

GEORGE DO NASCIMENTO ARAÚJO JÚNIOR

RESPOSTAS MORFO-FENOLÓGICAS, AGRONÔMICAS E BENEFÍCIOS  
ECONÔMICOS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO  
CONTROLADO

Serra Talhada-PE

2019

A  
R  
A  
Ú  
J  
O

J  
Ú  
N  
I  
O  
R

G  
N

R  
E  
S  
P  
O  
S  
T  
A  
S

M  
O  
R  
F  
O  
-  
F  
E  
N  
O  
L  
Ó  
G  
I  
C  
A  
S

·  
·  
·  
2  
0  
1  
9

GEORGE DO NASCIMENTO ARAÚJO JÚNIOR

RESPOSTAS MORFO-FENOLÓGICAS, AGRONÔMICAS E BENEFÍCIOS  
ECONÔMICOS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO  
CONTROLADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva

Coorientador: Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo; Dra. Magna Soelma Beserra de Moura

Serra Talhada-PE

2019

## FICHA CATALOGRÁFICA

GEORGE DO NASCIMENTO ARAÚJO JÚNIOR

RESPOSTAS MORFO-FENOLÓGICAS, AGRONÔMICAS E BENEFÍCIOS  
ECONÔMICOS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO  
CONTROLADO

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva  
Orientador

---

Prof. Dra. Luciana Sandra Bastos de Souza  
Examinador Externo

---

Dr. Gherman Garcia Leal de Araújo – EMBRAPA SEMIÁRIDO  
Coorientador, Examinador Externo

---

Dr. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro - UFRPE  
Examinador Externo

Aos meus pais,  
Maria das Graças da Silva e George do Nascimento Araújo,  
pelos ensinamentos, cuidados, dedicação, incentivo, amor e apoio nos diversos  
momentos de dificuldades que enfrentei ao longo dessa jornada...

Às minhas irmãs,  
Juliane Araújo e Natália da Silva, pelo incentivo, apoio constante e por sempre  
acreditarem em mim...

À minha noiva,  
Fabiana Torres, pelo amor, carinho, compreensão e por sempre estar comigo,  
principalmente nos momentos de maiores dificuldades.

Amo todos vocês!

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, o nosso grande pai, pelo dom da vida e por ter me dado saúde e força para superar todas as dificuldades encontradas.

Aos meus pais, Maria das Graças da Silva e George do Nascimento Araújo, meus maiores exemplos de vida, pelos ensinamentos, por acreditarem e lutarem juntos comigo para a realização desse sonho.

Às minhas avós, Isabel Alves (Vó Santa) e Maria Rosa (Vó Nevinha), pelas bênçãos, incentivos e todo apoio oferecido.

Às minhas irmãs, Juliane Araújo e Natália da Silva, pelo amor, carinho e incentivos.

À minha sobrinha, Sophia, pelos muitos momentos de alegria. Amo você!

À minha noiva, Fabiana Torres, por tudo que representa em minha vida, pelo amor e carinho. Por estar comigo nos momentos de maior dificuldade e por despertar em mim a vontade de ser uma pessoa melhor a cada dia. Te amo!

Ao professor Thieres, por ter acreditado em mim, pelas as oportunidades oferecidas que me fizeram crescer como profissional e como pessoa, por toda dedicação, responsabilidade, ensinamentos, paciência e por ser esse grande profissional, um exemplo a ser seguido.

À minha amiga, Maria Aparecida (Cidinha), pela verdadeira amizade, pelos momentos vivenciados, pelas palavras ditas nos momentos de maior angústia, por ser essa pessoa de um coração tão bom.

À Andréa e Nayara, pessoas que ao longo dessa jornada se tornaram especiais, as quais tenho um grande apreço e torço bastante pelo sucesso de cada uma.

À minha amiga, Dona Sílvia, por tudo que fez por mim durante esses dois anos. Que sempre se fez presente nos momentos mais delicados dessa caminhada.

