

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
UNIDADE ACADÊMICA DE SERRA TALHADA  
BACHARELADO EM AGRONOMIA**

**JOSÉ ORLANDO NUNES DA SILVA**

**FENOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA DURANTE O 2º CICLO PRODUTIVO**

**SERRA TALHADA  
PERNAMBUCO – BRASIL**

**2021**

**JOSÉ ORLANDO NUNES DA SILVA**

**FENOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA DURANTE O 2º CICLO PRODUTIVO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Agronomia da Universidade Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como requisito básico para conclusão do curso.

**Orientador:** Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

**SERRA TALHADA - PE**

**2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S586f

Silva, José Orlando Nunes

FENOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA DURANTE O 2º  
CICLO PRODUTIVO / José Orlando Nunes Silva. - 2021.  
44 f.

Orientador: Thieres George Freire da Silva.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em  
Agronomia, Serra Talhada, 2021.

1. Opuntia e Nopalea. 2. genótipos. 3. Semiárido. I. Silva, Thieres George Freire da, orient. II. Título

CDD 630

---

JOSÉ ORLANDO NUNES DA SILVA

**FENOLOGIA E DESEMPENHO AGRONÔMICO DE CLONES DE PALMA  
FORRAGEIRA DURANTE O 2º CICLO PRODUTIVO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Bacharelado em Agronomia da  
Universidade Federal Rural de Pernambuco -  
Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como  
requisito básico para conclusão do curso.

Aprovada em 23 de fevereiro de 2021.

Banca Examinadora

---

Prof. DSc. Thieres George Freire da Silva – UFRPE/UAST  
Orientador

---

Prof<sup>a</sup>. DSc. Luciana Sandra Bastos de Souza – UFRPE/UAST  
1º Examinador

---

MSc. Antônio Gebson Pinheiro – UFRPE/UAST  
2º Examinador

---

MSc. Cleber Pereira Alves – UFRPE/UAST  
3º Examinador

Aos meus pais, Noé Gerônimo da Silva e Adalgisa Nunes da Silva; aos meus irmãos, Maria das Neves Nunes da Silva, José Alberto Nunes da Silva, Maria do Carmo Nunes da Silva, José Nilson Nunes da Silva, José Daniel Nunes da Silva e José Cicero Nunes da Silva, por todo o apoio, dedicação, paciência, palavras de incentivo e exemplos de vida. Por várias vezes não mediram esforços para que eu conseguisse permanecer nos estudos.

Aos meus queridos sobrinhos João Vitor e Julia Kauany pelo amor e carinho recebido. Trouxeram consigo o brilho da vida. Vou sempre carregar comigo toda a admiração, respeito e gratidão que tenho por vocês. Sem vocês eu não teria conseguido.

À todos vocês,

**Dedico!**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Deus pelo prazer de viver, pela saúde, força para perseguir meus sonhos e proteção.

De forma especial, aos meus pais, Noé Gerônimo da Silva e Adalgisa Nunes da Silva, e irmãos, Maria das Neves Nunes da Silva, José Alberto Nunes da Silva, Maria do Carmo Nunes da Silva, José Nilson Nunes da Silva, José Daniel Nunes da Silva e José Cicero Nunes da Silva, que sempre torceram pelas minhas conquistas.

À professora Luciana Sandra Bastos de Souza, pelo tempo de trabalho com extensão universitária, sempre muito atenciosa, generosa e com muitos ensinamentos.

Ao professor André Lima, pela oportunidade de ter participado das atividades acadêmicas de sua disciplina, por meio da monitoria. Sempre muito empolgado e com ótimas metodologias de ensino.

Ao meu orientador, Prof. Thieres George Freire da Silva, pela oportunidade que me concedeu e todas as portas que abriu para mim. E também pelos conselhos, incentivos, confiança e direcionamentos. Serei eternamente grato!

A todos os membros do grupo GAS – Grupo de Agrometeorologia do Semiárido, pelas amizades construídas, trabalhos em equipe e momentos de alegrias (Cod. Lattes: [dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/3832266182260423](http://dgp.cnpq.br/dgp/espelhogrupo/3832266182260423)). Aprendi muito ao lado de vocês.

Agradeço a Gebson Pinheiro e Cleber Pereira pelo auxílio na elaboração do trabalho. Obrigado pelos incentivos, a amizade e a paciência.

Aos meus colegas de turma por todos os momentos vividos durante a graduação, pelas amizades e companheirismos.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), pela oportunidade de fazer parte desta Instituição e pela estrutura cedida para condução do experimento.

À todos os professores que contribuíram para a minha formação, do ensino fundamental a graduação, todos são muito especiais para mim.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro para condução do experimento e concessão de bolsas.

Meu muito obrigado!

*“ Não tenha medo do caminho. Tenha medo, sim, de não caminhar”.*

(Augusto Cury)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Nova delimitação da região semiárida brasileira. Adaptado de SUDENE, (2017). .....	15
<b>Figura 2.</b> Clones de palma forrageira no município Serra Talhada – PE, Brasil. Orelha de Elefante Mexicana ( <i>Opuntia stricta</i> ) (A), Orelha de Elefante Africana ( <i>Opuntia undulata</i> Griffiths) (B), V19 ( <i>Opuntia larreri</i> ) (C), F8 ( <i>Opuntia atropes</i> ) (D), Miúda ( <i>Nopalea cochenillifera</i> ) (E) e IPA Sertânia ( <i>Nopalea cochenillifera</i> ) (F).....	19
<b>Figura 3.</b> Ilustração simplificada do funcionamento do Metabolismo Ácido das Crassuláceas em plantas de palma forrageira. Adaptado de Buchanan (2000). .....	20
<b>Figura 4.</b> Distribuição dos tratamentos na área experimental. ....	25
<b>Figura 5.</b> Temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial (mm) e lâmina de irrigação aplicada (mm dia <sup>-1</sup> ) durante 14 meses de cultivo da palma forrageira. ....	27
<b>Figura 6.</b> Fenofases dos clones de F8 (A), V19 (B), IPA (C), Miúda (D), OEA (E) e OEM (F) com base na taxa de emissão de cladódios, sob irrigação com água salina. F – Fenofases; NCO – Número de cladódios por ordem de surgimento. ....	31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Nível de susceptibilidade a desertificação de acordo com o Índice de Aridez. .....	16
<b>Tabela 2.</b> Características físicas e químicas do Cambissolo Háplico cultivado com palma forrageira em ambiente Semiárido. ....	24
<b>Tabela 3.</b> Rendimento produtivo de seis clones de palma forrageira aos 14 meses, irrigados em ambiente Semiárido. ....	30

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
2.1 Crescimento populacional versus produção agropecuária e mudanças climáticas	13
2.2 Produção agrícola em ambiente semiárido e riscos de desertificação .....	14
2.3 Sistema de produção resiliente .....	16
2.4 Plantas forrageiras adaptadas ao ambiente semiárido: palma forrageira .....	17
2.4.1 Utilização de genótipos mais tolerantes .....	20
2.5 Irrigação suplementar como estratégia mitigatória .....	21
2.6 Irrigação com água salina .....	22
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	23
3.1 Objetivo Geral .....	23
3.2 Objetivos específicos .....	24
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
4.1 Descrição da área experimental .....	24
4.2 Design experimental .....	25
4.3 Irrigação .....	26
4.4 Variáveis meteorológicas e lâmina de irrigação .....	26
4.5 Crescimento .....	27
4.6 Fenologia .....	28
4.7 Rendimento de biomassa .....	28
4.8 Análise estatística .....	29
<b>5. RESULTADOS</b> .....	29
5.1 Rendimento de biomassa .....	29
5.2 Fenofases vegetativa .....	30
<b>6. DISCUSSÃO</b> .....	32
6.1 Rendimento de biomassa .....	32
6.2 Fenofases de crescimento .....	33
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	34
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	35

## RESUMO

A seleção de espécies de plantas forrageiras adaptadas ao clima Semiárido reduz os impactos promovidos pelas adversidades climáticas sobre a pecuária. Este estudo investigou o desempenho de seis clones de palma forrageira irrigados em ambiente semiárido. O experimento foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras – Centro REF, Serra Talhada – PE, Brasil. Os clones avaliados foram: Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffiths), V19 (*Opuntia larreri*), Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e F8 (*Opuntia atropes*), dispostos em delineamento em blocos casualizados, com três repetições, sendo as avaliações realizadas em nível de clone. A irrigação foi baseada em 120% da evapotranspiração da cultura (ETc), adotando o coeficiente de cultura (Kc) da palma forrageira de 0,52. O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento, com água proveniente de poço artesiano, apresentando condutividade elétrica média de 1,6 dS m<sup>-1</sup>. Durante o período experimental a precipitação acumulada foi de 1214,5 mm e a lâmina de irrigação aplicada total igual a 532,76 mm, totalizando 1747,22 mm. Para análise do desempenho foram analisados: a fenologia, o índice de área dos cladódios, a mortalidade do estande de plantas e o rendimento de matéria verde e matéria seca. Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Os clones OEM e OEA apresentaram rendimento de matéria fresca (Y. MF) 3,22 vezes superior à média dos demais clones (V19, MIU, IPA e F8), para o rendimento de matéria seca (Y. MS) as médias foram 3,39 vezes superior. O clone F8 apresentou o maior percentual de mortalidade do estande de plantas (96,30%). Para do IAC, não houve diferença significativa entre os clones. O número e duração das fenofases variaram de acordo com as características morfológicas de crescimento de cada clone. Os clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) e Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata*) apresentaram o maior potencial produtivo em comparação aos demais clones, sendo os clones mais recomendado para cultivo em ambiente semiárido.

**Palavras-chave:** *Opuntia* e *Nopalea*; genótipos; semiárido

## ABSTRACT

The selection of species of forage plants adapted to the Semi-arid climate reduces the impacts promoted by climatic adversities on livestock. This study investigated the performance of six forage cactus clones irrigated in a semi-arid environment. The experiment was conducted at the Center for International Reference for Agrometeorological Studies of Palma and other Forage Plants - Centro REF, Serra Talhada - PE, Brazil. The clones evaluated were: Mexican Elephant Ear (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), African Elephant Ear (*Opuntia undulata* Griffiths), V19 (*Opuntia larreri*), Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) and F8 (*Opuntia atropes*), arranged in a randomized block design, with three replications, and the evaluations were performed at the clone level. Irrigation was based on 120% of crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), adopting the crop coefficient (K<sub>c</sub>) of the forage cactus of 0.52. The irrigation system adopted was by drip, with water from artesian well, presenting average electrical conductivity of 1.6 dS m<sup>-1</sup>. During the experimental period, accumulated precipitation was 1214.5 mm and the total applied irrigation depth was equal to 532.76 mm, totaling 1747.22 mm. For performance analysis, we analyzed: phenology, clade area index, plant stand mortality and green matter and dry matter yield. The data were submitted to variance analysis and Scott-Knott test at the level of 5% probability. The clones OEM and OEA presented fresh matter yield (Y. MF) 3.22 times higher than the average of the other clones (V19, MIU, IPA and F8), for dry matter yield (Y. MS) the averages were 3.39 times higher. Clone F8 showed the highest percentage of plant stand mortality (96.30%). For IAC, there was no significant difference between clones. The number and duration of phenophases varied according to the morphological growth characteristics of each clone. The clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) and Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata*) presented the highest productive potential compared to the other clones, being the clones most recommended for cultivation in a semi-arid environment.

