palma forrageira, que é de 13,70 % (Peixoto et al., 2018). Para proteína bruta (PB), obteve-se média mais elevada do que a média citada em outros artigos, de 5,10 a 6,00 % (Monteiro et al., 2019; Peixoto et al., 2018; Conceição et al., 2018; Silva et al., 2018; Barros et al., 2017), provavelmente devido ao maior aporte hídrico e adubação de fundação utilizada na presente pesquisa. Assim como a fibra em detergente neutro (FDN), constituída basicamente por celulose que esteve acima da faixa citada para a palma de 25,90 a 29,16 % (Peixoto et al., 2018; Conceição et al., 2018; Silva et al., 2018; Barros et al., 2017).

A fibra em detergente ácido (FDA), porção menos digestível da parede celular das forrageiras pelos microrganismos do rúmen, constituída quase na sua totalidade por lignocelulose, esteve dentro da média de até 18,53 % (Peixoto et al., 2018). Os carboidratos não fibrosos dentro da faixa adequada para palma forrageira, de 40,67 a 55,00 % (Monteiro et al., 2019; Conceição et al., 2018; Silva et al., 2018; Barros et al., 2017) e, os carboidratos totais (CHOT) dentro do adequado de até 79,90 % (Peixoto et al., 2018).

O extrato etéreo (EE) não apresentou o mesmo comportamento dos demais, sendo que esta variável representa parte da fonte de energia do alimento, importante para o crescimento e para a agregação de vitaminas, além de tornar o alimento mais palatável aos animais,

apresentando diferença significativa estatística ( $P < 0,05$ ) nos cladódios secundários, apresentando-se superior nas plantas irrigadas com frequência de 7 dias em comparação a frequência de 28 dias (Tabela 10), podendo ser justificado pela maior disponibilidade hídrica fornecida a palma irrigada a cada 7 dias e pelo maior aporte de radiação recebido pelos cladódios secundários quando comparado aos primários e terciários, uma vez que as condições edafoclimáticas podem alterar a composição bromatológica e, cladódios mais jovens apresentam menor teor de EE (Alves et al., 2017).

### **Conclusões**

A morfometria da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana é alterada em decorrência da frequência de irrigação, apresentando maior número, altura, largura e espessura dos cladódios sob irrigação semanal no primeiro ciclo e na rebrota, no entanto, com exceção do extrato etéreo, as frequências de irrigação não afetaram os componentes bromatológicos da forrageira no primeiro ciclo.

### **Referências**

Almeida, R. F. Palma forrageira na alimentação de ovinos e caprinos no Semiárido brasileiro. **Revista Verde**, v.7, n.4, p.08-14, 2012

Alves, F. A. L.; Andrade, A. P.; Bruno, R. L. A.; Santos, D. C.; Magalhães, A. L. R.; Silva, D. S. Chemical and nutritional variability of cactus pear cladodes, genera *Opuntia* and *Nopalea*. **American Journal of Food Technology**. v.12, n.1, p.25-34, 2017. <https://doi.org/10.3923/ajft.2017.25.34>

AOAC, 1990, Association of Official Analytical Chemists, 'Official methods of analysis', 15.ed. Washington: AOAC, 1298p

Bacalhau, J. R.; Ribeiro Neto, A.; Oliveira, L. M. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.3, p.283-293, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1449.283-293>

Barros, L. J. A.; Ferreira, M. A.; Oliveira, J. C. V.; Santos, D. C.; Chagas, J. C. C.; Alves, A. M. S. V.; Freitas, W. R. Replacement of Tifton hay by spineless cactus in Girolando post-weaned heifers' diets. **Tropical Animal Health and Production**, v.50, n.1, p.149-154, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1415-4>

Bernardo, S. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995

Bezerra, B. G.; Araújo, J. S.; Pereira, D. D.; Laurentino, G. Q.; Silva, L. L. D. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.755-761, 2014.

Cavalcante, A. B.; Leite, M. L.M. V.; Pereira, J. S.; Lucena, L. R. R. Crescimento de palma forrageira em função da cura de segmentos dos cladódios. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.11, n.5, p.15-20, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700013>

Conceição, M. G.; Ferreira, M. A.; Silva, J. L.; Costa, C. T. F.; Chagas, J. C. C.; Monteiro, C. C. F. Can cactus (*Opuntia stricta* [Haw.] Haw) cladodes plus urea replace wheat bran in steers' diet? **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v.31, n.10, p.1627-1634, 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0927>

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, n.8, p.680-690, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589)

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. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1170.98-106>

Dantas Neto, J.; Matos, R. M.; Silva, P. F.; Lima, A. S.; Azevedo, C. A. V.; Saboya, L. M. F. Growth and yield of cactus pear under irrigation frequencies and nitrogen fertilization. **Revista**

**Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.24, n.10, p.664-671, 2020.  
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n10p664-671>

Donato, S. L. R.; Silva, J. A.; Donato, P. E. R.; Rodrigues, M. G. V.; Rufino, L. D. A.; Silva Júnior, A. A. **Exigências nutricionais e manejo de adubação em palma forrageira**. Informe Agropecuário, v.38, n.296. Belo Horizonte - MG: EPAMIG, 2017.

Embrapa - National Soil Research Center. 2013. Brazilian system of soil classification. Embrapa, Brasília, Brazil.

Felix, S. C. R.; Pessoa, R. A. S.; Ferreira, M. A.; Soares, L. F. P.; Silva, J. L.; Abreu, K. S. F; Melo, A. C. C. Intake, performance, and carcass characteristics of lambs fed spineless cactus replacing wheat bran. **Tropical Animal Health and Production**, v.48, n.2, p.1-7, 2016.  
<https://doi.org/10.1007/s11250-015-0969-2>

Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M.; Santos, D.; Matos, R. M. M. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.

Lima, G. F. da C.; Rego, M. M. T.; Dantas, F. D. G.; Lôbo, R. N. B.; Silva, J. G. M. da; Aguiar, E. M. de. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, v.29, p.481-488, 2016.  
<http://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n226rc>

Lima, A. S.; Silva, P. F.; Matos, R. M.; Dantas Neto, J.; Saboya, L. M. F.; Almeida, H. A. Consumo hídrico e exigência térmica da palma forrageira em ambiente Semiárido. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 110-128, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n1p110-128>

Inmet (2019) Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 03 de jan. 2019.

Lopes, E. B.; Brito, C. H.; Albuquerque, I. C.; Batista, J. L. Efeito de formas de plantio na produção de cladódios em palma doce. **Engenharia Ambiental**, v.6, n.1, p.303-308, 2009.

Marques, O. F. C.; Gomes, L. S. P.; Mourthé, M. H. F.; Braz, T. G. S.; Pires Neto, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciência Agrária**, v.9, n.1, p.75-93, 2017.

Matos, L. V.; Donato, S. L. R.; Silva, B. L.; Kondo, M. K.; Lani, J. L. Structural characteristics and yield of 'gigante' cactus pear in agroecosystems in the semi-arid region of Bahia, Brazil. **Revista Caatinga**, v.33, n.4, p.1111-1123, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n426rc>

Menezes, R. S. C.; Simões D. A.; Sampaio, E. V. S. B. A palma do Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. 258p.

Monteiro, C. C. F.; Ferreira, M. A.; Veras, A. S. C.; Guido, S. I.; Almeida, M. P.; Silva, R. C.; Inácio, J. G. A new cactus variety for dairy cows in areas infested with *Dactylopius opuntiae*. **Animal Production Science**, v.59, n.3, p.3-8, 2019. <https://doi.org/10.1071/AN17256>

Monteiro, C. C. F.; Melo, A. A. S.; Ferreira, M. A. F.; Campos, J. M. S.; Souza, J. S. R.; Silva, E. T. S.; Andrade, R. P. X.; Silva, E. C. Replacement of wheat bran with spineless cactus (*Opuntia ficus indica* Mill cv *Gigante*) and urea in the diets of Holstein×Gyr heifers. **Tropical Animal Health and Production**, v.46, n.7, p.1149 - 1154, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0619-0>

Nascimento, R. R.; Edvan, R. L.; Amorim, D. S.; Araújo, J. A.; Silva, A. L.; Sousa, S. V.; Nascimento, K. S.; Barros, L. S.; Tomaz, J. L. S. Métodos de cultivo de mudas de três variedades de palma forrageira. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.5, p.32689-32697, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-640>

Nogueira de Sá, M. K.; Andrade, A. P.; Magalhães, A. L. R.; Valença, R. L.; Campos, F. S.; Araújo, F. S.; Araújo, G. G. L. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, p.1-12, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>

Nunes, J. S. L.; Silva, T. G. F.; Souza, L. S. B.; Jardim, A. M. R. F.; Alves, H. K. M. N.; Cruz Neto, J. F.; Leite, R. M. C.; Pinheiro, A. G. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v.27, n.2, p.367-375, 2019. <https://doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26449>

Nunes, J. S. L.; Salvador, K. R. S.; Jardim, A. M. R. F.; Araújo Júnior, G. N.; Caralho, A. A.; Souza, L. S. B.; Montenegro, A. A. A.; Silva, T. G. F. Índices morfofisiológicos e biofísicos da palma forrageira cultivada sob tecnologias hídricas na bacia do Rio Pajeú. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.5, n.1, p.128-139, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>

Oliveira, J. P. F.; Ferreira, M. A.; Alves, A. M. S. V.; Melo, A. C. C.; Andrade, I. B.; Urbano, S. A.; Suassuna, J. M. A.; Barros, L. J. A.; Melo, T. T. B. Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v.31, n.4, p.529-536, 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0375>

Peixoto, M. J. A.; Carneiro, M. S. S.; Amorim, D. S.; Edvan, R. L.; Pereira, E. S.; Costa, M. R. G. F. Características agronômicas e composição química da palma forrageira em função de diferentes sistemas de plantio. **Archivos de Zootecnia**, v.67, n.257, p.35-39. 2018. <https://doi.org/10.21071/az.v67i257.3489>

Pereira, P. de C.; Silva, T. G. F. da; Zolnier, S.; Morais, J. E. F. de Santos, D. C. dos. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v.28, p.184-195, 2015. <http://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>

Pereira, J. S.; Cavalcante, A. B.; Nogueira, G. H. M. S.M. F.; Campos, F. S.; Araújo, g. G. L.; Simões, W. L.; Voltolini, T. V. Morphological and yield responses of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana under different cutting intensities. **Revista Brasileira de Saúde Produção Animal**, v.21, n.1, p.1-10, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1519-99402121142020>

Pereira, J. S.; Cavalcante, A. B.; Simões, W. L.; Voltolini, T. V. Forage yield, structural responses and chemical composition of spineless cactus Orelha de Elefante Mexicana in different water depths and irrigation frequencies. **Ciência Rural**, v.51, n.5, p.1-7, 2021. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200324>.

Queiroz, M. G.; Sila, 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. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>

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

Rodriguez, R. D. G.; Singh, V. P.; Pruski, F. F.; Calegario, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v.7, n.1, p.2096-2109, 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Santos, M. R.; Silva, A. J. P.; Fonseca, V. A.; Campos, A. R. F.; Lisboa, M. A. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v.38, n.296, p.76-90, 2017.

Sas Institute. 2002. SAS system for Windows. Cary: SAS Institute inc.

Scalisi, A.; Morandi, B.; Inglese, P.; Bianco, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v.122, n.1, p.158-167, 2016.

Silva, N. G. M.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Dubeux Junior, J. C. B.; Mello, A. C. L.; Silva, M. C. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira. **Brazilian Journal of Animal Science**, v.39, n.11, p.2389-2397, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001100011>

Silva, L. M. da; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; Rangel, J. H. de A.; Moreira, A. L.; Backes, A. C. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>.

Silva, T. G. F., Araújo Primo, J. T., Morais, J. E. F., Diniz, W. J. S., Souza, C. A. A., Silva, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no Semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, n.2, p.1018, 2015.

Silva, M. A. V.; Ferreira, W. M. P.; Andrade, V. M. S.; Costa, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BR 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.39, n.3, p.383-394, 2016. <https://doi.org/10.19084/RCA15117>

Silva, V. P. R.; Silva, R. A.; Maciel, G. F.; Braga, C. C.; Silva Junior, J. L. C.; Souza, E. P.; Almeida, R. S. R.; Silva, M. T.; Holanda, R. M. Calibration and validation of the AquaCrop model for the soybean crop grown under different levels of irrigation in the Motopiba region, Brazil. **Ciência Rural**, v.48, n.1, p.1-8, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161118>

Silva, A. S.; Santo, E. M.; Ramos, J. P. F.; Perazzo, A. F.; Muniz, A. C. S.; Santos, F. N. S.; Pereira, D. M.; Cruz, G. F. L. Características agronômicas de variedades de *Opuntia cochenillifera* e *Nopalea cochenillifera* sob diferentes densidades de plantio. **Colloquium Agrariae**, v.15, n.6, p.88-96, 2019. <https://doi.org/10.5747/ca.2019.v15.n6.a340>

Silva, A. P.; Souza, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no Semiárido. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.4, p.20048-20057, 2020.