Ao meu amigo Robson Santos, por lembrar de mim em suas orações e sempre mostrar, por meio de suas palavras e atitudes, o verdadeiro significado da Fé.

À minha amiga, Maria Gabriela (Gabi) pela amizade, conselhos, incentivos e por ter me ajudado a concluir mais uma etapa da minha carreira acadêmica.

Aos amigos, Alexandre, Marcondes, Raliuson e Laamon pelas inúmeras contribuições.

A todos que fazem parte do Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS), pelos momentos compartilhados, contribuições, responsabilidades, risos, conversas e por terem se tornando uma verdadeira família. Vocês foram indispensáveis para a conclusão desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade acadêmica de Serra Talhada, pela infraestrutura oferecida e aos técnicos pelo apoio.

Ao Programa de Pós-Graduação em produção vegetal (PGPV) pelas inúmeras oportunidades de crescimento profissional. A todos os professores do PGPV pelos ensinamentos e contribuições ao longo desses dois anos.

Aos meus colegas e amigos de turma (Alexandre, Andréa, Elisângela (Bibi), Juracy (Neto), Maria Aparecida (Cidinha), Nayara, Raliuson e Renilson) pelos momentos vivenciados, alegrias compartilhadas e trabalhos desenvolvidos. Vocês são demais!

Aos colegas e amigos que fazem parte do PGPV, pelos momentos vivenciados durante esse período.

Aos funcionários da SOLL, em especial a Marcos (Marquinhos) pelos diversos serviços prestados ao longo desses dois anos.

À nossa querida Lucimar (Dona Lucy), pelo cuidado, carinho e convívio, que apesar de ter sido por tão pouco tempo, foi fundamental para nos manter fortes para chegarmos ao final.

À Embrapa Semiárido pela infraestrutura oferecida para realização das análises e pela oportunidade de crescimento profissional.

A todos do setor de nutrição animal da Embrapa Semiárido, em especial a Dr. Gherman, Seu Alcides, Dr. Fleming, Dra. Glayce, Getulio, Jaciele, Ítalo, Diego, Caíco, George, Seu João de Lagoa Grande, Seu João de Petrolina e José Barros, pelos momentos e ensinamentos compartilhados.

Muito obrigado!

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito.  
Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Martin Luther King)

## RESUMO GERAL

ARAÚJO JÚNIOR, George do Nascimento. Respostas morfo-fenológicas, agronômicas e benefícios econômicos de clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado. 2019. 49 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UFRPE - UAST)), Serra Talhada – PE.