**Palavras-chave:** *Opuntia* and *Nopalea*; genotypes; Semiarid

## 1. INTRODUÇÃO

O modelo de agricultura praticado na região semiárida brasileira é bastante dependente das condições climáticas que, devido as suas oscilações, promovem vulnerabilidade nos sistemas de produção agropecuário, podendo ocasionar perdas econômicas significativas (MORAES et al., 2019). As regiões semiáridas são caracterizadas por apresentar baixa precipitação pluvial, com média inferior a 800 mm ano<sup>-1</sup>, elevada variabilidade espaço-temporal, demanda evaporativa superior a 2000 mm ano<sup>-1</sup>, índice de aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50, percentual de déficit hídrico anual igual ou superior a 60% e ocorrência de secas periódicas, o que resulta em déficit hídrico (MEDEIROS et al., 2020; SUDENE, 2017).

Nessas regiões, uma das principais atividades econômica é a pecuária. Em geral, a alimentação dos animais é proveniente da vegetação nativa, (i. e. Caatinga) a qual apresenta baixo conteúdo de matéria seca na produção de biomassa anual (<5 t ha<sup>-1</sup>) e baixo suporte forrageiro (<1 t ano<sup>-1</sup>) (DUBEUX et al., 2015; QUEIROZ et al., 2020). Logo, práticas mitigatórias e de resiliência agrícola, como a utilização de plantas forrageiras adaptadas ao clima da região, se tornam uma alternativa para garantir alimento para os rebanhos, principalmente durante a época seca.

Dentre as espécies adaptadas, uma cultura que merece destaque é a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), que devido a suas características morfológicas, fisiológicas e metabólicas, apresenta tolerância ao estresse hídrico, altas temperaturas, elevada eficiência no uso da água e bom desenvolvimento sob salinidade (NUNES et al., 2020; QUEIROZ et al., 2015; SILVA et al., 2015; TAIZ; ZEIGER, 2017). Além de apresentar boa aceitabilidade pelos animais, alta digestibilidade, grande quantidade de carboidratos solúveis, baixo custo de produção e alto rendimento de biomassa (CARDOSO et al., 2019; MOURA et al., 2020; SANTOS et al., 2020).

Mesmo apresentando tais características de adaptação a ambientes secos, estudos têm demonstrado que a prática de irrigação na palma forrageira proporciona incremento na sua produtividade (PEREIRA et al., 2015; QUEIROZ et al., 2015; ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017). A irrigação utilizada de forma complementar a precipitação pluviométrica torna o cultivo de palma forrageira mais estável ao longo do tempo, uma vez que não é atingido pelos eventos de irregularidade climática (e. g. estiagem prolongada). Para tal, é possível utilizar águas que apresentem teores salinos, já que, em grande parte das regiões de clima semiárido a água disponível para irrigação não

apresenta boa qualidade, devido a presença de grande quantidade de sais (MASTERS; BENES; NORMAN, 2007; PIMENTEL; SHARQAWY, 2020).

Entretanto, os clones de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, apresentam diferentes respostas na produção sob irrigação e as condições edafoclimáticas do ambiente Semiárido (AMORIM et al., 2015; BARBOSA et al., 2018; SILVA et al., 2015; ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017).

Poucos são os estudos que demonstram o rendimento produtivo e a fenologia dos genótipos de palma forrageira pertencentes ao gênero *Opuntia* e *Nopalea* (AMORIM et al., 2017; DUBEUX JÚNIOR et al., 2010; CAVALCANTE et al., 2014; SILVA et al., 2015). Com isso, foi levantada a hipótese de que a adoção de irrigação suplementar com água salina associada a expressão genéticas dos clones de palma forrageira, promova incremento de biomassa por unidade de área, gerando benéficos nos sistemas de produção em ambiente Semiárido.

## **2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Crescimento populacional versus produção agropecuária e mudanças climáticas**

A população mundial deve crescer em 2 bilhões de habitantes nos próximos 30 anos, chegando a 9,7 bilhões até 2050, conforme dados da Organização das Nações Unidas - ONU (THEURL et al., 2020). Para atender a demanda de consumo por alimento dessa população, a produção deve aumentar em 60% (FAO, 2016). No entanto, o processo de mudanças climáticas tem reduzido a disponibilidade hídrica e promovido alterações na fisiologia vegetal.

Dessa forma, o aquecimento global, promovido pelo aumento dos gases do efeito estufa (GEE, i. e. dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)), representa uma série de riscos à produtividade das culturas em todo o mundo (LEISNER, 2020; PALIT et al., 2020; TAIZ; ZEIGER, 2017).

Em estudo, pesquisadores apontaram redução no rendimento médio dos vegetais em decorrência das mudanças climáticas, variando em 22% para um aumento de 250 ppm de CO<sub>2</sub>, 8,9% para um aumento em 25% de O<sub>3</sub> e 31,5% caso a temperatura aumente em 4 °C (SCHEELBEEK et al., 2018). Além de promover redução nos teores nutricionais das culturas, devido a falhas na concentração de minerais e proteínas nos grãos (LOLADZE, 2014; MCGRATH; LOBELL, 2013; MYERS, 2014).

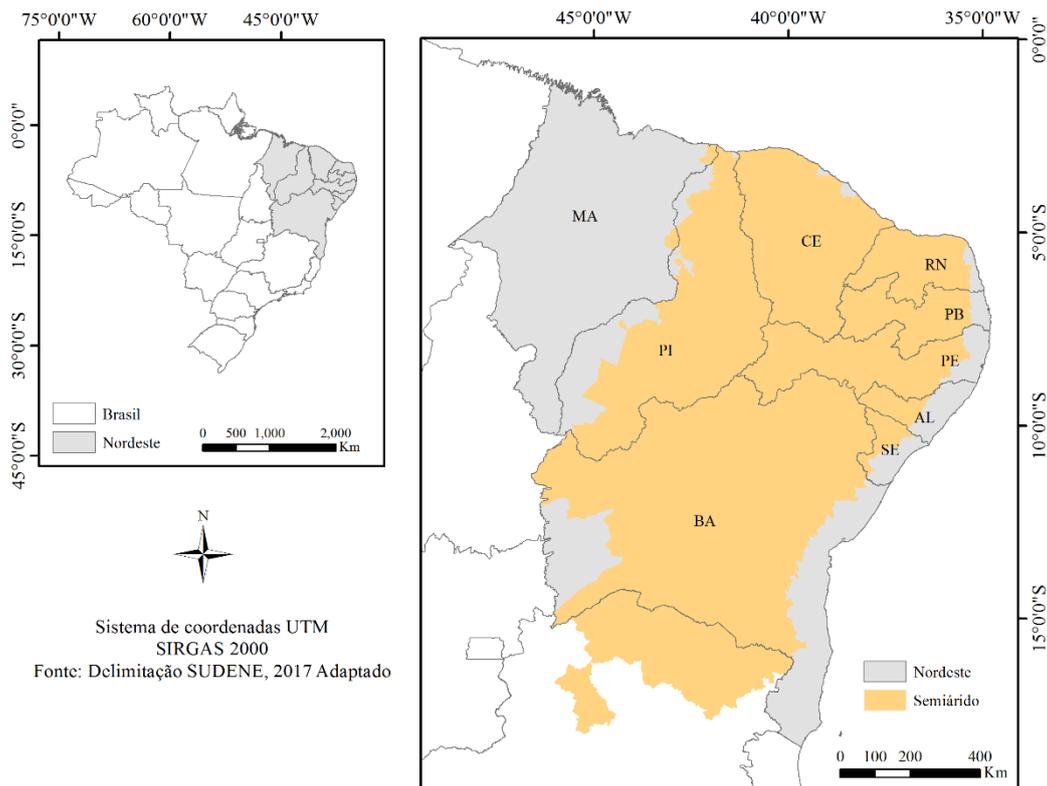
Somado a isso, espera-se que ocorra um aumento na incidência de eventos climáticos extremos, como as grandes secas (CHEN et al., 2015; MARENGO, 2008). Até o final do século, as secas tendem a ser mais intensas e prolongadas, em escala regional e global (LEISNER, 2020). Entre os desastres ambientais, a seca possui grande relevância, sendo responsável pela queda de produção, déficit hídrico e em casos extremos a morte de pessoas (SANTOS; AQUINO; DE, 2017).

Eventos de secas são mais recorrentes nas regiões áridas e semiáridas, que ocupam boa parte das áreas agricultáveis em torno do globo. Na região semiárida do Brasil, a cada 100 anos ocorrem cerca de dezoito a vinte anos de seca, sendo o século XX o mais árido até então, com 27 anos de estiagem (MARENGO, 2008). A ocorrência de secas é um fator de risco para segurança hídrica e principalmente a agricultura de subsistência nessas regiões, provocando perdas econômicas, que resultam em pobreza e êxodo rural (AMARAL et al., 2019; ANDRADE; MARQUES, 2017; MARENGO et al., 2018; TABARELLI et al., 2018).

## **2.2 Produção agrícola em ambiente semiárido e riscos de desertificação**

As regiões secas são mais vulneráveis as alterações do clima, quando comparadas as demais regiões, isso se deve aos aspectos naturais como altas temperaturas e elevado déficit hídrico durante grande parte do ano (CARVALHO et al., 2015; MATA; RESENDE, 2018; VIEIRA et al., 2020). No mundo, as regiões áridas e semiáridas ocupam cerca de 55% do território (HUSSAIN et al., 2018). No Brasil, o Semiárido está localizado na região Nordeste do país, com 1.128.697 km<sup>2</sup> de extensão (Figura 1), comportando 1.262 municípios e população de 27.870.242 habitantes, sendo a região semiárida mais populosa do mundo (SUDENE, 2017).

Essa região é caracterizada por apresentar baixos índices pluviométricos ( $\leq 800$  mm ano<sup>-1</sup>), temperatura média do ar de 23 a 27 °C, demanda atmosférica de 2.000 mm ano<sup>-1</sup>, umidade relativa média do ar em torno de 50%, índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e percentual de déficit hídrico anual igual ou superior a 60% (MOURA et al., 2007; SUDENE, 2017).



**Figura 1.** Nova delimitação da região semiárida brasileira. Adaptado de SUDENE, (2017).

Nessa região o processo de mudanças climáticas é mais acentuado. Nos últimos 50 anos a temperatura no Brasil aumentou 0,7 °C, enquanto no Nordeste, esse aumento foi de 1,5 a 2 °C em apenas 41 anos (MARENGO, 2008). Até o final do século, a temperatura nessa região deve aumentar entre 2 e 4 °C, além de redução nas chuvas de aproximadamente 15 a 20%, sob cenário climático mais pessimista (FERREIRA, 2017; MARENGO, 2008).