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: III Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semi-árido, Petrolina, Anais... Embrapa Semi-Árido, 2008.

Souza, D. C. F. de; Lima, I. da S.; Santana, J. A.; Almeida, A. Q. de; Gonzaga, M. I. da S.; Santana, J. F. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*opuntia* sp.) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.1, p.2338-2347, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n100715>

Van Soest, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

Xavier, M. A.; Batista, M. C.; Santos, J. P. O.; Silva, J. L. C.; Cartaxo, P. H. A.; Reges, R. S.; Pereira, D. D. Caracterização biométrica de cladódios de *Opuntia stricta* submetida a lâminas de irrigação e adubação orgânica no Semiárido paraibano. **Revista Agrarian**, v.13, n.47, p.74-81, 2020. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i47.9206>

### **CAPÍTULO III**

-

### **FISIOLOGIA DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVAR ORELHA DE ELEFANTE MEXICANA SOB DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO NO AGRESTE PARAIBANO**

## **Fisiologia da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

**Resumo:** Objetivou-se com o presente estudo avaliar as variáveis fisiológicas da palma forrageira, cultivar Orelha de Elefante Mexicana no primeiro ciclo e na rebrota, sob diferentes frequências de irrigação por gotejamento, cultivadas na mesorregião do Agreste paraibano. Para tanto, utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com 2 tratamentos (I7– frequência de irrigação de 7 dias e I28 – frequência de irrigação de 28 dias) e 4 repetições (número de blocos), sendo cada tratamento repetido 3 vezes dentro do bloco (triplicata) totalizando 24 parcelas experimentais. Para as variáveis fisiológicas do primeiro ciclo e da rebrota os dados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*), do SAS® (2002). A palma apresentou maior concentração interna de CO<sub>2</sub>; taxa de captação de CO<sub>2</sub>; eficiência instantânea de uso da água; eficiência intrínseca de uso da água; eficiência instantânea de carboxilação em frequência de irrigação a cada 7 dias, tanto no primeiro ciclo como no período de rebrota, porém não foram observadas alterações na taxa respiratória e condutância estomática entre as frequências nos dois ciclos, indicando que essa cultivar possui boa adaptação ao ambiente Semiárido em decorrência da maior eficiência na utilização da água.

**Palavras chave:** Bem-estar vegetal; cactácea; déficit hídrico; estresse abiótico; forrageira.

### **Introdução**

A região Semiárida é caracterizada por possuir baixa pluviosidade, distribuição irregular de chuvas e longos período de estiagem, neste sentido, palma forrageira possui vantagens fisiológicas para adaptar-se a esta região, apresentando rusticidade, adaptabilidade e elevada eficiência na utilização de água quando submetida ao estresse hídrico, comumente cultivada em sequeiro (Rodriguez et al., 2015; Rodrigues al., 2016; Bacalhau et al., 2017).

Diversos fatores podem influenciar na produtividade da palma forrageira, como a fertilidade do solo, pluviosidade, densidade de plantio, ataque de pragas e as doenças, podendo a produtividade ser mais elevada nas plantas adubadas ou irrigadas, uma vez que o baixo volume de água pode promover alterações na dinâmica de crescimento da planta em relação à palma cultivada em sequeiro, aumentando o rendimento, qualidade e produtividade desta

forrageira (Consolli et al., 2013; Silva et al. 2014; Queiroz et al., 2015; Lima et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017; Marques et al., 2017; Rocha et al. 2017).

A eficiência na utilização da água na palma é pela sua forma de assimilação do CO<sub>2</sub>, através do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), onde abre os estômatos no período da noite em temperaturas amenas, com intuito de capturar e fixar o CO<sub>2</sub> e, durante o dia com os estômatos fechados e com temperaturas elevadas, incorpora o CO<sub>2</sub>, evitando a perda de água e aumentando sua utilização, tornando-se possível sua produção em regiões áridas e semiáridas, servindo de alimentação para ruminantes (Rodrigues al., 2016; Taiz et al., 2017).

Quando ocorre maior disponibilidade de água, como na palma irrigada, pode haver uma transição gradual do metabolismo CAM para o metabolismo C3, onde a cultura atua como CAM facultativa, abrindo seus estômatos nas primeiras horas da manhã em condições ambientais propícias. (Winter et al., 2011; Liguori et al., 2013; Taiz et al., 2017).

Assim, objetivou-se com o presente estudo avaliar as variáveis fisiológicas da palma forrageira, cultivar Orelha de Elefante Mexicana no primeiro ciclo e na rebrota, sob diferentes frequências de irrigação por gotejamento, cultivada na mesorregião do Agreste paraibano.

## **Material e Métodos**

### ***Caracterização da área experimental***

O experimento transcorreu na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande - PB, mesorregião do Agreste paraibano, cujas coordenadas são latitude Sul 07° 14' 00'' e longitude Oeste 35° 57' 00'', com altitude de 491 m, e o clima da região classificado como As de acordo com a classificação de Koppen (Francisco et al., 2015).

### ***Solo da área experimental***

De acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2013), o solo da área experimental é classificado como Planossolo haplico e, para sua análise foram coletadas 15 amostras simples em diferentes pontos, nas profundidades de 0 a 20 cm (Santos et al., 2017), que passaram pela homogeneização, resultando uma única amostra, acondicionada em saco plástico devidamente identificadas e encaminhada ao

Laboratório de Irrigação e Salinidade, da Universidade Federal de Campina Grande para a realização da caracterização físico-química do solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo

Características Químicas		Características Físicas	
Ca (meq/100g de solo)	1,85	Areia (%)	82,16
Mg (meq/100g de solo)	2,54	Silte (%)	16,08
Na (meq/100g de solo)	0,17	Argila (%)	1,76
K (meq/100g de solo)	0,49	Textura	Areia Franca
S (meq/100g de solo)	5,05	DS (g/cm <sup>3</sup> )	1,34
H (meq/100g de solo)	0,40	DP g/cm <sup>3</sup>	2,68
Al (meq/100g de solo)	0,24	Porosidade %	50,00
T (meq/100g de solo)	5,69	<b>Umidade (% base solo seco)</b>	
CCQ	Ausência	Natural	0,54
CO %	0,78	0,10 atm	
MO %	1,34	0,33 atm	13,01
N %	0,08	1,00 atm	
P assimilável mg/100g	0,18	5,00 atm	
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	5,57	10,0 atm	
pH KCl (1:2,5)		15,0 atm	5,62
CE – mmhos/cm (Suspensão Solo-Água)	0,16	AD	7,39
pH (Extrato de saturação)	5,05		
CE – mmhos/cm (Extrato de Saturação)	0,59		
Cloreto (meq/l)	3,75		
Carbonato (meq/l)	0,00		
Bicarbonato (meq/l)	0,40		
Sulfato (meq/l)	Ausência		
Ca (meq/l)	2,00		
Mg (meq/l)	1,25		
K (meq/l)	0,55		
Na (meq/l)	2,40		
Percentual de saturação	21,66		
Relação de adsorção de sódio	1,88		
PSI	2,99		
Salinidade	Não salino		
Classe de solo	Normal		

Ca – cálcio; Mg – magnésio; Na – sódio; K – potássio; S – enxofre; H – hidrogênio; Al – alumínio; CCQ – carbonato de cálcio qualitativo CO - Carbono orgânico; MO - matéria orgânica; N – nitrogênio; P – fósforo; CE – condutividade elétrica; DS – densidade do solo; DP - Densidade de partículas; AD - Água disponível

Antes da implantação das culturas o solo foi submetido aos processos de aração e gradagem e, após as análises foram realizadas as adubações, utilizando 200 kg de uréia, 40 kg de fosfato monoamônico (MaP) e 60 kg de cloreto de potássio granulado, distribuídos de forma homogênea na área.

### **Água de irrigação**

A análise da água de irrigação foi realizada no laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, classificada como C1, que corresponde a uma água de baixa salinidade (Bernardo, 1995)

### ***Cultivar utilizada e forma de plantio***

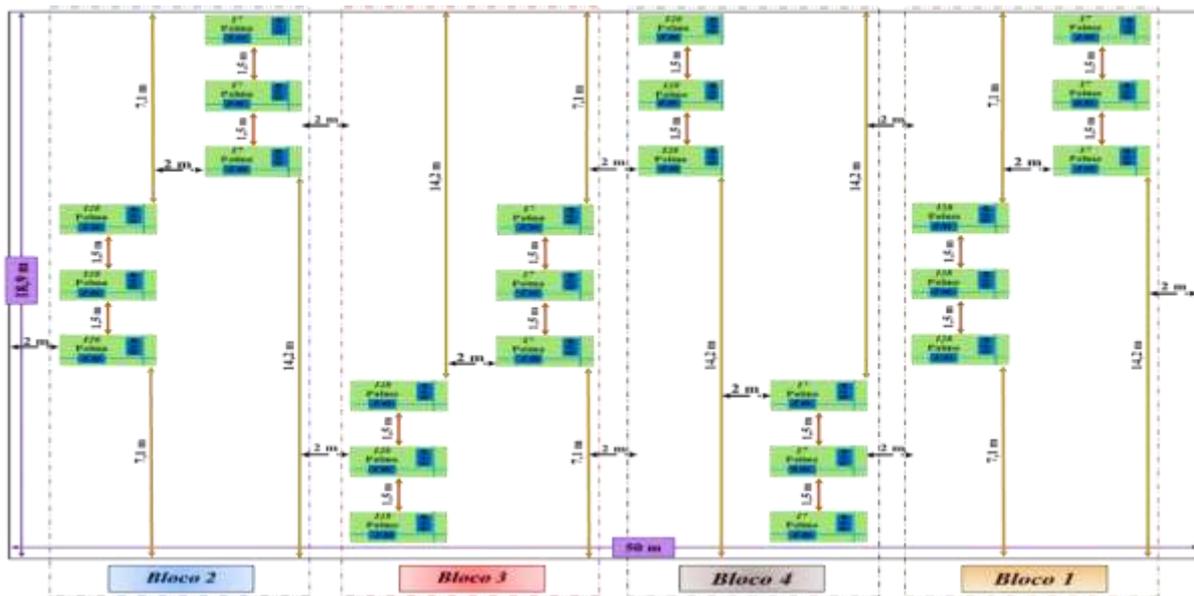
Foram utilizadas raquetes de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, provenientes do INSA e isentas de infestações por pragas e doenças, as quais passaram pelo período de cura de sete dias à sombra, para que os cladódios perdessem parte da umidade e ocorresse a cicatrização das lesões provocadas pelo corte no campo, sendo o plantio realizado em sulco com alinhamento bilateral (Dominó).

### ***Delineamento experimental e tratamentos***

O período experimental foi de 17 meses, compreendendo o primeiro ano do ciclo da palma forrageira (janeiro a dezembro de 2020) e os cinco primeiros meses da rebrota, segundo ano do ciclo da palma (de janeiro a maio de 2021). O delineamento experimental em blocos casualizados (DBC) com 2 tratamentos (I7 – frequência de irrigação a cada 7 dias e I28 – frequência de irrigação a cada 28 dias) e 4 repetições (número de blocos), em que cada tratamento repetido 3 vezes dentro do bloco (triplicata) totalizando 24 parcelas experimentais.

A área plantada foi de 57,6 m<sup>2</sup> e área total de 945 m<sup>2</sup> (18,9 m x 50 m) (Figura 1). A área plantada possuía um total de 432 plantas, sendo 216 irrigadas em frequência de 7 dias em 28,8 m<sup>2</sup>, ocorrendo o mesmo para as irrigadas a cada 28 dias.

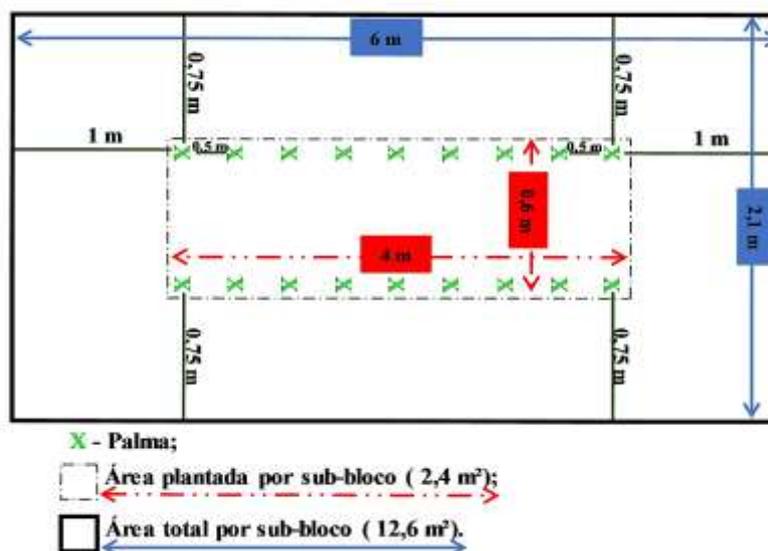
**Figura 1.** Distribuição total dos blocos experimentais



I7 - Irrigado a cada 7 dias; I28 - Irrigado a cada 28 dias.