Objetivou-se analisar as respostas morfo-fenológicas, agronômicas e os benefícios econômicos de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado no Semiárido brasileiro. O estudo foi realizado em Serra Talhada, PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018. Os clones avaliados foram a Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Miúda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e IPA Sertânia - IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) submetidos a três regimes de deficit hídrico controlado, baseados no percentual da evapotranspiração da cultura - ETc (40%ETc, 80%ETc e 120%ETc) mais a testemunha (0%ETc) e dispostos em blocos casualizados, em esquema fatorial (3x4), com parcelas subdivididas em quatro repetições. Os clones receberam um total de 313,4 mm (40%ETc), 666,7 mm (80%ETc) e 1.022,1 mm (120%ETc), e quando somados à precipitação pluvial, resultaram em 1.005 mm, 1.318,4 mm, 1.671,7 mm e 2.027,1 mm de água para as condições de sequeiro (0%ETc), 40%ETc, 80%ETc e 120%ETc, respectivamente. Os dados de crescimento foram monitorados mensalmente e o rendimento, a cada três meses. As fases fenológicas foram determinadas pela taxa de emissão de cladódios por ordem de surgimento. Com os dados de rendimento de massa seca foram calculados os índices morfofisiológicos, acúmulo de matéria seca e momento de corte para os clones. A partir dos dados de fitomassa da ocasião da colheita, foram realizadas as análises bromatológicas. A viabilidade econômica foi analisada por meio da receita líquida (RL) e da relação benefício/custo (B/C) da palma destinada à venda para forragem e plantio. As variáveis morfológicas (área do cladódio - AC, número total de cladódios - NTC e índice de área do cladódio - IAC) e de rendimento (produtividade de matéria fresca - ProdMF e seca – ProdMS e teor de matéria seca) dos clones, foram submetidos à análise de componentes principais. A ocorrência das fenofases 4 e 5 nos clones IPA e MIU, tiveram mais associadas às condições de maior disponibilidade hídrica. O deficit hídrico controlado antecipou o momento de corte dos clones de palma forrageira. Não houve efeito das lâminas de irrigação ( $p > 0,05$ ), todavia, entre os clones, a OEM apresentou maior ProdMF e ProdMS ( $p < 0,05$ ), com média de  $312,38 \text{ Mg ha}^{-1}$  e  $30,73 \text{ Mg ha}^{-1}$ , nessa ordem. Baseado na RL e B/C, observou-se que a palma destinada ao plantio apresenta maior rentabilidade ao produtor, com médias de R\$ 46.440,00 e R\$ 1,53, respectivamente. A AC e o IAC do clone OEM foram as variáveis que mais contribuíram para a ProdMF e ProdMS. Para os clones MIU e IPA, o NTC assume maior importância para o ganho de matéria seca. Assim, conclui-se que a rentabilidade econômica da palma varia em função da destinação do produto final e do clone utilizado, no entanto, é inviável a utilização de irrigação em regiões com índices pluviométrico superiores a  $1000 \text{ mm ano}^{-1}$ . Baseado pelo ganho de matéria seca, o momento de corte dos clones é antecipado pelo deficit hídrico de até 80%ETc, proporcionando oferta de alimento em menor tempo ao rebanho em relação ao cultivo tradicional.

**Palavras-chave:** Fenofase, índices morfofisiológicos, momento de corte, palma irrigada, viabilidade econômica.

## GENERAL ABSTRACT

ARAÚJO JÚNIOR, George do Nascimento. Morpho-phenological, agronomic answers and economic benefits of cactus forage clones under controlled water deficit. 2019. 49 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal – Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade acadêmica de Serra Talhada (UFRPE - UAST)), Serra Talhada – PE.

The Objective of this study was to analyze the Morpho-phenological, agronomic responses and the economic benefits of clones cactus forage cultivated under controlled water deficit in the Brazilian Semiarid region. The study was conducted in Serra Talhada, PE, during the period from January 2017 to June 2018. The clones evaluated were the Mexican Elephant Ear – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Miuda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) and IPA Sertânia-IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) submitted to three controlled water deficit regimes based on the percentage of crop evapotranspiration-ETc (40% ETc, 80% ETc and 120% ETc) plus the control (0% ETc) and arranged in randomized blocks, in a factorial scheme (3x4), with split-plots in four replications. The clones received a total of 313.4 mm (40% ETc), 666.7 mm (80% ETc) and 1,022.1 mm (120% ETc), and when added to the rainfall, resulted in 1,005 mm, 1,318.4 mm, 1,671.7 mm and 2,027.1 mm of water for the conditions of dry (0% ETc), 40% ETc, 80% ETc and 120% ETc, respectively. The growth data were monitored monthly and the yield, every three months. The phenological phases were determined by the rate of cladodes emission in order of emergence. The morphophysiological indices, dry matter accumulation and cutting time for the clones were calculated With the dry mass yield data. From the phytomass data of the harvest occasion, the bromatological analyses were performed. The economic viability was analyzed through net revenues (RL) and the benefit/cost ratio (B/C) of the cactus destined for sale for forage and planting. The morphological variables (cladode area - AC, total number of cladodes - NTC and cladode area index - IAC) and yield (fresh matter yield - ProdMF and dry - ProdMS and dry matter content) of the clones were subjected to the principal component analysis. The occurrence of phenophases 4 and 5 in the IPA and MIU clones were more associated with the conditions of higher water availability. The controlled water deficit anticipated the cut-off time of the clones cactus forage. There was no effect of irrigation depth ( $p > 0.05$ ), however, among the clones, the OEM presented higher ProdMF and ProdMS ( $p < 0.05$ ), with an average of 312.38 Mg ha<sup>-1</sup> and 30.73 Mg ha<sup>-1</sup>, in that order. Based on RL and B/C, it was observed that the palm destined for planting has higher profitability to the producer, with averages of R\$ 46,440.00 and R\$ 1.53, respectively. The AC and IAC of the OEM clone were the variables that most contributed to ProdMF and ProdMS. For the MIU and IPA clones, NTC assumes greater importance for dry matter gain. Thus, it is concluded that the economic profitability of the cactus varies according to the destination of the final product and the clone used, however, the use of irrigation in regions with rainfall indices greater than 1000 mm year<sup>-1</sup> is not feasible. Based on the dry matter gain, the moment of cut of the clones is anticipated by the water deficit of up to 80% ETc, providing food supply in less time to the herd in relation to the traditional cultivation.