A agricultura da região é composta em grande parte pela agricultura familiar, com baixo uso de tecnologia na produção, tornando os sistemas de produção vulneráveis, uma vez que são dependentes das condições climáticas que quase sempre são desfavoráveis. Dessa forma, a maioria dos cultivos são realizados apenas durante o período chuvoso, podendo ainda, ocorrer eventos de veranicos (i. e. período seco dentro da quadra chuvosa) que, dependendo da intensidade e duração provoca danos na lavoura (CARVALHO, 2020).

A pecuária extensiva é mais comum na região, onde a vegetação nativa é a fonte de alimento para os animais. Entretanto, a Caatinga é submetida à sistemas de manejo inadequado, apresentado como consequência baixa capacidade de suporte forrageiro,

estabilidade da produção apenas durante o período chuvoso e degradação do ecossistema (BUENO; ROCHA, 2018). A degradação e exposição do solo pode contribuir com a desertificação, ocasionado perdas nas qualidades físicas, químicas e biológicas do solo.

A desertificação é um processo de degradação e perda gradativa da capacidade produtiva do solo, decorrente das atividades antropogênicas e das mudanças do clima, em ambiente de clima árido, semiárido e sub úmido seco (ACCIOLY, 2010). Entre as ações antrópicas que contribuem para a desertificação, destacam-se o desmatamento, pastejo intensivo e manejo inadequado da irrigação com água salina. A desertificação, ainda, está associada a ocorrência de secas prolongadas e a variabilidade do regime pluviométrico, que limita o crescimento da cobertura vegetal, deixando os solos expostos aos intemperes naturais (SANTOS; AQUINO; DE, 2017).

O nível de susceptibilidade das áreas a desertificação é obtido a partir do Índice de Aridez (Tabela 1). O Índice de Aridez é dado pela razão entre a precipitação média anual e a evapotranspiração potencial anual, modelo esse, que foi desenvolvido por THORNTHWAITE, (1948) e aperfeiçoado por Penman-Monteith, (1953).

**Tabela 1.** Nível de susceptibilidade a desertificação de acordo com o Índice de Aridez.

Nível de susceptibilidade à desertificação	Índice de Aridez (IA)
Muito alta	0,05 a 0,20
Alta	$0,20 < IA < 0,50$
Moderado	$0,51 < IA < 0,65$

**Fonte:** Matallo Junior (2003)

No mundo, mais de um bilhão de pessoas são afetadas pela desertificação, gerando prejuízos na faixa US\$ 42 bilhões por ano, enquanto medidas de prevenção custariam entre 10 e 20 bilhões de dólares por ano (TAVARES; ARRUDA; SILVA, 2019). Tais medidas de prevenção a desertificação, podem ser obtidas por meio de cultivos resilientes, que promovem a cobertura e ocupação do solo, além de produzir forragem para alimentação dos animais.

### 2.3 Sistema de produção resiliente

A vulnerabilidade dos sistemas agrícolas a variação do clima, muitas vezes se transforma em insegurança alimentar e desnutrição, que atualmente afeta cerca de 800

milhões de pessoas no mundo (FAO, 2018). O processo de mudanças climáticas e as pressões de desenvolvimento para atender à crescente demanda por alimentos, aumentou significativamente a vulnerabilidade dos sistemas agrícolas, com impactos principalmente sobre os mais pobres que praticam a agricultura de subsistência e que, devido as condições financeiras possuem pouca capacidade em lidar com a degradação e as mudanças no clima (ROY et al., 2019).

Na região semiárida brasileira a agricultura é uma atividade naturalmente arriscada, devido as variações climáticas, ocorrência de secas, baixa capacidade adaptativa e pobreza da população (ANDRADE; SOUZA; SILVA, 2013). O resultado disso é o enfraquecimento do sistema de produção, distúrbios ecológicos e aumento da pobreza.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) define resiliência agrícola como a capacidade de um sistema e seus componentes de antecipar, adaptar-se ou se recuperar de um evento perigoso de maneira oportuna e eficiente (FIELD et al., 2012). A resiliência agrícola é um fator importante na manutenção dos sistemas agrícolas e para enfrentar desafios futuros, como o abastecimento de alimentos para uma população em crescimento, adversidades climáticas, fornecimento de matéria prima para indústria e instabilidade econômica (CHAUDHARY; GUSTAFSON; MATHYS, 2018).

Com isso, sistemas de cultivos resilientes são recomendados para promover o desenvolvimento sustentável, econômico e reduzir a vulnerabilidade do setor agrícola as adversidades climáticas em ambiente semiárido (DOUXCHAMPS et al., 2017; MICHLER et al., 2019; SZYMCZAK et al., 2020; WILLIAMS et al., 2020). Os cultivos resilientes são compostos por vários métodos, como a consorciação entre as culturas, escolhas de espécies adaptadas as condições edafoclimáticas da região, densidade de plantio adequada, correção nutricional e manejo do solo, controle de pragas e doenças, uso da irrigação complementar, e uso de cobertura morta, viva ou sintética do solo (SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

#### **2.4 Plantas forrageiras adaptadas ao ambiente semiárido: palma forrageira**

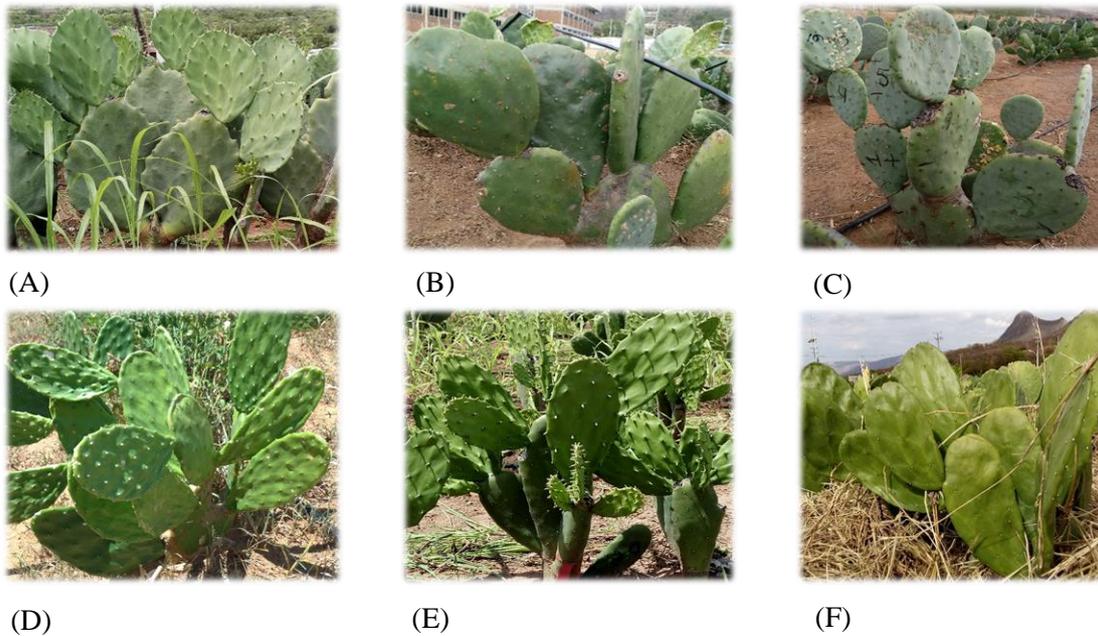
A variabilidade sazonal da precipitação pluvial, em escala inter e intra-anual, dificulta a produção de forragem em ambiente semiárido (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010). Nesse sentido, a escolha pela espécie forrageira adaptada as condições

edafoclimáticas da região é essencial para manter a produção de forragem estável e que atenda a demanda dos animais por alimento.

Algumas espécies forrageiras adaptas ao clima semiárido são: o capim- buffel (*Cenchrus ciliaris*), a maniçoba (*Manihot* spp.), o sorgo forrageiro (*Sorghum* spp.) e a palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) (CÂNDIDO; ARAÚJO; CAVALCANTE, 2005). Dentre estas espécies, destaca-se a palma forrageira, devido ao elevado potencial produtivo em ambiente Semiárido (SILVA et al., 2015).

Originária do México, a palma forrageira foi introduzida no Brasil em meados do século XIX, com o intuito de produzir o corante carmim a partir da cochonilha *Dactylopius coccus*, mas a atividade não obteve sucesso, então descobriu-se que a palma possuía potencial forrageiro e, assim, foi destinada para alimentação animal e difundida pela região semiárida. O insucesso na produção do corante se deu pelo fato do equívoco na introdução da cochonilha, foi adquirida a cochonilha do Carmim (*Dactylopius opuntiae*) que é a principal praga da palma forrageira e não é eficiente para a produção do corante. Essa praga foi solta e dizimou os palmais do Nordeste brasileiro (LIMA et al., 2017; VASCONCELOS et al., 2009).

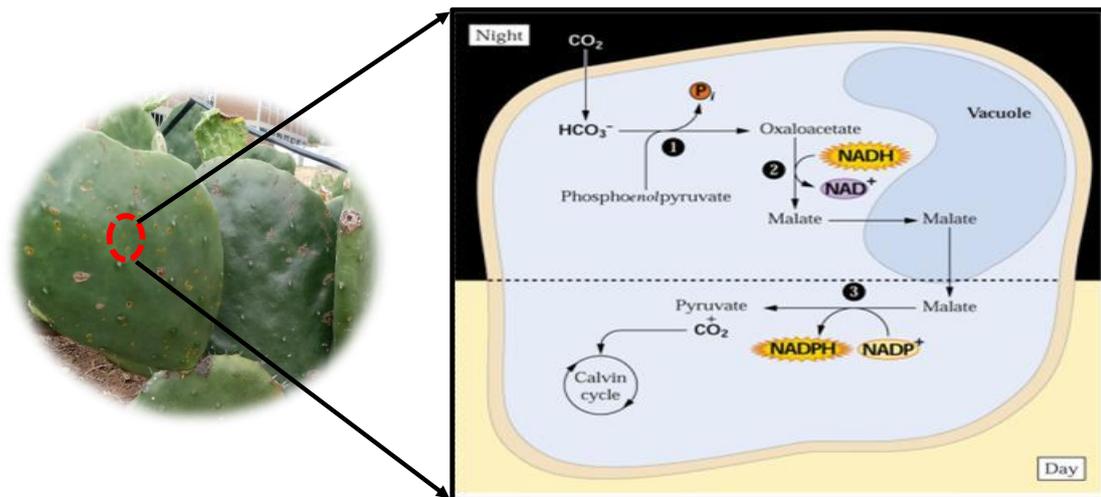
Para recuperar os palmais foram selecionados clones de palma forrageira do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, resistentes a cochonilha do carmim. Os clones de maior destaque são a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*), Miúda (*Nopalea cochenillifera*) e IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*), entretanto, outros clones possuem potencial, como a Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffiths), V19 (*Opuntia larreri*) e F8 (*Opuntia atropes*) (Figura 2) (VASCONCELOS et al., 2009).



**Figura 2.** Clones de palma forrageira no município Serra Talhada – PE, Brasil. Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) (A), Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata* Griffiths) (B), V19 (*Opuntia larreri*) (C), F8 (*Opuntia atropes*) (D), Miúda (*Nopalea cochenillifera*) (E) e IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera*) (F).