Cada parcela experimental era composta por uma fileira dupla com 18 plantas, sendo 9 por fila, possuindo 2,4 m<sup>2</sup> de área plantada, o espaçamento entre fileira foi de 0,6 m e de 0,5 m entre plantas, com 4 m de comprimento, 0,75 m de bordadura nas laterais e de 1 m de bordaduras superiores e inferiores, com área total por parcela experimental, considerando as bordaduras de 12,6 m<sup>2</sup> (Figura 2).

**Figura 2.** Distribuição da área total e plantada por sub-bloco



### Manejo de irrigação

A irrigação se deu por gotejamento, com gotejadores do tipo GA 4, distribuídos em linhas próximas as plantas a cada 0,5 m e a mangueira utilizada como tubulação possuía 17 mm de diâmetro interno, no período da tarde entre 15:00 e 16:30 h.

O manejo de irrigação para as palmas irrigadas a cada 7 dias aconteceu por meio da lâmina fixa semanal de 8,74 mm, o que corresponde a 35,96 mm mês<sup>-1</sup>, sendo este complemento da precipitação semanal, ou seja, caso houvesse chovido o volume igual ou superior ao necessário descartava-se a irrigação semanal, caso contrário realizava-se a mesma. Para as parcelas experimentais irrigadas a cada 28 dias utilizava-se o volume de 8,74 mm sendo este distribuído a cada 28 dias.

### *Análises fisiológicas*

Foram determinadas as variáveis fisiológicas de trocas gasosas na palma forrageira, condutância estomática (gs) (mol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa transpiratória (E) (mmol de H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>), taxa de captação de CO<sub>2</sub> (A) (μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) e concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) (μmol de CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup>). Com base nos dados, calculou-se a eficiência instantânea de uso da água (EUA), relacionando à taxa de captação de CO<sub>2</sub> com a transpiração (A/E), a eficiência intrínseca de uso da água (EIUA), pela relação entre taxa de captação de CO<sub>2</sub> e a condutância estomática (A/gs), além da eficiência instantânea de carboxilação (Eci), relacionando a taxa de captação de CO<sub>2</sub> com a concentração interna de carbono (A/Ci).

As determinações das trocas gasosas ocorreram nos meses de dezembro de 2020 para o primeiro ciclo e em maio de 2021 para a rebrota, entre às 21:00 e 00:00 horas, conforme metodologia de Nobel (2001), devido a palma forrageira ser regida pelo metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), sua captação de CO<sub>2</sub> ser mais intensa neste intervalo. As aferições aconteceram nas plantas sob frequência de irrigação de 7 e 28 dias, sendo escolhida aleatoriamente uma planta em cada sub-bloco, totalizando 12 plantas irrigadas a cada 7 e 12 a cada 28 dias, nos quatro blocos experimentais. As leituras foram realizadas em um cladódio maduro por planta, caracterizado por sustentar um ou mais cladódios jovens.

Para realização das avaliações utilizou-se um analisador portátil de gás por infravermelho (IRGA) (modelo LI-COR 6400-XT, Lincon, USA) e pinça adaptada para palma forrageira (Figura 3). O protocolo com o IRGA foi: RFA (radiação fotossinteticamente ativa) desligada; umidade relativa do ar entre 50 – 60 %; fluxo de ar de 200 μmol s<sup>-1</sup> e concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico de 400 μmol mol<sup>-1</sup>, com a dimensão da câmara foliar de 6,25 cm<sup>2</sup>.

**Figura 3.** Pinça adaptada para análise fisiológica da palma forrageira



### *Análise estatística*

Para as variáveis fisiológicas do primeiro ciclo e da rebrota foram utilizadas duas frequências de irrigação (7 e 28 dias), os dados obtidos avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*), do SAS® (2002).

## Resultados e Discussão

No primeiro ciclo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, no mês de dezembro de 2020 (Tabela 2) e na rebrota em maio de 2021, as temperaturas apresentaram-se dentro da faixa adequada para palma forrageira, que é de 18 a 32 °C (Bezerra et al., 2014), possuindo influência direta na fotossíntese e, nos demais processos fisiológicos e bioquímicos das plantas (Silva et al., 2016; Souza et al., 2018).

**Tabela 2.** Dados meteorológicos dos dias de análise fisiológica

	TA (°C)	UR (%)	Vv (m s <sup>-1</sup> )	I (h)	P (mm)
03/12/2020	23,9	84,2	4,1	5,2	0,6
31/05/2021	22,3	93,9	2,5	3	3,2

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.

TA (°C) – Temperatura média do ambiente; UR (%) - Umidade relativa média; Vv (m s<sup>-1</sup>) - Velocidade do vento; I (h) - Insolação; P (mm) - Precipitação.

A umidade relativa do ar (UR, %), variável que atua no desenvolvimento das plantas apresentou-se superior ao preconizado para as palmas forrageiras, tanto na avaliação de primeiro ciclo como na rebrota (Tabela 2), de 37,3 e 63,1 % de acordo com Souza et al. (2008). A velocidade do vento (Vv, m s<sup>-1</sup>), variável que pode afetar as taxas de evapotranspiração da palma forrageira apresentou-se mais elevada no mês de dezembro na avaliação fisiológica do primeiro ciclo, encontrando-se acima do preconizado para essas forrageiras que é de 1 a 3 m s<sup>-1</sup> (Silva et al., 2020). Enquanto que no mês de avaliação fisiológica da rebrota a Vv se apresentou dentro da faixa considerada adequada para esta forrageira.

A precipitação (P, mm) mostrou-se mais baixa no mês de dezembro (Tabela 2), na avaliação da fisiologia do primeiro corte e mais alta na avaliação fisiológica da rebrota, considerada dentro da faixa preconizada para a palma, que é entre 368,4 e 812,4 mm ano<sup>-1</sup> (Souza et al., 2008). Na região semiárida os meses que tiveram menores níveis pluviométricos são aqueles com velocidade de vento mais intensa (Silva et al., 2015; Silva et al., 2020), o que ocorreu no mês de dezembro na análise da fisiologia do primeiro ciclo da palma.

Enquanto que a insolação (I, h) variável associada ao metabolismo clorofiliano (Lima Junior et al., 2005; Belúcio et al., 2014; Silva et al., 2016) se manifestou mais elevada no mês de dezembro (Tabela 2) e inferior no mês de análise fisiológica da rebrota.

A concentração interna de CO<sub>2</sub> (Ci) apresentou-se mais elevada (P<0,05) nas palmas forrageiras com maior frequência de irrigação, sendo 2,94 % superior no primeiro ciclo

(Tabelas 3) e 2,69 % superior na rebrota (Tabelas 4). De acordo com Taiz et al. (2017) as palmas submetidas as menores frequência de irrigação tendem a reduzir a abertura dos estômatos e, conseqüentemente, a concentração interna de CO<sub>2</sub>, todavia, estiveram dentro da concentração considerada adequada para palma forrageira cultivadas no Semiárido, que deve ser superior a 249,0 μmol de CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> (Souza et al., 2020; Alves et al., 2020; Silva, 2019).

**Tabela 3.** Análise Fisiológica das palmas irrigadas aos 7 e 28 dias

Variáveis	7 dias	28 dias	Valor de P
Ci (μmol de CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> )	388,50±2,50a	377,08±4,36b	<.0001
E (mmol de H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1,12±0,13a	1,18±0,17a	0,2819
Gs (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0,20±0,02a	0,20±0,02a	0,7426
A (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	2,05±0,41a	0,95±0,29b	<.0001
EUA (A/E)	1,87±0,51a	0,82±0,28b	<.0001
EIUA (A/gS)	10,00±1,69a	4,67±1,35b	<.0001
Eci (A/ci)	0,005±0,001a	0,002±0,0008b	<.0001

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste t

Ci- concentração interna de CO<sub>2</sub>; E - taxa respiratória; gs - condutância estomática; A - taxa de captação de CO<sub>2</sub>, EUA (A/E) - eficiência instantânea de uso da água, EIUA (A/gS) - eficiência intrínseca de uso da água, Eci (A/Ci) - eficiência instantânea de carboxilação;

**Tabela 4.** Variáveis Fisiológicas da rebrota da palma forrageira irrigada a cada 7 e 28 dias

Variáveis	Irrigação (dias)		Valor de P
	7	28	
Ci	391,00±7,27a	380,50±5,66b	0,0007
E	0,64±0,15a	0,59±0,10a	0,4140
Gs	0,09±0,03a	0,08±0,01a	0,2932
A	0,91±0,41a	0,49±0,16b	0,0030
EUA	1,41±0,48a	0,83±0,26b	0,0011
EIUA	10,39±3,28a	5,34±3,27b	0,0011
Eci	0,002±0,001a	0,001±0,0004b	0,0027

Letras diferentes na linha diferem entre si pelo teste t

Ci- concentração interna de CO<sub>2</sub>; E - taxa respiratória; gs - condutância estomática; A - taxa de captação de CO<sub>2</sub>, EUA (A/E) - eficiência instantânea de uso da água, EIUA (A/gS) - eficiência intrínseca de uso da água, Eci (A/Ci) - eficiência instantânea de carboxilação;

As concentrações internas de CO<sub>2</sub> acima de 377,0 μmol de CO<sub>2</sub> mol<sup>-1</sup> podem ser consideradas elevadas, podendo ser justificadas pelo fato dessas plantas apresentarem taxa de fotossíntese líquida (A) abaixo de 3,09 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, momento em que uma menor quantidade de CO<sub>2</sub> está sendo fixada na etapa de carboxilação (Silva, 2019), corroborando com a presente pesquisa, já que essa taxa esteve menor que 3,09 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> para as frequência de 7 e 28 dias.

As taxas respiratórias (E) e condutância estomática (gs), que é a respiração e a perda de água através do cladódio, respectivamente, foram similares ( $P > 0,05$ ) entre as palmas nos tratamentos com 7 e 28 dias de frequência de irrigação, tanto para o primeiro ciclo como para a rebrota (Tabela 3 e 4).

A taxa de captação de  $\text{CO}_2$  foi 53,66 % superior nas palmas irrigadas com frequência de irrigação de 7 dias no primeiro ciclo (Tabela 3) e 7,819% no período da rebrota (Tabela 4), possivelmente pela maior concentração  $\text{CO}_2$  existente, que leva a um processo de fotossíntese mais intenso (Nobel, 2001). Essa taxa é resultante do balanço entre os fotoassimilados, compostos produzidos pela fotossíntese e aqueles perdidos na respiração, utilizados como fonte de energia pelas bactérias que fixam o nitrogênio junto às raízes das plantas (Nunes et al., 2020). Os valores obtidos para captação de  $\text{CO}_2$  estiveram dentro da faixa citadas em artigos no Semiárido para palma forrageira, variando de 0,67 a 3,57  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Queiroz et al., 2015; Silva, 2019; Souza et al., 2020; Nunes et al., 2020; Alves et al., 2020).

A eficiência instantânea de uso da água (EUA) foi favorecida nas palmas irrigadas no tratamento com frequência de 7 dias, 56,15% mais elevada no primeiro ciclo (Tabela 3) e 41,13 % no período de rebrota, sendo esta concentração considerada adequada para palma no Semiárido, que é de 0,88 a 2,41 (Souza et al., 2020; Silva, 2019).

A eficiência intrínseca de uso da água (EIUA) no primeiro ciclo da palma foi 53,3 % (Tabela 3) mais elevada no tratamento com frequência de 7 dias e na rebrota 48,60 % superior (Tabela 4), provavelmente pela situação de maior aporte hídrico, estando dentro da faixa considerada adequada para palma no Semiárido, que varia de 4,62 a 10,73 (Silva, 2019; Souza et al., 2020). A quantificação da eficiência do uso de água pela planta é fundamental para se avaliar o quanto de água é perdido no processo de transpiração durante as trocas gasosas e o conhecimento sobre a eficiência de uso da água pelas culturas também é importante para a economia de água, em regiões áridas e semiáridas, tendo em vista a escassez de disponibilidade dos recursos hídricos (Cajazeira et al., 2018).

A eficiência instantânea de carboxilação (Eci) no primeiro ciclo apresentou-se 60 % superior nas palmas irrigadas com frequência de 7 dias, ou seja, dentro da concentração considerada adequada para palma no Semiárido que varia entre 0,004 e 0,008 (Silva, 2019; Souza et al., 2020; Alves et al., 2020). Enquanto que no período de rebrota foi 50 % superior nas palmas irrigadas a cada 7 dias (Tabela 4), encontrando-se abaixo dos observados para palma na região Semiárida.

## Conclusões

A palma apresentou maiores concentração interna de CO<sub>2</sub>; taxa de captação de CO<sub>2</sub>; eficiência instantânea de uso da água; eficiência intrínseca de uso da água; eficiência instantânea de carboxilação em frequência de irrigação a cada 7 dias, tanto no primeiro ciclo como no período de rebrota, porém não foram observadas alterações na taxa respiratória e condutância estomática entre as frequências nos dois ciclos, essa cultivar possui boa adaptação ao ambiente Semiárido em decorrência da maior eficiência na utilização da água.