**Keywords:** Phenophase, morphophysiological indexes, cut-off time, irrigated cactus forage, economic viability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>Figura 1</b> Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ), lâminas de água aplicada e precipitação pluvial em área cultivada com palma forrageira sob déficit hídrico controlado, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018, em Serra Talhada – PE.....	7
<b>Figura 2</b> Fenofases de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.....	10
<b>Figura 3</b> Índices morfofisiológicos de crescimento de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018. TAL - Taxa de assimilação líquida (a, b, c, d); TCA - taxa de crescimento absoluto (e, f, g, h) e TCR - taxa de crescimento relativo (i, j, l, m).....	12
<b>Figura 4</b> Acúmulo de matéria seca e momento de corte de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.....	15
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	20
<b>Figura 1</b> Normal climatológica (1981-2010) e precipitação pluvial mensal do município de Serra Talhada – PE durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.....	23
<b>Figura 2</b> Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) e lâminas de água acumuladas (mm) durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018 (B), em Serra Talhada, PE.....	25
<b>Figura 3</b> Participação percentual dos componentes do sistema de irrigação e de implantação nos custos fixos (A) e variáveis (B) em cultivo de clones de palma forrageira sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.....	32

<b>Figura 5</b>	Receita líquida (A e B) e relação benefício custo (C e D) de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.....	33
<b>CAPÍTULO 3</b>	.....	47
<b>Figura 1</b>	Biplot das variáveis morfológicas e de rendimento de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, no período de janeiro de 2017 a junho de 2018, em Serra Talhada – PE.....	54

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>Tabela 1</b> Características físico-químicas do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE.....	6
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	20
<b>Tabela 1</b> Características físico-químicas do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE.....	23
<b>Tabela 2</b> Variáveis meteorológicas durante o período experimental (Jan 2017 – Jun 2018), em área cultivada com palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE.....	24
<b>Tabela 3</b> Produtividade de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE, durante o período de Janeiro de 2017 a Junho de 2018.....	29
<b>Tabela 4</b> Composição bromatológica de clones de palma forrageira cultivadas sob estresse hídrico controlado, em Serra Talhada - PE, durante o período de Janeiro de 2017 a Junho de 2018.....	31
<b>Tabela 5</b> Custos (R\$ ha <sup>-1</sup> ) dos equipamentos de irrigação e de implantação do sistema de cultivo de clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período experimental de janeiro de 2017 a junho 2018.....	31
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	47
<b>Tabela 1</b> Características físico-químicas do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE.....	50
<b>Tabela 2</b> Precipitação pluvial, Evapotranspiração de referência e deficits hídricos controlados durante o período experimental, em área cultivada com clones de palma forrageira, em Serra talhada, PE.....	51

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1 – FENOFASES, INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS E MOMENTO DE CORTE DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO</b> .....	3
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	4
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	5
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	10
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	16
<b>5 AGRADECIMENTOS</b> .....	16
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	17
<b>CAPÍTULO 2 - PRODUTIVIDADE, COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO</b> .....	20
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	21
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	22
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	34
<b>5 AGRADECIMENTOS</b> .....	34
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	35
<b>CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS ENTRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO</b> .....	47
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	48
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	49
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	52
<b>4 CONCLUSÕES</b> .....	55
<b>5 AGRADECIMENTOS</b> .....	56
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	56

## APRESENTAÇÃO

O Semiárido ocupa 66% da área total do Nordeste brasileiro, tendo como principais características solos rasos, escassez e má distribuição da precipitação pluvial e altas taxas de evapotranspiração potencial, que chegam a ser superiores à 2000 mm ano<sup>-1</sup>, que por sua vez, influenciam negativamente o fortalecimento das atividades agrícolas em suas áreas.