A palma forrageira, por ser uma cactácea, apresenta o metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), características morfológicas (cladódios, película esפה) e fisiológicos (abertura dos estômatos durante a noite), que permite uma melhor eficiência no uso da água, nutrientes, tolerância ao estresse hídrico e altas temperaturas, com boa produção de fitomassa.

A abertura estomática para captura do CO<sub>2</sub> atmosférico no período noturno reduz as perdas de água por transpiração. O CO<sub>2</sub> capturado é convertido em malato e armazenado nos vacúolos das células na forma de ácido málico. Durante o dia o malato é transportado para os cloroplastos, descarboxilado pela enzima NADP-málica, o CO<sub>2</sub> é liberado e a enzima Rubisco pode atuar da mesma forma que no metabolismo C<sub>3</sub>, mas com os estômatos fechados, resultando em máxima eficiência no uso da água (Figura 3) (NUNES, 2011; SCALISI et al., 2016; SOUZA FILHO et al., 2016).



**Figura 3.** Ilustração simplificada do funcionamento do Metabolismo Ácido das Crassuláceas em plantas de palma forrageira. Adaptado de Buchanan (2000).

No Brasil são cultivados cerca de 600.000 ha de palma forrageira e no mundo essa área pode chegar a 1.000.000 ha (CARDADOR-MARTÍNEZ; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ; SANDOVAL, 2011; GARCETE-GÓMEZ et al., 2017). A palma forrageira é uma excelente fonte nutricional para os ruminantes, possuindo alto teor de carboidratos solúveis, alta digestibilidade e grande produtividade de matéria fresca (CARDOSO et al., 2019; MOURA et al., 2020; SANTOS et al., 2020). Além de reduzir o consumo de água pelos animais, já que possui 90% de água em sua constituição, e pode ser utilizada na recuperação de áreas degradadas (CHEIKH ROUHOU et al., 2018).

#### 2.4.1 Utilização de genótipos mais tolerantes

O incremento produtivo de uma cultura em uma determinada região provém da capacidade de adaptação ao ambiente e do manejo empregado, que facilita a conversão da água, radiação e nutrientes em fotoassimilados, com ganhos de produtividade (FIRINCIOĞLU et al., 2010). Quanto ao manejo, características como tolerância a níveis salinos e adensamento são desejáveis. Na região semiárida brasileira grande parte das propriedades rurais são de pequeno porte e as águas dos poços apresentam elevados teores salinos (GUANZIROLI; BUAINAIN; DI SABBATO, 2012; PIMENTEL; SHARQAWY, 2020).

Outro aspecto relevante a essa região é a escassez hídrica, devido à baixa precipitação pluvial, em torno de 800 mm ano<sup>-1</sup>, alta variabilidade espaço-temporal e alta demanda evaporativa, superior a 2000 mm ano<sup>-1</sup>, gerando deficiência hídrica durante

grande parte do ano (MEDEIROS et al., 2020; MOURA et al., 2007; SUDENE, 2017). A escolha de espécies forrageiras tolerante ao estresse hídrico e com alta eficácia no uso da água é essencial para manter a produção de forragem estável durante todo o ano.

Devido ao metabolismo fotossintético MAC, a palma forrageira apresenta eficiência no uso da água 11x maior, com relação a espécies com metabolismo C<sub>3</sub>, produzindo quatro vezes mais matéria seca por milímetro de água aplicada (GUSHA et al., 2015).

Pereira; Cordery; Iacovides. (2012) relatam que as plantas MAC consomem em média 50 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca, enquanto plantas com metabolismo C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> consomem em média 1000 e 500 kg de água, respectivamente, para produzir a mesma quantidade de matéria seca. Com relação a perda de água durante as trocas gasosas, as plantas MAC perdem de 50 a 100 g de água por grama de CO<sub>2</sub> obtido, enquanto plantas C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> chegam a perder 300g e 500g de água, respectivamente (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Além disso, no caso da palma forrageira, pequenas precipitações podem ser aproveitadas por essa espécie, isso graças ao sistema radicular superficial distribuído de forma horizontal no solo e o grande potencial osmótico das raízes (BORLAND et al., 2015; EDVAN et al., 2013; SNYMAN, 2006). Além disso, a palma forrageira apresenta elevada capacidade de armazenamento de água no tecido esponjoso presente nos cladódios (SCALISI et al., 2016). Sendo assim, essa cultura apresenta vantagens produtivas em ambiente semiárido.

Vários genótipos de palma forrageira estão distribuídos pela região semiárida brasileira (FREIRE, 2012; LOPES, 2010). As divergências genéticas entre os genótipos revelam graus variados de tolerâncias aos estresses provocados pelo clima, deficiência hídrica e sais. Diversos estudo tem avaliado o crescimento e a produtividade de clones de palma forrageira em regiões e condições de manejo distintas (CAVALCANTE et al., 2014; ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017; SILVA et al., 2015). O cultivo de genótipos mais adaptados a região resulta em ganhos de produtividade.

## **2.5 Irrigação suplementar como estratégia mitigatória**

Por mais que a palma forrageira apresente tolerância ao déficit hídrico, vários estudos têm demonstrado incremento na produtividade pelo uso da irrigação (DUBEUX et al., 2015; LEMOS et al., 2021; PEREIRA et al., 2015; QUEIROZ et al., 2015). Sob

condições de déficit hídrico a palma forrageira apresenta murcha e baixo desempenho produtivo (LEMOS et al., 2021). Nesse aspecto, a irrigação é fundamental para atender a necessidade de água da cultura e diminuir os riscos de perdas na produção.

Em condições irrigadas, a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) pode produzir entre 50 e 60 vezes mais forragem por hectare em comparação com a Caatinga (DUBEUX et al., 2015). Queiroz et al. 2015 estudando o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação para o clone Orelha de Elefante Mexicana, determinou que as lâminas de irrigação na faixa de 1048 e 1096 mm para o ciclo de 12 meses, promovem os melhores resultados.

Outros estudos apontam que a palma forrageira requer entre 50-75 m<sup>3</sup> de água ha<sup>-1</sup> ao mês para se obter alto rendimento de biomassa (LEMOS et al., 2021). Santos et al. (2017) estudando as lâminas e frequência de irrigação, concluiu que a lâmina correspondente a 33% da Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) aplicada na frequência de três dias, apresentou os melhores resultados. Sob condições irrigadas a palma forrageira pode apresentar rendimentos de matéria fresca na faixa de 600 t ha<sup>-1</sup>, e em condições de sequeiro a produtividade média varia entre 120-160 t ha<sup>-1</sup> (LIMA et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Experimentos mais detalhadas foram realizados por Queiroz et al. (2015), para determinar a exigência hídrica da palma forrageira, como o K<sub>c</sub> – coeficiente de cultivo, que de acordo com os autores é 0,52. O sistema de irrigação mais indicado para essa cultura e para as condições climáticas do semiárido é a irrigação por gotejamento, que diminui as perdas de água por evaporação ou percolação e aumenta a eficiência na aplicação da água (SANTOS; DONATO; COTRIM JR, 2020). No entanto, apenas 2-3% da região semiárida é apta para irrigação, devido a condições do solo e limitações de água (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010). Dessa forma, é necessário buscar fontes alternativas de águas para irrigação na cultura da palma forrageira.

## **2.6 Irrigação com água salina**

Cerca de 30 milhões de hectares no globo são prejudicados pelo manejo inadequado da irrigação com águas de elevados teores salinos e, desses, ao menos entre 0,25 e 0,5 milhões de hectares são perdidos anualmente pela salinização dos solos (FAO, 2002). No Brasil, grande parte dos solos da região nordeste são formados sob o cristalino, composto por rochas ígneas e metamórficas, que em contato com a água liberam sais

solúveis de sua composição (PORTO et al., 2019). O que torna a água salina em grande parte dessa região.

A quantidade de sais presente na água é avaliada pela condutividade elétrica (CE), que de acordo com Richards, (1954) a classificação é dividida em águas com salinidade baixa (CE entre 0,10 e 0,25 dS m<sup>-1</sup>), salinidade média (CE entre 0,25 e 0,75 dS m<sup>-1</sup>), salinidade alta (CE entre 0,75 e 2,25 dS m<sup>-1</sup>) e salinidade muito alta (CE superior a 2,25 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C). Estudando a qualidade das águas superficiais e subterrâneas em 33 municípios da zona semiárida do estado de Pernambuco, Nunes Filho et al. (2000) descobriram que 38% das águas subterrâneas e 45% das águas superficiais apresentaram salinidade média, enquanto 28% e 30%, na mesma sequência, apresentaram salinidade alta. Nesse sentido, águas com elevados teores salinos podem ser manejadas de forma sustentável em áreas implantadas com espécies tolerantes aos sais (MASTERS; BENES; NORMAN, 2007).

Estudando o mecanismo de tolerância das plantas a salinidade, Munns; Tester, (2008) afirmam que a salinidade do extrato de saturação do solo na faixa de 0,76 a 2,0 dS m<sup>-1</sup> não afeta o crescimento da maioria das forragens, enquanto valores na faixa de 2,0 a 3,5 dS m<sup>-1</sup> pode interferir no desenvolvimento das plantas, inclusive da palma forrageira. Para a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO, (2005) o solo é considerado salino quando a CE for superior a 4 dS m<sup>-1</sup>.

Aplicando-se água com condutividade elétrica de 3,6 dS m<sup>-1</sup> em 20 genótipos de palma forrageira, Freire, (2012) obteve as maiores produtividades com os clones Orelha de Elefante Mexicana e Africana, enquanto a menor produtividade foi observada no clone F-8. Lima et al. (2018) não observaram redução na produtividade do clone Orelha de Elefante Mexicana em virtude da irrigação com água de salinidade 1,6 dS m<sup>-1</sup>. Mais estudos precisam ser realizados para avaliar a eficiência de diferentes cultivares de palma forrageira sob salinidade.

### **3.OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo Geral**

Avaliar o desempenho de seis clones de palma forrageira irrigados em ambiente Semiárido.

### 3.2 Objetivos específicos

Verificar a contribuição do genótipo no rendimento final da cultura, por meio da análise de produtividade, fases fenológicas e índice de área do cladódio.

Recomendar o clone que apresente as melhores características para cultivo em ambiente semiárido sob irrigação com água salina, visando melhorar os sistemas de produção nessas regiões.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras - CENTROREF, na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE/UAST), Serra Talhada, PE, Brasil (lat. 7° 59' S, long. 38° 15' O e alt. 461 m). A região é classificada como Semiárida do tipo BSw<sup>h</sup>, com ocorrência de chuvas no verão (ALVARES et al., 2013).

A precipitação média pluvial local é de 642,0 mm ano<sup>-1</sup>, com temperatura do ar média de 24,8°C, umidade relativa do ar de 62,0% e evapotranspiração potencial de 1.800 mm ano<sup>-1</sup> (PEREIRA et al., 2015). O solo da área do experimento é do tipo Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (Tabela 2).

**Tabela 2.** Características físicas e químicas do Cambissolo Háplico cultivado com palma forrageira em ambiente semiárido.