### Referências

Alves, F. A. L.; Santos, D. C.; Silva, S. M. S.; Oliveira, M. A. B. Photosynthesis and gas exchanges of forage cactus varieties (Opuntia and Nopalea) grown under screen and irrigation. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.25, n.1, p.1-15, 2020. <https://doi.org/10.12661/pap.2020.004>

Bacalhau, J. R.; Ribeiro Neto, A.; Oliveira, L. M. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.3, p.283-293, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1449.283-293>

Belúcio, L. P.; Silva, A. P. N.; Souza, L. R.; Moura, G. B. A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, p.494-504, 2014. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130079>

Bernardo, S. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995

Bezerra, B. G.; Araújo, J. S.; Pereira, D. D.; Laurentino, G. Q.; Silva, L. L. D. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (Opuntia sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.755-761, 2014.

Cajazeira, J. P. Correa, M. C. M.; Almeida, E. I. B.; Queiroz, R. F.; Mesquita, R. O. Growth and gas exchange in white pitaya under different concentrations of potassium and calcium. **Revista Ciência Agronômica**, v.49, n.1, p.112-121, 2018. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180013>

Consoli, S.; Ingles, 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, n.8, p.680-690, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589)

Cruz Neto, J. F.; Morais, J. E. F.; Souza, C. A. A.; Carvalho, H. F. S.; Rodrigues, C. T. A.; Silva, T. G. F. Applicability of agrometeorological indicators for analysis of water increment for irrigation in production systems of cactus forage, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.2, p.98-106, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1170.98-106>

Embrapa - National Soil Research Center. 2013. Brazilian system of soil classification. Embrapa, Brasília, Brazil.

Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M.; Santos, D.; Matos, R. M. M. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.8, n.4, p.1006-1016, 2015.

Inmet (2019) Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 03 de jan. 2019.

Liguori, G.; Inglese, G.; Pernice, F.; Sortino, G.; Inglese, P. CO<sub>2</sub> uptake of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v.8, n.3, p.14-20, 2013. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e3>

Lima, G. F. C.; Rego, 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. <http://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n226rc>

Lima Junior, E. C.; Alvarenga, A. A.; Castro, E. M.; Vieira, C. V.; Oliveira, H. M. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, v.35, n.5, p.1092-1097, 2005.

Marques, O. F. C.; Gomes, L. S. P.; Mourthé, M. H. F.; Braz, T. G. S.; Pires Neto, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.75-93, 2017.

Nobel, P. S. **Biologia ambiental**. In: Barbera, G; Inglese, P.; Pimienta Barros, E. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João Pessoa: FAO, SEBRAE/PB, 2001. p.36-48.

Nunes, J. S. L.; Salvador, K. R. S.; Jardim, A. M. R. F.; Araújo Junior, G. N.; Carvalho, A. A.; Souza, L. S. B.; Montenegro, A. A. A.; Silva, T. G. F. Morphophysiological and biophysical indices of forage cactus cultivated under water technologies in the Pajeú River basin. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.5, n.1, p.128-139, 2020. <https://doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2825.128-139>

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. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>

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

Rodrigues, A. M.; Pitacas, F. I.; Reis, C. M. G.; Blasco, M. Nutritional value of opuntia ficus-indica cladodes from portuguese ecotypes. **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, v.22, n.1, p.40-45, 2016.

Rodriguez, R. D. G.; Singh, V. P.; Pruski, F. F.; Calegario, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v.7, n.1, p.2096-2109, 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Santos, M. R.; Silva, A. J. P.; Fonseca, V. A.; Campos, A. R. F.; Lisboa, M. A. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v.38, n.296, p.76-90, 2017.

Sas Institute. 2002. SAS system for Windows. Cary: SAS Institute inc.

Silva, L. M.; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; Rangel, J. H. A.; Moreira, A. L.; Backes, A. C. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Silva, T. G. F.; Araújo Primo, J. T.; Morais, J. E. F.; Diniz, W. J. S.; Souza, C. A. A.; Silva, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no Semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, n.2, p.10-18, 2015.

Silva, M. A. V.; Ferreira, W. M. P.; Andrade, V. M. S.; Costa, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BR 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.383-394, 2016. <https://doi.org/10.19084/RCA15117>

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

Silva, A. P.; Souza, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no Semiárido. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.4, p.20048-20057, 2020.

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: III Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semi-árido, Petrolina, Anais... Embrapa SemiÁrido, 2008.

Souza, D. C. F. de; Lima, I. da S.; Santana, J. A.; Almeida, A. Q. de; Gonzaga, M. I. da S.; Santana, J. F. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*opuntia* sp.) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.1, p.2338-2347, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n100715>

Souza, J. T. A.; Ribeiro, J. E. S.; Araújo, J. S.; Ramos, J. P. F.; Nascimento, J. P. Medeiros, L. T. V. Gas exchanges and water-use efficiency of *Nopalea cochenillifera* intercropped under

edaphic practices. **Comunicata Sientiae.** v.11, n.1, p.1-8, 2020.  
<https://doi.org/10.14295/CS.v11i0.3035>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

Winter, K.; Garcia, M.; Holtum, J. A. M. Drought-stress-induced up-regulation of CAM in seedlings of a tropical cactus, *Opuntia elatior*, operating predominantly in the C3 mode. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.11, p.4037-4042, 2011.

## **CAPÍTULO IV**

-

### **TEMPERATURA SUPERFICIAL DA PALMA FORRAGEIRA E DO SOLO SOB DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO NO AGRESTE PARAIBANO**

## **Temperatura superficial da palma forrageira e do solo sob diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

**Resumo:** Objetivou-se com o presente estudo verificar o efeito da aplicação de diferentes frequências de irrigação, em diferentes turnos de leitura e épocas de avaliação na temperatura superficial do solo e dos cladódios de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, cultivada na mesorregião do Agreste paraibano. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) arranjado para o primeiro ciclo em esquema fatorial 2 x 2 x 12, sendo duas frequências de irrigação 7 e 28 dias, dois turnos de leitura (manhã e tarde) e 12 épocas de avaliação, totalizando 24 tratamentos distribuídos em 4 blocos. Já para a rebrota o arranjo foi 2 x 2 x 5, sendo duas frequências de irrigação, dois turnos de leitura e 5 épocas de avaliação. Os dados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*), do SAS® (2002). Foi feita uma análise de correlação de Pearson ao nível de 5 % entre a TSM e a TSS com os cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana no primeiro ciclo. Diferentes frequências de irrigação influenciaram na temperatura superficial do cladódio mãe, apresentando maiores temperaturas superficiais quando a frequência de aplicação de água foi menor. As temperaturas superficiais dos cladódios apresentaram-se de 4,5 a 8,8 °C superiores no turno da tarde. O solo quando irrigado alcançou variação de temperatura entre 5 e 13 °C durante o ano, com diminuição média em torno de 9 °C. Existe correlação positiva entre a temperatura de solo seco e de solo molhado entre os cladódios mãe e primário, sendo a maior intervenção da temperatura de solo seco para os cladódios.

**Palavras chave:** análise térmica; bem-estar vegetal; Orelha de Elefante Mexicana

### **Introdução**

A região Semiárida é caracterizada pela variabilidade climática, apresentando índices pluviométricos variando de 350 a 800 mm ano<sup>-1</sup>, com má distribuição e longos períodos de estiagem, além de elevadas temperaturas do ar e altas amplitudes térmicas, o que pode levar a perdas quantitativas e qualitativas na produção de massa verde das culturas, trazendo prejuízos à produção animal (Silva et al., 2015; Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017; Perazzo et al., 2017).

Nessa região a palma forrageira por trata-se de uma planta xerófila, é cultivada tradicionalmente em sistema de sequeiro, com elevada eficiência na utilização da água pelo seu metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que consiste na abertura dos estômatos durante a noite e fechamento durante o dia, evitando perdas excessivas de água (Queiroz et al., 2015; Marques et al., 2017; Taiz et al., 2017).

Para elevar a produtividade e garantir a perenidade do palmar, diversas tecnológicas podem ser utilizadas, como a irrigação, que mesmo em baixo volume promove alterações na dinâmica de crescimento da palma, elevando seu rendimento, qualidade e produtividade (Consolli et al., 2013; Silva et al., 2014; Lima et al., 2015; Lima et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017; Rocha et al., 2017).

A irrigação pode auxiliar na redução da temperatura superficial do solo, estando diretamente relacionada ao desenvolvimento da planta, já que quando se encontra muito elevada pode provocar estresse no sistema radicular, comprometendo a absorção de água e nutrientes, afetando negativamente o crescimento e produtividade da cultura (Gasparim et al., 2005; Ribas et al., 2015; Queiroz et al., 2015; Silva et al., 2020).

Nesse sentido, a análise da temperatura superficial da planta pode contribuir para o diagnóstico precoce do estresse hídrico, em razão da correlação existente entre temperatura foliar e conteúdo de água na planta. As altas temperaturas podem alterar a evapotranspiração da planta, assim como sua fotossíntese, ocasionando redução de produtividade (Tejada et al., 2012; Taiz et al., 2017).

Assim, objetivou-se com o presente estudo verificar o efeito da aplicação de diferentes frequências de irrigação, em distintos turnos de leitura e épocas de avaliação na temperatura superficial do solo e dos cladódios de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, cultivada na mesorregião do Agreste paraibano.

## **Material e Métodos**

### ***Caracterização da área experimental***

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado no município de Campina Grande - PB, mesorregião do Agreste paraibano, cujas coordenadas são latitude Sul 07° 14' 00'' e longitude Oeste 35° 57' 00'', com altitude de 491 m, sendo o clima da região classificado como As, de acordo com a classificação de Koppen (Francisco et al., 2015).

### *Solo da área experimental*

De acordo com os critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Embrapa, 2013), o solo da área experimental é classificado como Planossolo haplico e, para análise do solo da área de cultivo foram coletadas 15 amostras simples em diferentes pontos, nas profundidades de 0 a 20 cm (Santos et al., 2017). As amostras foram homogeneizadas, resultando uma única amostra, depois acondicionada em saco plástico devidamente identificadas e encaminhada ao Laboratório de Irrigação e Salinidade, da Universidade Federal de Campina Grande para a realização da caracterização físico-química do solo (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização físico-química do solo

<b>Características Químicas</b>		<b>Características Físicas</b>	
Ca (meq/100g de solo)	1,85	Areia (%)	82,16
Mg (meq/100g de solo)	2,54	Silte (%)	16,08
Na (meq/100g de solo)	0,17	Argila (%)	1,76
K (meq/100g de solo)	0,49	Textura	Areia Franca
S (meq/100g de solo)	5,05	DS (g/cm <sup>3</sup> )	1,34
H (meq/100g de solo)	0,40	DP g/cm <sup>3</sup>	2,68
Al (meq/100g de solo)	0,24	Porosidade %	50,00
T (meq/100g de solo)	5,69	<b>Umidade (% base solo seco)</b>	
CCQ	Ausência	Natural	0,54
CO %	0,78	0,10 atm	
MO %	1,34	0,33 atm	13,01
N %	0,08	1,00 atm	
P assimilável mg/100g	0,18	5,00 atm	
pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	5,57	10,0 atm	
pH KCl (1:2,5)		15,0 atm	5,62
CE – mmhos/cm (Suspensão Solo-Água)	0,16	AD	7,39
pH (Extrato de saturação)	5,05		
CE – mmhos/cm (Extrato de Saturação)	0,59		
Cloreto (meq/l)	3,75		
Carbonato (meq/l)	0,00		
Bicarbonato (meq/l)	0,40		
Sulfato (meq/l)	Ausência		
Ca (meq/l)	2,00		
Mg (meq/l)	1,25		
K (meq/l)	0,55		
Na (meq/l)	2,40		
Percentual de saturação	21,66		
Relação de adsorção de sódio	1,88		
PSI	2,99		
Salinidade	Não salino		
Classe de solo	Normal		

Ca – cálcio; Mg – magnésio; Na – sódio; K – potássio; S – enxofre; H – hidrogênio; Al – alumínio; CCQ – carbonato de cálcio qualitativo CO - Carbono orgânico; MO - matéria orgânica; N – nitrogênio; P – fósforo; CE – condutividade elétrica; DS – densidade do solo; DP - Densidade de partículas; AD - Água disponível

Antes da implantação das culturas o solo foi submetido aos processos de aração e gradagem e, após as análises foram realizadas as adubações, utilizando 200 kg de uréia, 40 kg

de fosfato monoamônico (MaP) e 60 kg de cloreto de potássio granulado distribuídos de forma homogênea na área.