Prof.	pd	Ø	Areia	Silte	Argila
(cm)	g cm <sup>-3</sup>	%	.....g kg <sup>-1</sup> .....	.....g kg <sup>-1</sup> .....	.....g kg <sup>-1</sup> .....
0-20	1,45	42,27	828,6	148,3	23,2
20-40	1,34	46,76	795,4	160,1	44,6

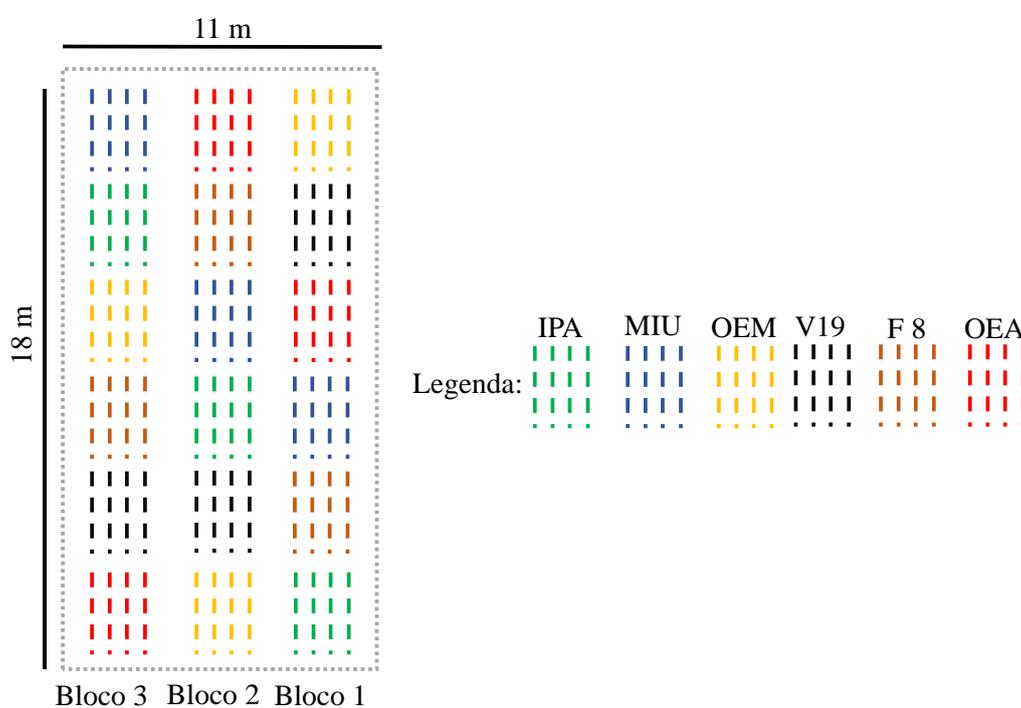
  

Propriedades químicas										
Prof.	C.E.	pH	C	P	K	Na	Ca	Mg	CTC	V
(cm)	dS m <sup>-1</sup>		g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	%				
0-20	0,33	6,0	4,6	168,9	13,8	1,09	3,5	1,90	20,9	97,2
20-40	0,24	6,3	3,0	154,1	11,8	1,47	2,9	1,75	18,3	98,7

Prof.: profundidade. pd: densidade do solo. Ø: porosidade total. C.E.: condutividade elétrica do extrato de saturação. CTC: capacidade de troca de cátions. V: saturação de bases.

## 4.2 Design experimental

O experimento foi disposto no delineamento em blocos casualizados com seis tratamentos e três repetições (Figura 4). Os tratamentos consistiram em seis clones de palma forrageira dos gêneros *Opuntia* e *Nopalea*. No primeiro estão inseridos os clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM, *Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Orelha de Elefante Africana (OEA, *Opuntia undulata* Griffiths), V19 (*Opuntia larreri*) e F8 (*Opuntia atropes*), enquanto no gênero *Nopalea* estão os clones Miúda (MIU, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e IPA Sertânia (IPA, *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck).



**Figura 4.** Distribuição dos tratamentos na área experimental.

Antes da realização do plantio, o solo foi preparado com aração, gradagem e sulcagem. Enterrou-se metade do comprimento do cladódio no solo, com espaçamento de 1,2 m entre linha e 0,2 m entre plantas, resultando em densidade de plantio de 41.667 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada parcela experimental teve dimensão de 3 x 3 m.

O plantio foi realizado em dezembro de 2017 e, após 14 meses, realizou-se a primeira colheita. O presente estudo iniciou-se no segundo ciclo da cultura, a partir do dia 28 de março de 2019, quando foi realizado corte de uniformização deixando em

campo apenas o cladódio basal e os de primeira ordem, sendo conduzido até dia 15 maio de 2020, totalizando 14 meses, quando foi realizado a colheita.

Foi realizado adubação química conforme a recomendação do Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, aplicando-se 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, 60 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo e 100 kg ha<sup>-1</sup> de potássio.

### **4.3 Irrigação**

O experimento foi irrigado três vezes por semana (segunda, quarta e sexta), utilizando-se um sistema de irrigação por gotejamento, com eficiência de 85% e vazão de 2,25 L h<sup>-1</sup>, operado com uma pressão de trabalho de 1 atm. A água para irrigação foi proveniente de poço artesiano, a qual apresentou condutividade elétrica média de 1,6 dS m<sup>-1</sup>, concentração média de sódio de 168,66 mg L<sup>-1</sup> e potássio de 28,17 mg L<sup>-1</sup>. De acordo com Richards, (1954), a água é classificada como C3, com alta salinidade.

A irrigação foi baseada em 120% da evapotranspiração da cultura (ETc), adotando o coeficiente de cultura (Kc) da palma forrageira de 0,52, conforme foi determinado por Queiroz et al. (2015). O cálculo da ETc foi realizado pela seguinte equação:

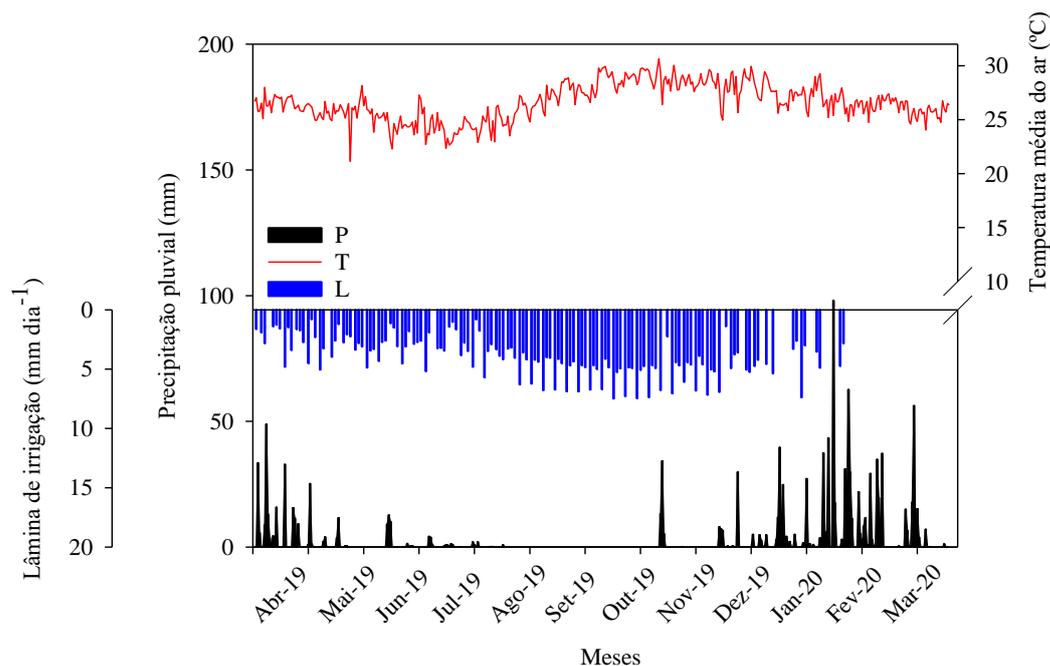
$$ETc = ETo \times Kc \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: ETc – Evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>); ETo – Evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>); Kc – Coeficiente da cultura.

A Evapotranspiração de referência (ETo) foi determinada pelo modelo proposto por Penman-Monteith e adaptado pela FAO-56 (ALLEN et al., 1998). Os dados meteorológicos foram coletados na estação meteorológica automática do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada a 20 m do campo experimental.

### **4.4 Variáveis meteorológicas e lâmina de irrigação**

Durante o período experimental a precipitação acumulada foi de 1214,5 mm e a lâmina de irrigação aplicada total igual a 532,76 mm, totalizando 1747,22 mm (Figura 5).



**Figura 5.** Temperatura média do ar (°C), precipitação pluvial (mm) e lâmina de irrigação aplicada (mm dia<sup>-1</sup>) durante 14 meses de cultivo da palma forrageira.

#### 4.5 Crescimento

Ao longo do período experimental foram realizadas campanhas biométricas mensais, afim de acompanhar o crescimento da palma forrageira. Nessas ocasiões, foram coletados valores como número total de cladódios por ordem de surgimento e as circunferências dos cladódios, comprimento do cladódio (CC), largura do cladódio (LC) e perímetro do cladódio (PC).

A área dos cladódios (AC) foi calculada por meio dos modelos matemáticos ajustados por Silva et al. (2014).

$$AC_{OEM} = 0,7086 * (1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC)) / 0,000045765 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$AC_{OEA} = 0,7086 * (1 - \exp(-0,000045765 * CC * LC)) / 0,000045765 \quad (\text{Eq. 3})$$

$$AC_{V19} = 1,9610 * (1 - \exp(0,0242 * PC)) / -0,0242 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$AC_{F8} = 0,7318 * (1 - \exp(-0,0034 * CC * LC)) / 0,0034 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$AC_{MIU} = 0,7198 * CC * LC \quad (\text{Eq. 6})$$

$$AC_{IPA} = 1,6691 * (1 - \exp(0,0243 * PC)) / -0,0243 \quad (\text{Eq. 7})$$

em que, AC = área do cladódio (cm<sup>2</sup>); CC = comprimento do cladódio (cm); LC = largura do cladódio (cm) e PC = perímetro do cladódio (cm).

O índice de área dos cladódios (IAC) é dado pela razão entre a área total de cladódios e o espaçamento entre linhas (PINHEIRO et al., 2014).

$$IAC = \left[ \sum_n^{i=1} (AC) / \frac{10000}{(E1 \times E2)} \right] \quad (\text{Eq. 8})$$

em que, IAC é o Índice de Área do Cladódio ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ); 10.000 é o fator de conversão de  $\text{cm}^2$  para  $\text{m}^2$ ; e  $E1 * E2$  é o espaçamento adotado entre linhas e entre plantas, nessa ordem.

#### 4.6 Fenologia

É considerado uma nova fenofase vegetativa quando a taxa de emissão dos cladódios de ordens superiores ultrapassa os de ordem inferior (AMORIM et al., 2017). A fenologia foi calculada a partir do ajuste de curvas de regressão, com aplicação de modelo sigmoidal de três parâmetros, avaliando a taxa de emissão de cladódios a cada ordem de emissão em detrimento aos valores de graus dias acumulados (GDA,  $^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ). O GDA é obtido a partir da soma dos valores diários dos graus dias ( $\text{GD } ^{\circ}\text{Cdia}^{-1}$ ), representado na equação 9.

$$GD = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \right) - T_b \right] \quad (\text{Eq. 9})$$

em que: GD – graus dias ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\max}$  – temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{\min}$  – temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ ); e  $T_b$  – temperatura base da cultura ( $^{\circ}\text{C}$ ), que para palma forrageira é de  $22 ^{\circ}\text{C}$  (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2017).