### ***Água de irrigação***

A análise da água de irrigação ocorreu no laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, sendo classificada como C1, que corresponde a uma água de baixa salinidade (Bernardo, 1995)

### ***Cultivar utilizada e forma de plantio***

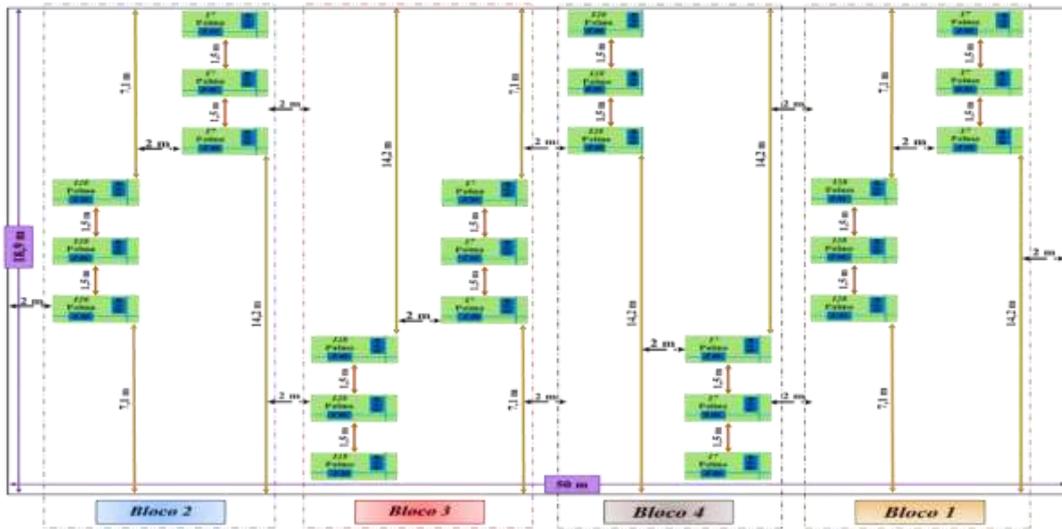
Foram utilizadas raquetes de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, provenientes do INSA e isentas de infestações por pragas e doenças, as quais passaram pelo período de cura de sete dias à sombra, para que os cladódios perdessem parte da umidade e ocorresse a cicatrização das lesões provocadas pelo corte no campo, sendo o plantio realizado em sulco com alinhamento bilateral (Dominó).

### ***Delineamento experimental e tratamentos***

O período experimental transcorreu em 17 meses, compreendendo o primeiro ano do ciclo da palma forrageira (janeiro a dezembro de 2020) e os cinco primeiros meses da rebrota da palma (de janeiro a maio de 2021). O delineamento experimental utilizado em blocos casualizados (DBC) com 2 tratamentos (I7 – frequência de irrigação de 7 dias e I28 – frequência de irrigação de 28 dias) e 4 repetições (número de blocos), sendo cada tratamento repetido 3 vezes dentro do bloco (triplicata) totalizando 24 parcelas experimentais.

A área plantada com 57,6 m<sup>2</sup> e área total de 945 m<sup>2</sup> (18,9 m x 50 m) (Figura 1). A área plantada possuía um total de 432 plantas, sendo 216 irrigadas em frequência de 7 dias em 28,8 m<sup>2</sup>, ocorrendo o mesmo para as irrigadas a cada 28 dias.

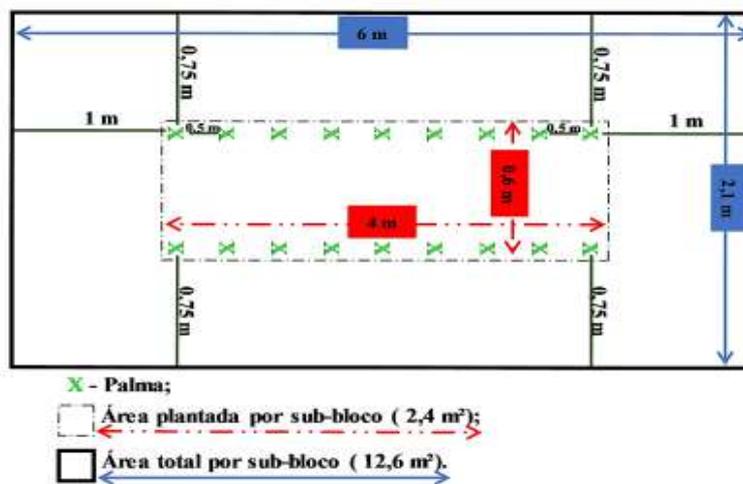
**Figura 1.** Distribuição total dos blocos experimentais



I7 - Irrigado a cada 7 dias; I28 - Irrigado a cada 28 dias.

Cada parcela experimental era composta por uma fileira dupla com 18 plantas, sendo 9 por fila, possuindo 2,4 m<sup>2</sup> de área plantada, o espaçamento entre linhas foi de 0,6 m e de 0,5 entre plantas, com 4 m de comprimento, 0,75 m de bordadura nas laterais e de 1m de bordaduras superiores e inferiores, com área total por parcela experimental, considerando as bordaduras, de 12,6 m<sup>2</sup> (Figura 2).

**Figura 2.** Distribuição da área total e plantada por sub-bloco



### *Manejo de irrigação*

A irrigação através de gotejamento, com gotejadores do tipo GA 4, distribuídos em linhas próximas as plantas a cada 0,5 m e a mangueira da tubulação possuía 17 mm de diâmetro interno, realizada no turno da tarde entre 15:00 e 16:30 h.

O manejo de irrigação para as palmas irrigadas a cada 7 dias aconteceu por meio da lâmina fixa semanal de 8,74 mm, o que corresponde a 35,96 mm mês<sup>-1</sup>, sendo este complemento da precipitação semanal, ou seja, caso houvesse chovido o volume igual ou superior ao necessário descartava-se a irrigação semanal, caso contrário realizava-se a mesma. Para as parcelas experimentais irrigadas a cada 28 dias utilizava-se o volume de 8,74 mm sendo este distribuído a cada 28 dias.

### ***Análises de temperatura superficial do solo e dos cladódios da palma forrageira***

A temperatura do solo e dos cladódios das palmas foi aferida com um termômetro infravermelho digital, da marca Immpa, modelo MT-360, com faixa -30°C a 550°, precisão de  $\pm 2^\circ\text{C}$  para -30°C a 100°C e emissividade de 0,1 a 1,0, com análise realizada mensalmente em 4 palmas por parcela experimental das irrigadas em frequência de 7 e 28 dias, em seus cladódios mãe, primário, secundário e terciário. As coletas das temperaturas da superfície do solo ocorreram mensalmente no turno da tarde, das 15:00 às 17:00 h, onde um dia antes da irrigação coletava-se as temperaturas superficiais de solo seco e um dia após a irrigação coletava-se as temperaturas superficiais de solo molhado. As análises de temperatura de cladódio aconteceram no turno da manhã das 08:00 às 10:00 h e também a tarde das 15:00 às 17:00 h nas palmas sob frequência de 7 e 28 dias, nos mesmos dias de coleta das temperaturas superficiais de solo seco e úmido, coletadas em dias que a temperatura média do ar esteve acima de 30 °C, considerada estressante para a palma forrageira.

### ***Análise estatística***

Para as variáveis de temperatura superficial foi utilizado um fatorial 2 x 2 x 12, sendo 2 frequências de irrigação (7 e 28 dias), dois turnos de leitura (manhã e tarde) e 12 épocas de avaliação (meses do ano). E para as variáveis de temperatura superficial da rebrota um esquema fatorial 2 x 2 x 5, sendo 2 frequências de irrigação (7 e 28 dias), dois turnos de leitura (manhã e tarde) e 5 épocas de avaliação (meses do ano). Os dados foram avaliados por meio de análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade através do procedimento GLM (*General Linear Model*), do SAS® (2002). A análise de

correlação de Pearson foi feita ao nível de 5 % entre a TSM e a TSS com os cladódios mãe, primário, secundário e terciário no primeiro ciclo.

## Resultados e Discussão

A fotossíntese e os demais processos fisiológicos e bioquímicos das plantas são influenciados diretamente pelas variáveis climáticas, assim como pela variação da temperatura do solo, uma vez que ela interfere na germinação, no crescimento radicular e na absorção de água e nutrientes das plantas (Hillel, 1998; Silva et al., 2016; Souza et al., 2018).

A temperatura do ar no primeiro ciclo da palma, apresentou variação entre as épocas de avaliação, com máxima de 33 °C nos meses de janeiro e fevereiro e mínima de 18,5 °C no mês de julho (Tabela 2). De acordo com Bezerra et al. (2014), a faixa de temperatura ideal para a palma forrageira situa-se entre 18 e 32 °C, assim, a TA encontrou-se dentro da faixa de temperatura adequada, exceto nos meses de janeiro e fevereiro. No período de rebrota, a TA mais elevada foi do mês de fevereiro e a inferior em maio, estando, todavia, dentro da faixa adequada para a forrageira (Tabela 3).

**Tabela 2.** Dados meteorológicos do primeiro ciclo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana

Época de avaliação	TA máx (°C)	TA (°C)	TA mín (°C)	UR (%)	Vv (m s <sup>-1</sup> )	I (h)	P (mm)
Janeiro	33,00	25,70	22,00	72,38	3,47	7,10	16,00
Fevereiro	33,00	26,13	22,40	73,92	3,39	8,50	5,80
Março	31,60	25,51	22,30	79,71	2,44	7,10	173,40
Abril	30,65	24,99	21,90	81,73	2,54	7,40	97,20
Mai	29,50	24,27	21,10	83,46	2,67	7,00	65,60
Junho	27,05	22,62	20,00	84,98	2,49	5,10	84,90
Julho	26,40	21,68	18,50	82,33	2,44	7,05	73,10
Agosto	28,20	22,28	18,90	75,33	3,13	8,50	8,70
Setembro	29,20	22,77	19,25	74,98	3,49	8,05	10,80
Outubro	31,10	24,26	20,50	72,88	3,82	9,30	0,80
Novembro	31,75	24,92	21,20	74,94	4,09	8,50	13,60
Dezembro	31,30	24,64	21,00	74,54	4,21	8,30	1,30

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.

TA máx (°C) – Temperatura máxima do ambiente; TA (°C) – Temperatura média do ambiente; TA mín (°C) - Temperatura mínima do ambiente; UR (%) - Umidade relativa média; Vv (m s<sup>-1</sup>) - Velocidade do vento; I (h) - Insolação; P (mm) - Precipitação.

**Tabela 3.** Dados meteorológicos da rebrota da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana

Época de avaliação	TA máx (°C)	TA (°C)	TA mín (°C)	UR (%)	Vv (m s <sup>-1</sup> )	I (h)	P (mm)
Janeiro	31,90	25,03	21,40	74,54	3,91	7,00	7,00
Fevereiro	32,35	25,44	21,80	73,52	3,68	7,25	7,25
Março	30,60	24,95	21,60	77,92	3,31	7,40	7,40
Abril	30,05	24,42	21,45	84,00	3,09	7,35	7,35
Maio	27,90	23,33	20,50	83,13	2,61	5,70	5,70

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.

TA máx (°C) – Temperatura máxima do ambiente; TA (°C) – Temperatura média do ambiente; TA mín (°C) - Temperatura mínima do ambiente; UR (%) - Umidade relativa média; Vv (m s<sup>-1</sup>) - Velocidade do vento; I (h) - Insolação; P (mm) - Precipitação.

A UR se comporta inversamente proporcional a TA, sendo a faixa ideal de 37,3 a 63,1 % conforme Souza et al. (2008), assim durante todo o período experimental a variável esteve acima da faixa preconizada para o pleno desenvolvimento da palma forrageira, no primeiro ciclo (Tabela 2) e na rebota (Tabela 3).

A Vv interfere diretamente no crescimento e na produtividade da palma, no primeiro ciclo da forrageira apresentou-se inferior nos meses de março e julho e mais elevada no mês de dezembro (Tabela 2). Nos meses de março a julho a Vv ficou dentro da faixa adequada para produção da palma forrageira, de acordo com Silva et al. (2020) que observaram que a velocidade do vento entre 1 e 3 m s<sup>-1</sup>, é adequada para essa cultura, sem qualquer prejuízo produtivo. Enquanto que na rebota a Vv esteve dentro do ideal para palma forrageira apenas no mês de maio, nos meses de janeiro a abril apresentaram-se acima de 3,00 m s<sup>-1</sup>, tendo seu máximo no mês de janeiro (Tabela 3).

A insolação, variável que representa o número de horas de brilho solar efetivo, que interfere diretamente na fotossíntese (Lima Junior et al., 2005; Belúcio et al., 2014; Silva et al., 2016), apresentou-se superior no mês de outubro e menor no mês de junho para o primeiro ciclo (Tabela 2). Na rebota foi inferior em maio e superior em março (Tabela 3). A precipitação no primeiro ciclo registrou maior índice no mês de março e menor no mês de outubro. Sendo a anual de 551,2 mm (Tabela 2), estando dentro do considerado adequado para palma forrageira segundo Souza et al. (2008), entre 368,4 e 812,4 mm ano<sup>-1</sup>. Enquanto que na rebota a P nos 5 meses de avaliação foi de 262,5 mm encontrando-se dentro do considerado adequado para palma forrageira, sendo o mês de maior precipitação, março e o menor, janeiro (Tabela 3).