#### 4.7 Rendimento de biomassa

A densidade final de plantas foi calculada a partir da divisão do número de plantas vivas na parcela útil ao final do ciclo pelo estande inicial da parcela, e em seguida multiplicado pela densidade de plantio.

Para a produtividade, no momento da colheita foi escolhido uma planta representativa da parcela útil e pesada por inteiro, exceto o cladódio basal, em seguida foram separados dois cladódios do terço médio da planta e pesados de forma individual para obtenção da massa fresca e logo após foram levados para estufa de circulação forçada de ar a  $65 ^{\circ}\text{C}$ , até atingir massa constante. Posteriormente, foram pesados em balança analítica para se obter o valor da massa seca. Desse modo, com a massa seca e fresca foi possível obter o teor de matéria seca.

A produtividade de matéria fresca (MF Mg ha<sup>-1</sup>) foi realizada a partir do peso fresco da planta representativa da parcela útil e da densidade final de plantas (Equação 10). A produtividade de matéria seca (MS Mg ha<sup>-1</sup>) foi obtida a partir do teor de matéria seca (% MS) e o rendimento de MF (Equação 11).

$$Y. MF = m_{\text{Planta}} \times DF \quad (\text{Eq. 10})$$

$$Y. MS = \%MS \times MF \quad (\text{Eq. 11})$$

$$\% MS = \frac{\text{Peso seco dos cladódios}}{\text{Peso fresco}}$$

em que, Y. MF - produtividade em matéria fresca (Mg ha<sup>-1</sup>); Y. MS - produtividade em matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>); m<sub>planta</sub> - massa individual da planta em kg; DF – densidade final de plantas (plantas ha<sup>-1</sup>), % MS teor de matéria seca (g g<sup>-1</sup>).

#### **4.8 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a análise de variância e teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa estatístico Rstudio (R Core Team, 2019). As equações sigmóides e a elaboração dos gráficos foram realizados no SigmaPlot (versão 14.0) (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).

### **5.RESULTADOS**

#### **5.1 Rendimento de biomassa**

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados de produtividade, índice de área foliar e mortalidade de clones de palma forrageira. Os clones OEM e OEA apresentaram rendimento de matéria fresca (Y. MF) 3,22 vezes superior à média dos demais clones (V19, MIU, IPA e F8), para o rendimento de matéria seca (Y. MS) as médias foram 3,39 vezes superior.

**Tabela 3.** Rendimento produtivo de seis clones de palma forrageira aos 12 meses, irrigados em ambiente semiárido.

Variáveis	Clones						CV (%)	Valor-p
	OEM	OEA	V19	MIU	IPA	F8		
Y. MF	630,69a	448,13a	181,95b	162,62b	157,53b	8,93b	80,57	0,045
Y. MS	42,18a	25,56a	9,77b	9,53b	11,05b	0,50b	72,86	0,018
MT	9,63e	24,45d	43,70c	60,74b	71,11b	96,30a	15,79	0,001
T <sub>MS</sub>	0,07	0,06	0,06	0,06	0,07	0,06	--	--
IAC	3,15a	1,97a	1,10a	3,40a	1,90a	2,38a	87,85	0,751

Letras iguais na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. OEM – Orelha de Elefante mexicana; OEA – Orelha de Elefante Africana; V19 – clone V19; MIU – Miúda; IPA – Ipa Sertânia; F8 – clone F8; Y. MF – Produtividade de matéria fresca (Mg ha<sup>-1</sup>); Y. MS – Produtividade de matéria seca (Mg ha<sup>-1</sup>); MT – Mortalidade de plantas em percentagem (%); T<sub>MS</sub> - Teor de matéria seca (g g<sup>-1</sup>); IAC – Índice de área do cladódio (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>); CV – Coeficiente de variação (%).

Para a variável mortalidade de plantas (MT), houve variações entre os clones. O clone F8 apresentou o maior percentual de mortalidade de plantas (96,30%) quando comparado aos demais clones (Tabela 3). O menor percentual de mortalidade foi observado no clone OEM (9,63%). Os clones IPA e MIU não diferiram significativamente entre si.

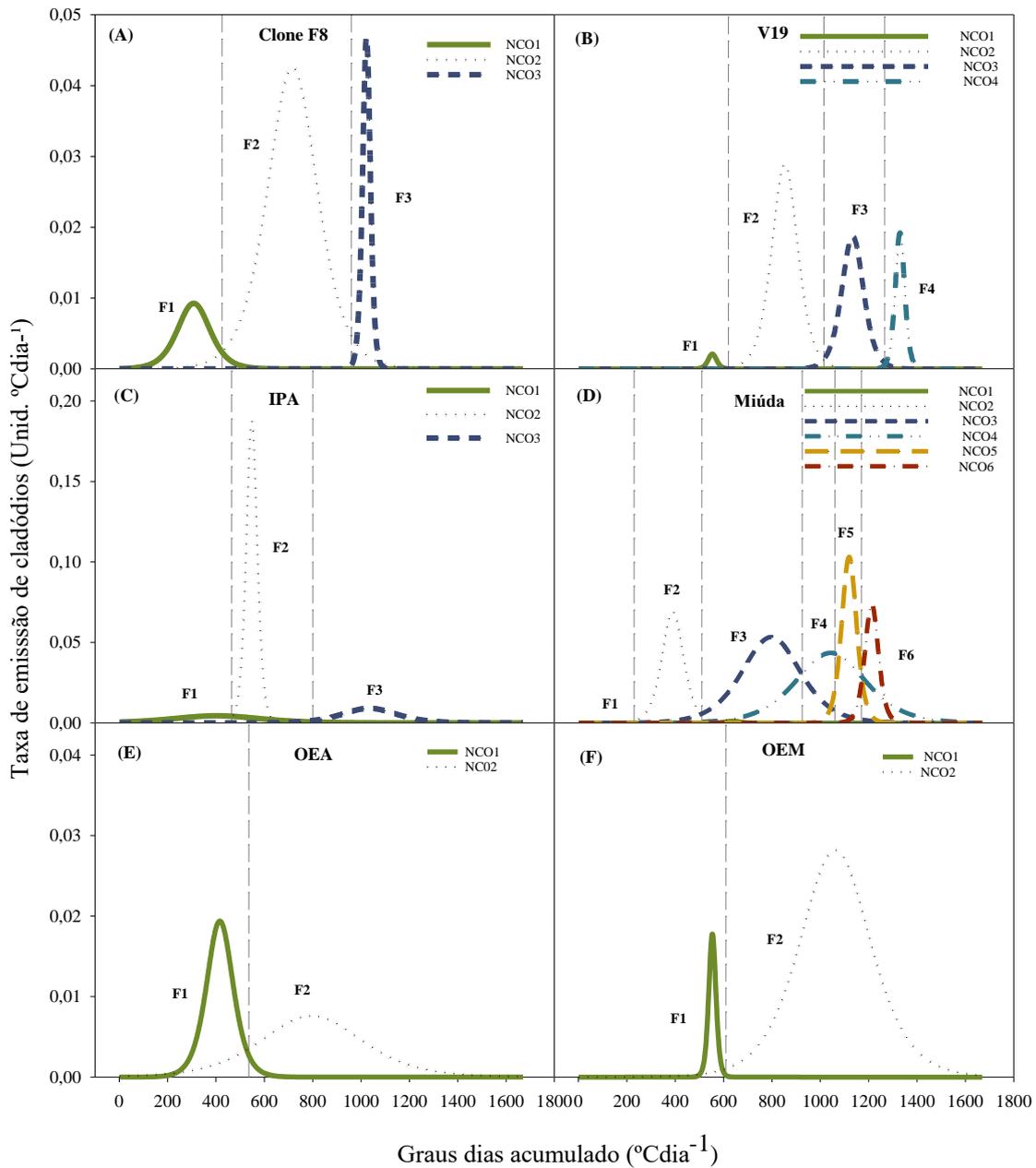
Em termos do IAC, não houve diferença significativa entre os clones. No entanto, os clones MIU do gênero *Nopalea* e OEM do gênero *Opuntia* apresentaram a maior tendência de crescimento, com médias de 3,40 e 3,15 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, respectivamente. Os demais clones, F8, OEA, IPA e V19, apresentaram valores médios de 2,38, 1,97, 1,90 e 1,10 m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>, nesta ordem.

O teor de matéria seca não variou entre os clones de palma forrageira, independente do gênero (Tabela 3).

## 5.2 Fenofases vegetativa

A Figura 6 representa a variação do número de fenofases e comportamento da taxa de emissão de cladódios entre os genótipos de palma forrageira. O início das fenofases 1 ocorreram aos 138 °Cdia, 540 °Cdia, 178 °Cdia, 255 °Cdia, 250 °Cdia e 520 °Cdia para os clones F8, V19, IPA, Miúda, OEA e OEM, nessa ordem. O tempo médio da duração total das fenofases foi de 1200 °Cdia para os clones F8, IPA e OEA, e 1400 °Cdia para os clones V19, Miúda e OEM. O clone miúda apresentou o maior número de fenofases, com

seis fenofases, seguido pelo clone V19 com quatro fenofases, F8 e IPA com três fenofases e por último, os clones OEM e OEA com duas fenofases, durante o período experimental.



**Figura 6.** Fenofases dos clones de F8 (A), V19 (B), IPA (C), Miúda (D), OEA (E) e OEM (F) com base na taxa de emissão de cladódios, sob irrigação com água salina. F – Fenofases; NCO – Número de cladódios por ordem de surgimento.

Nesse sentido, as fenofases dois e três foram responsáveis pela maior taxa de emissão de cladódios (TEC) para o clone F8 (0,042 e 0,045 Unid. °Cdia<sup>-1</sup>), ambas com duração de 1090 graus dias acumulados (GDA). Para o clone V19, os maiores valores da

TEC foram observados nas fenofases 2, 3 e 4, correspondendo a 0,028, 0,019 e 0,019, com duração de 1035, 1270 e 1400 °Cdia, nessa ordem. O clone IPA investiu mais na emissão de cladódios de segunda ordem, com TEC de 0,18 e duração de 640 GDA.

O clone MIU apresentou a maior distribuição dos valores da TEC, com destaque as fenofases 2, 3, 4, 5 e 6, correspondendo a 0,068, 0,053, 0,043, 0,10 e 0,072, com duração de 530, 1130, 1420, 1220 e 1310 °Cdia, respectivamente. O clone OEA apresentou valores da TEC de 0,019 e 0,007 para fenofases 1 e 2, com duração de 600 e 1400 GDA. O clone OEM apresentou comportamento semelhante ao clone OEA, com TEC de 0,017 e 0,028 para as fenofases 1 e 2, com duração de 600 e 1600 °Cdia, respectivamente.

## **6.DISCUSSÃO**

### **6.1 Rendimento de biomassa**

O incremento produtivo observado nos clones OEM e OEA (*Opuntia*) pode estar relacionado ao valor do índice de área dos cladódios, maiores valores da área do cladódio significam que a planta consegue armazenar uma maior quantidade de água nos tecidos de reserva (SILVA et al., 2015). A mesma tendência de produtividade acerca do IAC não foi observada no clone MIU, isso devido a área reduzida dos cladódios nesta cultivar (PINHEIRO et al., 2014). Nesse aspecto, os clones do gênero *Opuntia* são superiores aos do gênero *Nopalea*, pois, em geral, apresentam cladódios maiores e mais pesados, o que contribui para o alto rendimento de biomassa (LEITE, 2009; ROCHA et al., 2020).

Além disso, os clones OEM e OEA possuem alta rusticidade e capacidade de adaptação as condições climáticas das regiões semiáridas (RULE; HOFFMANN, 2018). Queiroz et al. (2015) afirmam que o clone OEM é superior em relação a outros genótipos quando se trata do aproveitamento no uso da água. Os clones do gênero *Nopalea*, em especial a palma Miúda, apresentam baixa adaptação ao ambiente semiárido, devido aos baixos índices pluviométricos, quando cultivada em condições naturais, e as temperaturas noturnas elevadas (SALES et al., 2009).

Outra justificativa para a produtividade alcançada nos clones OEM e OEA está relacionada ao menor índice de mortalidade de plantas observada para esses clones em comparação aos demais. Segundo Leite (2009) e Silva et al. (2015), principalmente os genótipos pertencentes ao gênero *Nopalea* apresentam alto índice de mortalidade de plantas em comparação as espécies presentes no gênero *Opuntia*. No entanto, no presente estudo a maior mortalidade de plantas foi observada no clone F8 do gênero *Opuntia*. O

que pode estar atrelado a baixa capacidade de adaptação do clone ao ambiente semiárido (SILVA, 2019). O elevado coeficiente de variação observado nas variáveis pode estar relacionado ao alto percentual de mortalidade ocorrido no estande de plantas.

Com relação ao teor de matéria seca, os valores encontrados são inferiores aos relatados na bibliografia. Em condições naturais do agreste pernambucano, Inácio et al. (2020) encontraram valores de 9,07% para o clone OEM e 15,60 % para o clone MIU, enquanto Lopes et al. (2020), para as mesmas condições, encontraram valores de matéria seca de 9,72% para o clone OEM e 12,36% para o clone MIU. O que sugere que em condições irrigadas o teor de matéria seca está mais associado a condição hídrica do que ao clone (CRUZ NETO et al., 2017), o mesmo comportamento é análogo aos demais clones. Segundo Dubeux et al. (2021), em geral, clones do gênero *Nopalea* apresentam maiores concentrações de matéria seca em comparação ao gênero *Opuntia*.

Para o IAC, os valores encontrados no presente estudo são superiores aos reportados por Silva et al. (2015) e Rocha; Voltolini e Gava (2017), para os clones IPA, MIU e OEM. Isso devido ao maior adensamento do presente estudo e a condição irrigada. As médias dos clones MIU e OEM estão relacionadas ao maior número de cladódios de ordens superiores para o clone MIU e a maior área dos cladódios para o clone OEM (dados não apresentados). O índice de área dos cladódios está ligado ao número total de cladódios, o volume dos cladódios e o hábito de crescimento de cada cultivar (ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017). Para Pinheiro et al. (2014), o índice de área dos cladódios apresenta efeito direto na produtividade de biomassa.

## 6.2 Fenofases de crescimento

A identificação das fases fenológicas permite acompanhar o desenvolvimento das plantas com a mudança das fases e, com isso, identificar aspectos relevantes a cultura, como interferências provocadas pelo clima, estresse hídrico ou salino e entender características morfofisiológicas relacionadas ao genótipo (AMORIM et al., 2017). A identificação do estágio vegetativo também auxilia no manejo, como adubação, demais tratamentos culturais e momento de corte.

O maior número de fenofases observada no clone Miúda (*Nopalea*) (Figura 6D), o que pode estar relacionado ao tamanho reduzidos dos cladódios, que requer menos energia térmica para emitir novos cladódios e ao hábito de crescimento da espécie. A fim de compensar o tamanho reduzidos dos cladódios, como estratégia de crescimento, o

clone miúda apresenta elevada taxa de emissão de cladódios de ordens superiores (NUNES et al., 2020b; ROCHA; VOLTOLINI; GAVA, 2017), o que justifica o maior número de fenofases em comparação aos demais clones. Foi observado ainda, que as fenofases 3 e 4 apresentaram tendência de crescimento, mesmo com a estabilização de fenofases superiores, o que pode estar associado ao hábito de crescimento horizontal da espécie (ROCHA et al., 2020; SILVA et al., 2015).

Nesse sentido, os clones OEM e OEA (*Opuntia*) (Figura 6F e 6E) apresentam maior área do cladódio (SILVA et al., 2014), indicado que esses genótipos necessitam de mais tempo térmico para completar a mudança de fase fenológica. O tempo para completar uma nova fenofase pode ser reduzido durante a estação mais quente, com dias mais longos (GOMES; VALIENTE-BANUET; ARAUJO, 2019). Em condições hídricas adequadas, o crescimento da palma é mais controlado pela temperatura do ar (NUNES et al., 2020b). Para Amorim et al. (2017) e Queiroz et al. (2015), o aporte hídrico reduz o período das fenofases e facilita a emissão de cladódios de ordens superiores.

De acordo com Silva et al. (2015) e Queiroz et al. (2015) o clone OEM apresenta característica morfológica que investe na produção de cladódios de segunda ordem. É nesta ordem que a espécie apresenta os melhores rendimentos de biomassa da planta (AMORIM et al., 2017), o que justifica a alta produtividade desse genótipo e a menor quantidade de fenofases. O clone OEA seguiu o mesmo comportamento da OEM para o número de fenofases, no entanto, a maior emissão de cladódios para o clone OEA foi na fenofase 1.

O clone V19 (*Nopalea*) apresentou semelhanças na taxa de emissão de cladódios a partir da segunda ordem, o que mostra um comportamento de crescimento verticalizado da espécie. O clone F8 apresentou as maiores emissões de cladódios apenas nas fenofases 2 e 3, característica essa, intrínseca a maioria das espécies pertencentes ao gênero *Opuntia*. De forma geral, os clones do gênero *Opuntia* apresentaram menor taxa de emissão de cladódios em comparação aos clones do gênero *Nopalea*, o que mostra um comportamento mais lento na emissão de cladódios para o gênero *Opuntia*.

## 7. CONCLUSÕES

Os clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) e Orelha de Elefante Africana (*Opuntia undulata*) apresentaram o maior potencial produtivo em comparação

aos demais clones, sendo os clones mais recomendado para cultivo em ambiente semiárido.

O número e duração das fenofases esteve associado a características morfológicas de crescimento das espécies e a taxa de emissão de cladódios foram superiores para os clones pertencentes ao gênero *Nopalea*.

É recomendável que mais estudos sejam realizados para avaliar a capacidade adaptativas de diversos clones de palma forrageira ao ambiente semiárido e ao manejo empregado, como a irrigação com água salina, o que gera benefícios aos sistemas produtivos, tornando os cultivos menos vulneráveis as oscilações climáticas e mais produtivos.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO**, n. 56, p. 300, 1998.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AMARAL, A. P. M. C. et al. Desafios para a Consolidação de um Sistema de Alerta de Risco de Desastre Associado às Secas no Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 10, n. 1, p. 60–76, 2019.

AMORIM, D. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62–71, 2017.

AMORIM, P. L. et al. Morphological and productive characterization of forage cactus varieties. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 230–238, 2015.

ANDRADE, C. M.; MARQUES, L. D. S. Semiárido brasileiro: alguns desafios. **Diversitas Journal**, v. 2, n. 2, p. 279, 2017.

ANDRADE, A. J. P. DE; SOUZA, C. R. DE; SILVA, N. M. DA. a Vulnerabilidade E a Resiliência Da Agricultura Familiar Em Regiões Semiáridas: O Caso Do Seridó Potiguar the Vulnerability and Resilience of Family Farming on Semiarid Regions: the Case of the Potiguar'S Serido. **Revista de geografia agrária**, v. 8, n. 15, p. 1–30, 2013.

ARAÚJO JÚNIOR, G. N. et al. Temperatura Base Da Palma Forrageira Em Sistema De Cultivo Consorciado Com O Sorgo. **Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, v. 20,

n. September, 2017.

BARBOSA, M. L. et al. Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 49, n. 3, p. 399–408, 2018.

BORLAND, A. M. et al. Climate-resilient agroforestry: Physiological responses to climate change and engineering of crassulacean acid metabolism (CAM) as a mitigation strategy. **Plant, Cell and Environment**, v. 38, n. 9, p. 1833–1849, 2015.

BUENO, L. G.; ROCHA, J. E. S. Conservação , utilização e melhoramento genético de gramíneas forrageiras para o semiárido brasileiro Conservação , utilização e melhoramento genético de gramíneas forrageiras para o semiárido brasileiro. **Embrapa Caprinos e Ovinos**, 2018.

CÂNDIDO, M. J. D.; ARAÚJO, G. G. L. DE; CAVALCANTE, M. A. B. Pastagens no ecossistema Semi-árido Brasileiro: atualização e perspectivas futuras. **In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. Anais... Goiânia : Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v. 42, p. 85 – 94, 2005.

CARDADOR-MARTÍNEZ, A.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C.; SANDOVAL, G. Revalorization of cactus pear (*Opuntia* spp.) wastes as a source of antioxidants. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, n. 3, p. 782–788, 2011.

CARDOSO, D. B. et al. Levels of inclusion of spineless cactus (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck) in the diet of lambs. **Animal Feed Science and Technology**, v. 247, p. 23–31, 2019.

CARVALHO, A. T. F. Caracterização climática da quadra chuvosa de município do semiárido brasileiro, entre os anos de 2013 a 2017. **Geografia em Atos (Online)**, v. 2, n. 17, p. 04–23, 2020.

CARVALHO, A. L. DE et al. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. **Renewable Energy**, v. 78, p. 26–34, 2015.

CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 44, n. 4, p. 424–433, 2014.

CHAUDHARY, A.; GUSTAFSON, D.; MATHYS, A. Multi-indicator sustainability assessment of global food systems. **Nature Communications**, v. 9, p. 848, 2018.

CHEIKH ROUHOU, M. et al. Use of green chemistry methods in the extraction of dietary fibers from cactus rackets (*Opuntia ficus indica*): Structural and microstructural studies. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 116, p. 901–910, 2018.

CHEN, Y. et al. Progress and prospects of climate change impacts on hydrology in the arid region of northwest China. **Environmental Research**, v. 139, p. 11–19, 2015.

CRUZ NETO, J. F. DA et al. 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.

DOUXCHAMPS, S. et al. Monitoring and evaluation of climate resilience for agricultural development – A review of currently available tools. **World Development Perspectives**, v. 5, p. 10–23, 2017.

DUBEUX, J. C. B. et al. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae**, v. 1067, p. 181–186, 2015.