Percebe-se ainda correlação inversa das variáveis Vv e I em relação a P, pois quando a Vv e I estiveram intensas, os níveis pluviométricos foram baixos, como pode ser visto no mês de dezembro no primeiro ciclo, a Vv foi de 4,21 m s<sup>-1</sup> e a I foi de 8,3 h (Tabela 2), enquanto

que a P foi de 1,30 mm, a segunda menor precipitação no ano; assim como nos meses de outubro que a Vv foi de 3,82 m s<sup>-1</sup> a I de 9,3 h e ocorreu a menor precipitação anual de 0,8 mm, corroborando com a pesquisa de Silva et al. (2015) que obtiveram a mesma conclusão ao avaliarem as relações do crescimento da palma forrageira com as variáveis meteorológicas.

No primeiro ciclo da palma forrageira, a temperatura do cladódio mãe foi 2,85 % superior (P<0,05) nas palmas irrigadas a cada 28 dias, possivelmente devido ao menor aporte hídrico fornecido a estas plantas, sendo esta variável similar nos cladódios primários, secundários e terciários (P>0,05). As temperaturas superficiais dos cladódios do primeiro ciclo foram mais elevadas no turno da tarde (Tabela 4), com elevações de 30,63, 21,32, 16,87 e 24,73 % para os cladódios mães, primários, secundários e terciários, respectivamente. Essa maior temperatura no turno da tarde ocorre em razão das maiores TA e I encontradas neste turno do dia.

**Tabela 4.** Temperatura superficial dos de palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana sob frequência de irrigação de 7 e 28 dias

Efeito	Temperatura superficial do cladódio				
	Frequência de irrigação (dias)	Mãe	Prim.	Sec.	Terc.
7		26,32b	29,92a	32,68a	28,41a
28		27,07a	30,41a	33,15a	28,75a
Turno de avaliação					
Manhã		23,15b	27,26b	30,36b	25,44b
Tarde		30,24a	33,07a	35,48a	31,73a
Época de avaliação					
Janeiro		27,06bc	31,75bc	-	-
Fevereiro		28,84b	28,41de	-	-
Março		28,38b	30,03cde	32,41cd	-
Abril		28,28b	30,90cd	33,76bc	-
Maio		29,41ab	30,91bcd	32,94cd	-
Junho		20,78e	24,25f	26,38e	-
Julho		24,41d	28,66cde	30,19d	-
Agosto		24,19d	27,16ef	30,84cd	25,53c
Setembro		24,75cd	27,59de	31,03cd	25,72c
Outubro		23,72d	29,69cde	33,47c	25,66c
Novembro		28,72b	33,72b	36,94b	30,47b
Dezembro		31,84a	38,94a	41,21a	35,53 <sup>a</sup>
EPM		2,08	2,93	2,83	2,16
Valor de P					
Frequência de irrigação (I)		0,0136	0,2476	0,2983	0,4883
Turno de Leitura (T)		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Época de avaliação (E)		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
I*T		0,5231	0,6274	0,1751	0,8341
I*E		0,7034	0,8229	0,6043	0,2939
T*E		0,0003	0,0003	<.0001	0,0226
I*T*E		0,4531	0,7679	0,0759	0,2433

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; EPM=erro padrão da média

Prim. – primários; Sec. – secundários; Terc – terciários; EPM – erro padrão da média

A elevação nos cladódios mães no turno da tarde pode ser explicada pelo seu contato direto com o solo, que está mais aquecido e, suas menores temperaturas médias comparada aos

demais cladódios, ao maior teor de água existente nos cladódios das demais ordens, assim como pelo efeito do sombreamento, uma vez que a planta se estruturou de forma a sombrear a mãe, então mesmo em contato direto com o solo não ocorre aumento demasiado de temperatura superficial. O oposto acontece com os cladódios secundários, que possuem temperaturas mais elevadas em comparação aos demais, possivelmente pelo hábito de crescimento que propicia uma maior incidência de raios solares, favorecendo o aumento da temperatura dos mesmos, assim como os primários que aparecem como a segunda maior temperatura superficial (Tabela 4). Os terciários por sua vez, apresentam menores temperaturas, visto que são mais jovens e menos espessos, facilitando a troca térmica com o ambiente.

Nos meses mais quentes do ano, como janeiro, fevereiro e dezembro, houve elevação na temperatura superficial dos cladódios, que apresentaram elevadas TA, alta I e baixa P. A menor taxa de crescimento ocorreu no mês de junho, mês onde as TA apresentam-se mais baixas e a planta tende a reduzir a intensidade de seu metabolismo.

Houve efeito de interação para frequência de irrigação e a palma mãe, assim como para turno de leitura e época de avaliação e os cladódios mãe, primário, secundário e terciário, sendo observado efeito de interação também entre turno de leitura e época de avaliação, não existindo interação entre os demais fatores avaliados (Tabela 4).

Na rebrota não foram identificadas diferenças significativas entre as frequências de irrigação, apenas entre os turnos de avaliação, sendo a palma mãe 39,96 % superior ( $P < 0,05$ ) no turno da tarde, cladódios primários, 21,48 % e 15,28 % os cladódios secundários (Tabela 5).

**Tabela 5.** Temperatura superficial da rebrota dos cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante sob frequência de irrigação de 7 e 28 dias

Efeito	Temperatura superficial do cladódio		
	Mãe	Prim.	Sec.
Frequência de irrigação			
7	26,13a	29,80a	31,70a
28	26,41a	29,80a	32,00a
Turno de leitura			
Manhã	21,90b	26,91b	29,59b
Tarde	30,65a	32,69a	34,11a
Valor de P			
Frequência de irrigação	0,5105	1,000	0,6403
Turno de leitura	<.0001	<.0001	<.0001
Frequência de irrigação*Turno de leitura	0,4949	0,5816	0,7656

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; Prim. - primários; Sec. - secundários;

A frequência de irrigação não influenciou ( $P>0,05$ ) na temperatura superficial do solo seco antes da irrigar (TSS), no entanto, interferiu na temperatura de solo molhado pós irrigação (TSM) ( $P>0,05$ ), onde a menor quantidade de água disponível favoreceu o aquecimento em 4,24 % (Tabela 6). A temperatura do solo reduziu no primeiro ciclo em média de 9 °C após a irrigação, devido tratar-se de um solo mais arenoso (Tabela 1) caracterizado por possuir alta permeabilidade. O valor encontrado nesta pesquisa apresentou-se superior ao observado por Ribas et al. (2015), que verificaram diminuições na temperatura do solo após irrigação variando de 3,5 a 6,5 °C.

**Tabela 6.** Temperatura superficial do solo antes e depois da irrigação do campo experimental

Efeito	TSS	TSM
Frequência de irrigação		
7	32,25a	23,25b
28	33,28a	24,28a
Época de avaliação		
Janeiro	36,13ab	24,63abc
Fevereiro	33,61abc	25,36ab
Março	31,81bcd	24,38abc
Abril	30,75cd	23,94abc
Mai	31,41bcd	24,43abc
Junho	27,08d	21,38c
Julho	27,00d	22,00bc
Agosto	35,04abc	22,00bc
Setembro	34,69abc	24,13abc
Outubro	34,88abc	24,00abc
Novembro	32,88abc	22,56abc
Dezembro	37,94a	26,38a
EPM	3,01	2,31
Valor de P		
Frequência de irrigação (I)	0,0984	0,0315
Época de avaliação (E)	<.0001	0,0010
I*E	0,6701	0,9715

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; EPM=erro padrão da média;

TSS- temperatura do solo seco, antes de irrigar; TSM – temperatura de solo molhado, pós irrigação.

A TSS, assim como a TSM variaram no decorrer dos meses, mais baixas nos meses de junho e julho, meses esses que apresentaram as TA mais baixas, UR mais altas, baixas I e altas P. Enquanto que as temperaturas superficiais mais altas de solo seco e úmido ocorreram no mês de dezembro com TA mais amenas e baixa P.

Houve efeito de interação para frequência de irrigação da temperatura de solo molhado, assim como para frequência de irrigação e época de avaliação de solo seco, não havendo interação entre os demais fatores avaliados. Bem como correlação significativa ao nível de 5 %

entre temperatura de solo molhado (TSM) e a temperatura do cladódio mãe e entre a TSM e o cladódio primário ou seja, essas variáveis estão relacionadas uma com a outra, assim a medida que a temperatura do solo molhado aumenta as temperaturas do cladódio mãe e do cladódio primário também aumentam em 55 e 35 % , respectivamente. Não sendo observadas correlações significativas entre a TSM e os cladódios secundários e terciários (Tabela 7).

**Tabela 7.** Correlação de Pearson entre a temperatura de solo molhado e dos cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana

Variáveis	TS mãe – M	TS I – M	TS II – M	TS III – M
TSM	0,55	0,35	-0,12	0,06
TS mãe – M	1,00	0,58	-0,10	-0,01
TS I – M		1,00	0,16	0,24
TS II – M			1,00	0,46
TS III – M				1,00

TS mãe - M - temperatura superficial do cladódio mãe em solo molhado; TS I – M - temperatura superficial do cladódio primário em solo molhado; TS II – M - temperatura superficial do cladódio secundário em solo molhado; TS III – M - temperatura superficial do cladódio terciário em solo molhado

Observa-se correlação significativa de 58 % entre a temperatura do cladódio mãe e do cladódio primário, bem como de 46 % entre o cladódio secundários e terciário, por causa dos cladódios estarem próximos um do outro. Os cladódios primário e terciário apresentaram correlação menos expressiva de 24 %, pois os dois cladódios mesmo pertencendo a mesma planta, ficam mais equidistantes em relação aos demais (Tabela 7).

Foram observadas correlações significativas entre a temperatura do solo seco (TSS) e a temperatura dos cladódios mãe e do primário, de 62 e 56 %, respectivamente. Não tendo observadas, correlações entre a TSS e os cladódios secundários e terciários. Entre a mãe e o primário de 70 % e entre os cladódios secundário e terciário de 99 % (Tabela 8), sendo estas correlações mais elevadas em comparação a TSM, ou seja, a temperatura de solo seco influencia mais os cladódios que a temperatura de solo molhado.

**Tabela 8.** Correlação de Pearson entre a temperatura de solo seco e dos cladódios e dos cladódios da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana

Variáveis	TS mãe – S	TS I – S	TS II – S	TS III – S
TSS	0,62	0,56	-0,03	-0,01
TS mãe – S	1,00	0,70	0,09	0,13
TS I – S		1,00	0,08	0,11
TS II – S			1,00	0,99
TS III – S				1,00

TS mãe - S - temperatura superficial do cladódio mãe em solo seco; TS I - S - temperatura superficial do cladódio primário em solo seco; TS II - S - temperatura superficial do cladódio secundário em solo seco; TS III - S - temperatura superficial do cladódio terciário em solo seco

### Conclusões

Diferentes frequências de irrigação influenciam na temperatura superficial do cladódio mãe, apresentando maiores temperaturas quando a frequência de aplicação de água foi menor. As temperaturas superficiais dos cladódios apresentaram-se de 4,5 a 8,8 °C superiores no turno da tarde;

O solo quando irrigado apresentou variação de temperatura entre 5 e 13 °C durante o ano, com diminuição média em torno de 9 °C. Além de existir uma correlação positiva entre a temperatura de solo seco e de solo molhado entre os cladódios mãe e primário, com a maior influência da temperatura de solo seco para os cladódios.

### Referências

Bacalhau, J. R.; Ribeiro Neto, A.; Oliveira, L. M. M. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.3, p.283-293, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1449.283-293>

Belúcio, L. P.; Silva, A. P. N.; Souza, L. R.; Moura, G. B. A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.29, n.4, p.494-504, 2014. <https://doi.org/10.1590/0102-778620130079>

Bernardo, S. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995.

Bezerra, B. G.; Araújo, J. S.; Pereira, D. D.; Laurentino, G. Q.; Silva, L. L. D. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.755-761, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700013>

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, n.1, p.680-690, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589)

Cruz Neto, J. F. da; Morais, J. E. F. de; Souza, C. A. A. de; Carvalho, H. F. de 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. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1170.98-106>

EMBRAPA - National Soil Research Center. 2013. Brazilian system of soil classification. Embrapa, Brasília, Brazil

Francisco, P. R. M.; Medeiros, R. M.; Santos, D.; Matos, R. M. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.8, n.4, p.1006-1016, 2015. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20150049>

Gasparim, E.; Ricieri, R. P.; Silva, S. L.; Dallacort, R.; Gnoatto, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.27, n.1, p.107-115, 2005.

Hillel, D. Environmental Soil Physics. Academic Press. 1998. 770p.

Inmet (2019) Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 03 de jan. 2019.