DUBEUX, J. C. B. et al. Cactus (*Opuntia* and *Nopalea*) nutritive value: A review. **Animal Feed Science and Technology**, v. 275, 2021.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B. et al. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira –Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 5, n. 1, p. 129–135, 2010.

EDVAN, R. L. et al. Acúmulo de biomassa e crescimento radicular da palma forrageira em diferentes épocas de colheita. **Rev. Acad. Ciênc. Agrár. Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 373–381, 2013.

FAO. Crops and Drops: Making the Best Use of Water for Agriculture. **Aging**, v. 7, n. 11, p. 956–963, 2002.

FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2020. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2016**, 2016.

FAO, I. F. A. D. The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2018**, 2018.

FERREIRA, L. DA C. O Desafio das mudanças climáticas. Os casos Brasil e China. p.

312, 2017.

FIELD, C. B. ET AL. Gerenciando os riscos de eventos extremos e desastres para promover a adaptação às mudanças climáticas: relatório especial do painel intergovernamental sobre mudanças climáticas. **Cambridge University Press**, 2012.

FIRINCIOĞLU, H. K. et al. Relationships between seed yield and yield components in common vetch (*Vicia sativa* ssp. *sativa*) populations sown in spring and autumn in central Turkey. **Field Crops Research**, v. 116, n. 1–2, p. 30–37, 2010.

FREIRE, J. L. Avaliação de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) sob irrigação e salinidade. **Tese (doutorado em Zootecnia)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife**, 2012.

GARCETE-GÓMEZ, J. M. et al. Sample size for assessment of cladode brown spot in prickly pear cactus. **European Journal of Plant Pathology**, v. 149, n. 3, p. 759–763, 2017.

GOMES, V. G. N.; VALIENTE-BANUET, A.; ARAUJO, A. C. Reproductive phenology of cacti species in the Brazilian Chaco. **Journal of Arid Environments**, v. 161, p. 85–93, 2019.

GUANZIROLI, C. E.; BUAINAIN, A. M.; DI SABBATO, A. Dez Anos de Evolução da Agricultura Familiar no Brasil: (1996 e 2006). **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 2, p. 351–370, 2012.

GUSHA, J. et al. The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in Zimbabwe. **Small Ruminant Research**, v. 125, p. 21–25, 2015.

HUSSAIN, J. et al. Wheat Responses to Climate Change and Its Adaptations: A Focus on Arid and Semi-arid Environment. **International Journal of Environmental Research**, v. 12, n. 1, p. 117–126, 2018.

INÁCIO, J. G. et al. Nutritional and performance viability of cactus *Opuntia*-based diets with different concentrate levels for Girolando lactating dairy cows. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 1, p. 35–43, 2020.

LEISNER, C. P. Review: Climate change impacts on food security- focus on perennial cropping systems and nutritional value. **Plant Science**, v. 293, 2020.

- LEITE, M. L. DE M. V. Avaliação De Clones De Palma Forrageira Submetidos a Adubações E Sistematização De Informações Em Propriedades Do Semiárido Paraibano. **Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba**, p. 186, 2009.
- LEMOS, M. et al. The effect of domestic sewage effluent and planting density on growth and yield of prickly pear cactus in the semiarid region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 185, 2021.
- LIMA, G. F. C. et al. Effect of different cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated Nopalea forage cactus. **Acta Horticulturae**, v. 1067, p. 253–258, 2015.
- LIMA, L. R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191–201, 2018.
- LIMA, M. et al. Predadores Associados Á Dactylopius Opuntiae (Hemiptera: Dactylopiidae) Em Palma Forrageira No Estado De Pernambuco, Brasil. **Revista Chilena de Entomologia**, v. 36, n. 0, 2017.
- LOLADZE, I. Hidden shift of the ionome of plants exposed to elevated CO<sub>2</sub> depletes minerals at the base of human nutrition. **eLife**, v. 2014, n. 3, 2014.
- LOPES, E. B. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental-Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, n. 1, p. 204–2015, 2010.
- LOPES, L. A. et al. Intake, digestibility, and performance of lambs fed spineless cactus cv. Orelha de Elefante Mexicana. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, v. 33, n. 8, p. 1284–1291, 2020.
- MARENGO, J. A. O. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1973–1985, 2018.
- MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no semi-árido do Brasil. **Parcerias Estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 149–176, 2008.
- MASTERS, D. G.; BENES, S. E.; NORMAN, H. C. Biosaline agriculture for forage and livestock production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 119, n. 3–4, p. 234–248, 2007.

MATA, D.; RESENDE, G. Changing the Climate for Banking: The Economic Effects of Credit in a Climate-Vulnerable Area. **SSRN Electronic Journal**, 2018.

MCGRATH, J. M.; LOBELL, D. B. Reduction of transpiration and altered nutrient allocation contribute to nutrient decline of crops grown in elevated CO<sub>2</sub> concentrations. **Plant, Cell and Environment**, v. 36, n. 3, p. 697–705, 2013.

MEDEIROS, A. S. et al. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 287, 2020.

MICHLER, J. D. et al. Conservation agriculture and climate resilience. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 93, p. 148–169, 2019.

MORAES, G. S. DE O. et al. Cactus [Opuntia stricta (Haw.) Haw] cladodes and corn silage: How do we maximize the performance of lactating dairy cows reared in semiarid regions? **Livestock Science**, v. 221, p. 133–138, 2019.

MOURA, M. DE S. C. et al. The inclusion of spineless cactus in the diet of lambs increases fattening of the carcass. **Meat Science**, v. 160, 2020.

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no semiárido. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**, p. 37–59, 2007.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, p. 651–681, 2008.

MYERS, S. S. E. AL. Increasing CO<sub>2</sub> threatens human nutrition. **Nature**, v. 510, n. 7503, p. 139–142, 2014.

NUNES, C. DOS S. Usos E Aplicações Da Palma Forrageira Como Uma Grande Fonte De Economia Para O Semiárido Nordeste. **Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)**, v. 6, n. 1, p. 58–66, 2011.

NUNES FILHO, J. et al. Relações entre a concentração de íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando à irrigação, no sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 189–193, 2000.

NUNES, J. D. S. L. et al. Morfogênese da palma forrageira sob modificação do ambiente de crescimento. **Agrometeoros**, v. 27, n. 2, 2020a.

- NUNES, J. DA S. L. et al. 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, 2020b.
- PALIT, P. et al. An integrated research framework combining genomics, systems biology, physiology, modelling and breeding for legume improvement in response to elevated CO<sub>2</sub> under climate change scenario. **Current Plant Biology**, v. 22, 2020.
- PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v. 108, p. 39–51, 2012.
- PEREIRA, P. D. C. et al. Morfogênese Da Palma Forrageira Irrigada Por Gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184–195, 2015.
- PIMENTEL, G. D. S.; SHARQAWY, M. H. Techno-economic analysis of low impact solar brackish water desalination system in the Brazilian Semiarid region. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, 2020.
- PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939–947, 2014.
- PORTO, E. R. et al. Agricultura bioassalina: desafios e alternativas para o uso de águas salobras e salinas no semiárido brasileiro. **Embrapa Meio Ambiente-Docmentos (INFOTECA-E)**, p. 38p, 2019.
- QUEIROZ, M. G. DE et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.
- QUEIROZ, M. G. et al. Spatial and temporal dynamics of soil moisture for surfaces with a change in land use in the semi-arid region of Brazil. **Catena**, v. 188, 2020.
- RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Agricultur ed. [s.l: s.n.].
- 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. 363–371, 2017.

ROCHA, S. S. et al. Congruence between morphological and molecular markers for genetic diversity analysis applied to forage palm genotypes propagated via bioreactors. **Industrial Crops and Products**, v. 147, 2020.

ROY, R. et al. Resilience of coastal agricultural systems in Bangladesh: Assessment for agroecosystem stewardship strategies. **Ecological Indicators**, v. 106, 2019.

RULE, N. F.; HOFFMANN, J. The performance of *Dactylopius opuntiae* as a biological control agent on two invasive *Opuntia* cactus species in South Africa. **Biological Control**, v. 119, p. 7–11, 2018.

SALES, A. T. et al. Adaptation potential of cactus pear to soil and climatic conditions of the semi-arid in Paraíba State, Brazil. **Acta Horticulturae**, v. 811, p. 395–400, 2009.

SANTOS, F. D. A. DOS; AQUINO; DE, C. M. S. PANORAMA DA DESERTIFICAÇÃO NO NORDESTE DO BRASIL: características e suscetibilidades. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 7, p. 144, 2017.

SANTOS, M. R. et al. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, v. 38, n. 296, p. 76–90, 2017.

SANTOS, M. R. .; DONATO, S. L. R. .; COTRIM JR, P. R. F. Irrigação na palma forrageira. **Revista Agrotecnologia**, v. 11, n. 1, p. 9452, 2020.

SANTOS, N. S. et al. Crescimento da palma forrageira sob estresse salino e diferentes lâminas de irrigação. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 5, p. 9452, 2020.

SCALISI, A. et al. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016.

SCHEELBEEK, P. F. D. et al. Effect of environmental changes on vegetable and legume yields and nutritional quality. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 26, p. 6804–6809, 2018.

SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. DE A. Agrometeorologia dos cultivos. **Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**, p. 3–12, 2009.

SILVA, P. S. F. Comportamento e caracterização de clones de palma forrageira sob diferentes condições de cultivo. **Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade**

**Federal Rural de Pernambuco**, 2019.

SILVA, T. G. F. et al. Area Do Cladódio De Clones De Palma Forrageira: Modelagem, Análise E Aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633–641, 2014.

SILVA, T. G. F. et al. 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.

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

SOUZA FILHO, P. F. et al. Simultaneous saccharification and fermentation of cactus pear biomass-evaluation of using different pretreatments. **Industrial Crops and Products**, v. 89, p. 425–433, 2016.

SUDENE. **SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE**.

SZYMCZAK, L. S. et al. System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: The case of crop-livestock integration. **Agricultural Systems**, v. 184, 2020.

TABARELLI, M. et al. Caatinga: legado, trajetória e desafios rumo à sustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 4, p. 25–29, 2018.

TAIZ, L. .; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: [s.n.].

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal .pdf**. [s.l: s.n.].

TAVARES, V. C.; ARRUDA, Í. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385–405, 2019.

THEURL, M. C. et al. Food systems in a zero-deforestation world: Dietary change is more important than intensification for climate targets in 2050. **Science of the Total Environment**, v. 735, 2020.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. **Geographical Review**, v. 38, n. 1, p. 55, 1948.

VASCONCELOS, A. G. V. . et al. Seleção de Clones de Palma Forrageira Resistentes à Cochonilha do Carmim *Dactylopius* sp. (Hemiptera, Dactylopiidae). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 827–831, 2009.

VIEIRA, R. M. DA S. P. et al. Characterizing spatio-temporal patterns of social vulnerability to droughts, degradation and desertification in the Brazilian northeast. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 5, p. 100016, 2020.

WILLIAMS, T. G. et al. Resilience and equity: Quantifying the distributional effects of resilience-enhancing strategies in a smallholder agricultural system. **Agricultural Systems**, v. 182, 2020.