Lima, G. F. C, Rêgo, M. M. T., Aguiar, E. M. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Nopalea* forage cactus. **Acta**

**Horticulturae**, v.1067, n.1, p.253-258, 2015.  
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1067.35>

Lima, G. F. da C.; Rego, M. M. T.; Dantas, F. D. G.; Lobo, 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.  
<https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n226rc>

Lima Junior, E. C.; Alvarenga, A. A.; Castro, E. M.; Vieira, C. V.; Oliveira, H. M. Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, v.35, n.5, p.1092-1097, 2005.

Marques, O.; Gomes, L.; Mourthé, M.; Braz, T.; Pires Neto, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Cadernos de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.75-93, 2017.

Perazzo, A. F.; Carvalho, G. G. P.; Santos, E. M.; Bezerra, H. F. C.; Silva, T. C.; Pereira, G. A.; Ramos, R. C. S.; Rodrigues, J. A. S. Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plants Science**, v.7, n.1, p.1088, 2017. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01088>

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. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>

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. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p817-828/2015>

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

Rodriguez, R. D. G.; Singh, V. P.; Pruski, F. F.; Calegario, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v.7, n.1, p.2096-2109, 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Santos, M. R.; Silva, A. J. P.; Fonseca, V. A.; Campos, A. R. F.; Lisboa, M. A. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v.38, n.296, p.76-90, 2017.

Sas Institute. 2002. SAS system for Windows. Cary: SAS Institute inc.

Silva, L. M.; Fagundes, J. L.; Viegas, P. A. A.; Muniz, E. N.; Rangel, J. H. A.; Moreira, A. L.; Backes, A. C. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Silva, T. G. F.; Araújo Primo, J. T.; Moraes, J. E. F.; Diniz, W. J. S.; Souza, C. A. A.; Silva, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no Semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v.28, n.2, p.10-18, 2015.

Silva, M. A. V.; Ferreira, W. M. P.; Andrade, V. M. S.; Costa, J. M. N. Influência das condições microclimáticas no crescimento do milho BR 106, cultivado sob sementeira direta. **Revista de Ciências Agrárias**, v.3, n.1, p.383-394, 2016. <https://doi.org/10.19084/RCA15117>

Silva, A. P.; Souza, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da Palma Forrageira no Semiárido. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.4, p.20048-20057, 2020.

Souza, D. C. F. de; Lima, I. da S.; Santana, J. A.; Almeida, A. Q. de; Gonzaga, M. I. da S.; Santana, J. F. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*opuntia sp.*) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.1, p.2338-2347, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n100715>

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: III

Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semi-árido, Petrolina, Anais... Embrapa Semi-Árido, 2008.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

Tejada, P. J. Z; González Dugo, V.; Berni, J. A. J. Fluorescence Temperature and Narrow-Band Indices Acquired from A UAV Platform for Water Stress Detection Using A Micro-Hyperspectral Imager and A Thermal Camera. **Remote Sensing of Environment**, v.117, n.1, p.322–337, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.10.007>

## **CAPÍTULO V**

-

### **MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA DA PALMA FORRAGEIRA EM DIFERENTES FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO NO AGRESTE PARAIBANO**

## **Modelagem agrometeorológica da palma forrageira em diferentes frequências de irrigação no Agreste paraibano**

**Resumo:** Objetivou-se com a presente pesquisa calibrar e validar o modelo AquaCrop para palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, com a finalidade de simular a produtividade desta cultura na mesorregião do Agreste paraibano e tornar o modelo aplicável à simulação da produtividade no Semiárido. O modelo AquaCrop versão 5.0 possui quatro módulos, que abrangem aspectos relacionados a clima, cultura, irrigação e solo, neles foram inseridos os dados coletados no experimento realizado na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado na mesorregião do Agreste paraibano e, a partir deles, o modelo realizou a estimativa de produtividade, pela observação do efeito da água no rendimento das culturas. Para validar o modelo comparou-se os dados de campo nas frequências de irrigação de 7 e 28 dias, com os resultados estimados pelo AquaCrop. A calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura da palma forrageira, cultivar Orelha de Elefante Mexicana e clima específico da mesorregião do Agreste paraibano, mostrou resultados satisfatórios para o primeiro ciclo da forrageira, com produtividade simulada similar as obtidas em campo para as frequências de 7 e 28 dias, tornando o AquaCrop, uma ótima ferramenta no auxílio da previsão agrometeorológica no campo.

**Palavras chave:** AquaCrop; Gotejamento; Metabolismo Ácido das Crassuláceas.

### **Introdução**

A palma forrageira é uma planta xerófita, que apresenta particularidades, como a elevada eficiência na utilização da água e bom potencial de produção de biomassa em condições de baixa pluviosidade, ou seja, é adaptada as condições climáticas do Semiárido, que possui baixos índices de precipitação, irregularidade de chuvas, elevadas temperaturas, baixa nebulosidade e elevadas taxas de evaporação (Rodriguez et al., 2015; Bacalhau et al., 2017; Nogueira de Sá et al., 2021). Essa adaptabilidade ocorre principalmente, pelas suas características anatômicas, morfológicas e fisiológicas, que a torna um importante recurso forrageiro para manter a produtividade da pecuária nordestina (Marques et al., 2017; Souza et al., 2018; Nogueira de Sá et al., 2021).

Com intuito de elevar a produtividade e garantir a perenidade do palmar nesta região, diversas tecnologias vêm sendo utilizadas, dentre elas a irrigação, que em baixo volume

promove alterações na dinâmica de crescimento da palma e também em seu metabolismo, que gradualmente transita do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) para o metabolismo C3, atuando como CAM facultativa, podendo-se elevar o rendimento, qualidade, uniformizar o desenvolvimento das plantas e reduzir o efeito da estacionalidade de produção (Winter et al., 2011; Liguori et al., 2013; Cruz Neto et al., 2017; Taiz et al., 2017).

Neste sentido, diversos estudos em campo e em ambiente controlado são realizados, avaliando a produtividade da palma associada a diferentes manejos de irrigação, mas, são trabalhosos e dispendiosos. Contudo, a modelagem de culturas destaca-se como uma importante ferramenta agrícola para estudar e desenvolver estratégias de irrigação, estimando a necessidade hídrica da cultura ao longo do ciclo e seu potencial produtivo em diferentes cenários climáticos, facilitando assim, a tomada de decisões acerca do manejo dos fatores que afetam a produção das culturas (Minuzzi e Lopes, 2015; Morell et al., 2016; Oliveira et al., 2016; Lima et al., 2016; Diniz et al., 2017; Alves et al., 2020; Xu et al., 2019).

Dentre os modelos existentes, o AquaCrop destaca-se por sua precisão, simplicidade, robustez e facilidade de uso, o modelo desenvolvido pela FAO (Food and Agricultural Organization of the United Nations), e direcionado pelo balanço de água no solo, que possui fator de extrema importância nas respostas ao estresse hídrico de culturas agrícolas (Raes et al., 2011).

Diante disto, objetivou-se com a presente pesquisa calibrar e validar o modelo AquaCrop para palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, com a finalidade de simular a produtividade desta cultura na mesorregião do Agreste paraibano e tornar o modelo aplicável à simulação da produtividade no Semiárido.

## **Material e Métodos**

### ***Modelo AquaCrop para palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana***

O modelo AquaCrop é comumente utilizado para estimar produtividade de plantas C3 como a soja (Silva et al., 2018); café (Almeida et al., 2017), algodão (Tsakmakis et al., 2017), batata (Zhou et al., 2018), coentro (Oliveira, 2018), tomate (Freitas, 2018) e cebola (Matsunaga, 2019), e também de plantas C4 como o milho (Wang et al., 2008; Paredes et al., 2014; Ahmadi et al., 2015). De acordo com Taiz et al. (2017), quando irrigada a palma forrageira pode transitar gradualmente do metabolismo CAM para o metabolismo C3, atuando como CAM facultativa, assim foram realizadas determinações das trocas gasosas na palma forrageira cultivar Orelha

de Elefante Mexicana entre as 21:00 e 00:00 horas, conforme metodologia de Nobel (2001), uma vez que a captação de CO<sub>2</sub> é mais intensa neste intervalo e constatou-se que a cultivar abre seus estômatos nas primeiras horas da manhã em condições ambientais propícias, fechando no decorrer do dia, com a elevação da temperatura.

### ***Dados do experimento a campo para calibração do AquaCrop***

O modelo AquaCrop versão 5.0 possui quatro módulos, que abrangem aspectos do clima, da cultura, da irrigação e do solo. Nesses módulos foram inseridos os dados coletados no experimento realizado na Fazenda Experimental do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizado na mesorregião do Agreste paraibano, a partir deles, o modelo realizou a estimativa de produtividade, pela observação do efeito da água no rendimento das culturas, utilizando as equações 1 e 2:

$$B = WP \cdot \Sigma Tr \quad (\text{Equação 1})$$

$$Y = B \cdot HI \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

WP - Produtividade da água (kg m<sup>-2</sup> mm<sup>-1</sup>);

Tr - Transpiração da cultura (mm);

B - Biomassa seca da parte aérea (kg);

Y - Produção final (kg);

HI - índice de colheita (%).

No módulo de clima foram inseridos os dados meteorológicos diários de temperaturas máxima e mínima (°C), umidade relativa do ar média (%), precipitação (mm), velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>) e insolação (h), de todo o ano experimental, coletados na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do governo federal, localizada na mesorregião do Agreste paraibano.

No módulo de cultura foram inseridas as características do experimento e da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, área experimental, densidade de plantas por hectare (plantas ha<sup>-1</sup>); espaçamento entre plantas (m), profundidade das raízes (cm), data da maturidade da cultura (dias), data da corte (dias), produtividade obtida (ton ha<sup>-1</sup>); temperatura ideal para a cultura (°C).

No módulo de irrigação aplicou-se os dados das frequências de irrigação utilizadas no período experimental (I7- irrigado em frequência de 7 dias e I28 – irrigado em frequência de 28 dias) como as datas de irrigação (dias), volume aplicado para cada frequência (mm), qualidade da água.

No módulo de solo foram inseridas informações de umidade do solo, tipo de solo, percentagem de cobertura do solo por mulch (folhas mortas, galhos, etc).

### **Validação do AquaCrop**

O desempenho do modelo AquaCrop foi validado comparando os dados obtidos em campo nos tratamentos de palma irrigada em frequências de 7 e 28 dias, no primeiro ciclo da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana com os resultados estimados pelo AquaCrop, por meio da utilização das análises estatísticas:

Erro quadrado médio (RMSE) definido pela Equação 3 (Raes et al., 2009):

$$RMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{N}} \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Erro médio quadrático normalizado (NRMSE) (Equação 4):

$$NRMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Índice de concordância ( $d$ ) de Willmont (1982) é definido pela Equação 5:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (S_i - O_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)} \quad (\text{Equação 5})$$

Coefficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (EF) (Equação 6):

$$EF = 10 \frac{\sum (S_i - O_i)^2}{\sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{Equação 6})$$

Erro de predição (PE) (Equação 7):

$$PE = \frac{\sum (S_i - O_i)}{\sum O_i} \times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

$S_i$  e  $O_i$  - São valores simulados e observados, respectivamente;

$\bar{O}_i$  - Valor médio de  $O_i$ ;

N - Representa o número de observações.

Assim, quando o coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (EF) e o coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe (d) se aproximam de 1, e o erro de predição (PE) e o erro quadrado médio (RMSEN) aproximam-se de 0%, implica em dizer que o desempenho do modelo foi positivo. Em termos da simulação, considera-se excelente quando o RMSEN for inferior a 10 %, e boa a simulação se o RMSEN estiver entre 10 % e 20 %; razoável quando RMSEN for de 20% a 30%; e ruim quando se encontra acima de 30 %.

## Resultados e Discussão

A temperatura do ar apresentou variação de 20,75 a 30,23 °C, permanecendo dentro da faixa adequada para a cultura que é de 18 a 32 °C (Bezerra et al., 2014). A umidade relativa do ar esteve acima da faixa preconizada para o pleno desenvolvimento da cultura, que é de 37,3 a 63,1% (Souza et al., 2008), assim como a velocidade do vento que seria entre 1 a 3 m s<sup>-1</sup> (Silva et al., 2020). A insolação média foi de 7,66 h e a precipitação também esteve dentro do considerado adequado para o cultivo palma forrageira, de acordo com Souza et al. (2008), entre 368,4 e 812,4 mm ano<sup>-1</sup> (Tabela 1).

**Tabela 1.** Dados meteorológicos anuais do período experimental

Dados Meteorológicos	Média anual
Temperatura máxima do ar (°C)	30,23
Temperatura média do ar (°C)	24,15
Temperatura mínima do ar (°C)	20,75
Umidade relativa do ar (%)	77,60
Velocidade do vento (m/s)	3,18
Insolação (h)	7,66
Precipitação total (mm)	551,20

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia - Inmet.

A área total experimental foi de 0,000945 hectare (ha), utilizando um espaçamento entre plantas e densidade de plantas igual para as frequências de irrigação de 7 e 28 dias. A

temperatura adequada utilizada para palma forrageira foi proposta por Bezerra et al. (2014) e a profundidade das raízes a de Edvan et al. (2013). O tempo decorrido do transplântio até o corte foi de um ano, compreendendo o primeiro ciclo da palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana de janeiro a dezembro de 2020, havendo uma recuperação em 14 dias. A produtividade foi superior para as plantas irrigadas em frequência de 7 dias quando comparada as irrigadas em frequência de 28 dias (Tabela 2).

**Tabela 2.** Dados da cultura da palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana no período experimental.

	7 dias	28 dias
Área (ha)	0,000945	0,000945
Espaçamento entre plantas (m)	0,5	0,5
Densidade de plantas (plantas ha <sup>-1</sup> )	19.047	19.047
Temperatura ideal (°C)	18 a 32	18 a 32
Profundidade das raízes (cm)	35	40
Tempo de transplântio até o corte	366	366
Recuperação do transplântio (dias)	14	14
Produtividade observada (ton ha <sup>-1</sup> )	16,8837	14,3243

Foram utilizadas duas frequências de irrigação, de 7 e 28 dias, sendo o manejo de irrigação para as palmas irrigadas na frequência de 7 dias realizado com lâmina fixa semanal de 8,74 mm, sendo complemento da precipitação semanal. E para as parcelas experimentais irrigadas na frequência 28 dias utilizava-se o volume de 8,74 mm, distribuído a cada 28 dias. A água de irrigação foi classificada como C1, que corresponde a uma água de baixa salinidade de conforme Bernardo (1995).

Com base nos critérios do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2013), o solo da área experimental é classificado como Planossolo haplico, com granulometria de 82,16 % de areia, 16,08 % de silte e 1,76 % de argila, apresentando textura de areia franca e porosidade média de 50 %.

Na estimativa do AquaCrop a produtividade apresentou-se bem representativa, ou seja, o modelo simulou bem os resultados para a produtividade, com excelente aproximação entre os valores reais de produtividade (Y) e os estimados com diferença mínima na subestimação do modelo (Tabela 3).

**Tabela 3.** Produtividade real e estimada no modelo AquaCrop das palmas irrigadas em frequência de 7 e 28 dias

Tratamentos (Frequências de irrigação em dias)	Produtividade	
	Observada (ton ha <sup>-1</sup> )	Estimada (ton ha <sup>-1</sup> )
I 7	16,8837	16,6590
I 28	14,3243	13,7720

Os resultados indicam que o modelo possui ótimo desempenho para a cultura da palma forrageira, tendo influência da disponibilidade de água na produtividade, que apresentou-se maior quando houve menos espaço entre os dias de irrigação, outro fato é que a medida que os tratamentos recebem menos água a diferença entre os valores observados e estimados aumenta (Tabela 4), mesmo a palma não possuindo sensibilidade ao déficit hídrico, assim a disponibilidade hídrica na planta melhora o desempenho do modelo, como observado por Matsunaga, (2019) realizando a modelagem agrometeorológica da cebola no AquaCrop.

**Tabela 4.** Diferença entre os valores de produtividade reais e estimadas das palmas irrigadas a cada 7 e 28 dias

Tratamentos (Frequências de irrigação em dias)	Produtividade
	Diferença (ton ha <sup>-1</sup> )
I 7	0,23
I 28	0,55

A raiz do erro quadrado médio (RMSE) e erro de previsão (PE) tiveram valores de 0,33 e 0,60 para produtividade, indicando estes resultados que o modelo obteve um excelente desempenho para a palma forrageira cultivar Orelha de Elefante Mexicana, devido a aproximação entre os valores observados e estimados. Já para raiz do erro quadrado médio normalizado (NRMSE), o valor de produtividade foi de 2,11 %, considerando a simulação excelente já que os valores estão abaixo de 10 % (Tabela 5).

**Tabela 5.** Validação do modelo AquaCrop para palma forrageira cultivar Orelha de elefante Mexicana irrigada

Estatísticas	Produtividade – Y
RMSE	0,33
NRMSE (%)	2,11
PE	0,60
EF	0,89
D	0,98

RMSE - erro quadrado médio; NRMSE - erro médio quadrático normalizado; PE - erro de previsão; EF - coeficiente de eficiência do modelo Nash-Sutcliffe e d - índice de concordância de Willmont.

O índice de eficiência de Nash-Sutcliffe (EF) e o índice de Willmont (d), avaliaram o desempenho do modelo como excelente, pois os valores foram de 0,89 e 0,98, respectivamente, no qual quanto mais próximo à um melhor é o resultado dos índices.

### Conclusões

A calibração e validação do modelo AquaCrop para a cultura da palma forrageira, cultivar Orelha de Elefante Mexicana e clima específico da mesorregião do Agreste paraibano, apresentou resultados satisfatórios no primeiro ciclo da forrageira, com produtividade simulada, similar as obtidas em campo para as frequências de 7 e 28 dias, tornando o AquaCrop, uma ótima ferramenta no auxílio da previsão agrometeorológica no campo.

### Referências

Ahmadi, S. H.; Mosallaeepour, E.; Kamgar-Haghighi, A. A.; Sepaskhah, A. R. Modeling maize yield and soil water content with AquaCrop under full and deficit irrigation managements. **Water Resources Management**, v.29, n.1, p.2837-2853, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0973-3>

Almeida, T. S.; Sedyama, G. C.; Alencar, L. P. Estimativa da produtividade de cafeeiros irrigados pelo método zona agroecológica espectral. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.1, p.1-11, 2017. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i1.727>

Alves, F. A. L.; Santos, D. C.; Silva, S. M. S.; Oliveira, M. A. B. Photosynthesis and gas exchanges of forage cactus varieties (Opuntia and Nopalea) grown under screen and irrigation. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v.25, n.1, p.1-15, 2020. <https://doi.org/10.12661/pap.2020.004>

Bacalhau, J. R.; Ribeiro Neto, A.; Oliveira, L. M. M. de. Aplicação de índice de vegetação no monitoramento da seca: Açude Algodões no Sertão pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.1, p.283-293, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1449.283-293>

Bernardo, S. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995

Bezerra, B. G.; Araújo, J. S.; Pereira, D. D.; Laurentino, G. Q.; Silva, L. L. D. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p.755-761, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000700013>

Cruz Neto, J. F.; Morais, J. E. F.; Souza, C. A. A.; Carvalho, H. F. S.; Rodrigues, C. T. A.; Silva, T. G. F. Applicability of agrometeorological indicators for analysis of water increment for irrigation in production systems of cactus forage, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.2, n.2, p.98-106, 2017. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1170.98-106>

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. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000900004>

Edvan, R. L.; Fernandes, P. D.; Carneiro, M. S. S.; Neder, D. G.; Araújo, J. S.; Andrade, A. P.; Souto Filho, L. T. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita. a *Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambiental*, v. 11, n. 4, p. 35-43, 2013. <https://doi.org/10.7213/academico.011.004.AO04>

Embrapa - National Soil Research Center. 2013. Brazilian system of soil classification. Embrapa, Brasília, Brazil.

Freitas, J. C. 2018. Calibração do modelo AquaCrop e necessidades hídricas da cultura do tomateiro cultivada em condições tropicais. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 119f.

Inmet (2019) Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 03 de jan. 2019.

Liguori, G.; Inglese, G.; Pernice, F.; Sortino, G.; Inglese, P. CO<sub>2</sub> uptake of *Opuntia ficusindica* (L.) Mill. whole trees and single cladodes, in relation to plant water status and cladode age. **Italian Journal of Agronomy**, v.8, n.3, p.14-20, 2013. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e3>

Lima, G. F. C.; Rego, 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. <http://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n226rc>

Marques, O. F. C.; Gomes, L. S. P.; Mourthé, M. H. F.; Braz, T. G. S.; Pires Neto, O. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.9, n.1, p.75-93, 2017.

Matsunaga, W. K. Evapotranspiração, coeficiente de cultivo e modelagem agrometeorológica da cebola cultivada no semiárido nordestino. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2019, 69 f

Minuzzi, R. B.; Lopes, F. Z. Desempenho agrônômico do milho em diferentes cenários climáticos no Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n.1, p. 734-740, 2015. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p734-740>

Morell, F. J.; Yang, H. S.; Cassman, K. G.; Wart, J. V.; Elmore, R. W.; Licht, M.; Coulter, J. A.; Ciampitti, I. A.; Pittelkow, C. M.; Brouder, S. M.; Thomison, P.; Lauer, J.; Graham, C.; Massey, R.; Grassini, P. Can crop simulation models be used to predict local to regional maize yields and total production in the U.S. **Corn Belt Field Crops Research**, v. 192, n.1, p. 1-12, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.04.004>

Nobel, P. S. **Biologia ambiental**. In: Barbera, G; Inglese, P.; Pimenta Barros, E. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João Pessoa: FAO, SEBRAE/PB, 2001. p. 36-48.

Nogueira de Sá, M. K.; Andrade, A. P.; Magalhães, A. L. R.; Valença, R. L.; Campos, F. S.; Araújo, F. S.; Araújo, G. G. L. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia Sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. **Research, Society and Development**, v.10, n.2, p.1-12, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>

Oliveira, L. A. M.; Azeredo, R. A.; Araújo, G. L.; Mantovani, E. C. Estimativa de produção em áreas irrigadas sob o cultivo da cultura do milho utilizando imagens de satélites. **Revista**

**Brasileira de Agricultura Irrigada**, Sobral, v.10, n.1, p.400-409, 2016.  
<https://doi.org/10.7127/rbai.v10n100321>

Oliveira, J. P. F.; Ferreira, M. A.; Alves, A. M. S. V.; Melo, A. C. C.; Andrade, I. B.; Urbano, S. A.; Suassuna, J. M. A.; Barros, L. J. A.; Melo, T. T. B. Carcass characteristics of lambs fed spineless cactus as a replacement for sugarcane. **Asian-Australasian Journal Animal Science**, v.31, n.4, p.529-536, 2018. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0375>

Paredes, P.; Melo-Abreu, J. P.; Alves, I.; Pereira, L. S. Assessing the performance of the FAO AquaCrop model to estimate maize yields and water use under full and deficit irrigation with focus on model parameterization. **Agriculture Water Management**, v.144, n.1, p.81-97, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.06.002>

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E. Reference Manual: AquaCrop Version 3.1 plus. Rome, Italy: FAO. 2011.

Rodriguez, R. D. G.; Singh, V. P.; Pruski, F. F.; Calegario, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil, **Hydrological Sciences Journal**, v.7, n.11, p.2096-2109, 2015. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>

Silva, V. P. R.; Silva, R. A.; Maciel, G. F.; Braga, C. C.; Silva Junior, J. L. C.; Souza, E. P.; Almeida, R. S. R.; Silva, M. T.; Holanda, R. M. Calibration and validation of the AquaCrop model for the soybean crop grown under different levels of irrigation in the Motopiba region, Brazil. **Ciência Rural**, v.48, n.1, p.1-8, 2018. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20161118>

Silva, A. P.; Souza, P. A. Zoneamento agroclimatológico para produção da palma forrageira no semiárido. **Braslian Journal of Development**, v.6, n.4, p.20048-20057, 2020. <http://doi.org/10.34117/bjdv6n4-251>

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: III Jornada de Iniciação Científica da EMBRAPA Semi-árido, Petrolina, Anais... Embrapa Semi-Árido, 2008.

Souza, D. C. F. de; Lima, I. da S.; Santana, J. A.; Almeida, A. Q. de; Gonzaga, M. I. da S.; Santana, J. F. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*opuntia sp.*) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.12, n.1, p. 2338-2347, 2018. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n100715>

Taiz, L.; Zeiger, E.; Moller, I. M.; Murphy, A. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 858 p., 2017.

Tsakmakis, I.; Kokkos, N.; Pisinaras, V.; Papaevangelou, V.; Hatzigiannakis, E.; Arampatzis, G.; Gikas, G. D.; Linker, R.; Zoras, S.; Evagelopoulos, V.; Tsihrintzis, V. A.; Battilani, A.; Sylaios, G. Operational Precise Irrigation for Cotton Cultivation through the Coupling of Meteorological and Crop Growth Models. **Water Resources Management**, v.31, n.1, p.563-580, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1548-7>

Wang, X.; Gassman, P. W.; Williams, J. R.; Potter, S.; Kemanian, A. R. Modeling and impact of soil management practices on runoff, sediment yield, maize productivity, and soil organic carbon using Apex. **Soil & Tillage Research**, v.101, n.1, p.78-88, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.07.014>

Winter, K.; Garcia, M.; Holtum, J. A. M. Drought-stress-induced up-regulation of CAM in seedlings of a tropical cactus, *Opuntia elatior*, operating predominantly in the C3 mode. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.11, p.4037-4042, 2011.

Xu, J.; Bai, W.; Li, Y.; Wang, H.; Yang, S.; Wei, Z. Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. **Agricultural Water Management**, v.213, n.1, p.289-297, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.028>

Zhou, Z.; Plauborg, F.; Parsons, D.; Andersen, M. N. Potato canopy growth, yield and soil water dynamics under different irrigation systems. **Agricultural Water Management**, v.202, n.1, p.9-18, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.009>