A pecuária tem se estabelecido ao longo dos anos como uma das principais atividades desta região. Entretanto, a forte estacionalidade da produção de forragem pela vegetação nativa Caatinga aliada à base de alimentação dos rebanhos reduz o desempenho desta atividade, principalmente no período seco. A palma forrageira (*Opuntia* sp. e *Nopalea* sp.) surge nesse contexto como uma das alternativas de cultivo. Os clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) ganham destaque nas propriedades do Semiárido brasileiro por apresentarem resistência a cochonilha-do-carmim (*Dactilopius opuntiae*), principal praga da cultura. Devido ao seu Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), essas espécies apresentam alta eficiência do uso da água, o que as conferem boa produção de fitomassa com altos teores de carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais, tornando-as um importante recurso forrageiro, especialmente nos períodos de longa estiagem. Essa forrageira apresenta ainda capacidade de armazenar elevado teor de água em seus tecidos, reduzindo significativamente, o consumo de água pelos animais.

Tradicionalmente, devido sua capacidade de adaptação às condições áridas e semiáridas, a palma forrageira é cultivada em condições de sequeiro, todavia, as mudanças climáticas que vem cada vez mais reduzindo a disponibilidade de água, assim como o manejo empregado, tem promovido alterações no crescimento, desenvolvimento e rendimento, as quais dificultam o bom estabelecimento da cultura.

A melhoria dos sistemas produtivos de palma em condições com má distribuição dos recursos hídricos pode ser atingida com o uso de irrigação, onde o manejo com deficit hídrico controlado baseado na exigência hídrica da cultura, torna-se uma opção. Essa estratégia pode economizar água, energia e mão de obra, evitando o desperdício de água, fator esse, bastante escasso e oneroso para região Semiárida. Contudo, a inserção de novas práticas depende principalmente do seu desempenho produtivo e econômico. Dessa forma, uma análise sobre os reais benefícios oriundos do uso da irrigação com deficit no cultivo da palma pode subsidiar os

produtores nas tomadas de decisão, possibilitando o incremento produtivo ao longo do ano e aumentando a renda na atividade agropecuária.

Desse modo, considerando a escassez de informações sobre o cultivo da palma forrageira submetida a regimes de déficits hídricos controlados, e as limitações dos sistemas de produção da região Semiárida no tocante aos recursos hídricos, estudos sobre a utilização de irrigação com o mínimo de água utilizada são fundamentais para o entendimento do comportamento da palma quanto ao seu crescimento, desenvolvimento e produtividade, de forma que a adoção do manejo adequado pode melhorar a eficiência do uso da água, reduzindo a necessidade hídrica sem comprometer o rendimento final da cultura.

## **CAPÍTULO 1 – FENOFASES, INDICADORES MORFOFISIOLÓGICOS E MOMENTO DE CORTE DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO**

**RESUMO:** Objetivou-se avaliar o efeito de diferentes regimes de deficits hídricos controlados sobre o desenvolvimento e crescimento, por meio das fenofases e dos indicadores morfofisiológicos, além do momento de corte de clones de palma forrageira. O estudo foi conduzido por 18 meses, em Serra Talhada, PE, com delineamento em blocos ao acaso, arranjo fatorial com parcelas subdivididas (4×3), com quatro repetições, sendo considerada como parcelas três regimes de deficits hídricos controlados baseados na evapotranspiração da cultura - ETc (40, 80 e 120%ETc), mais a condição de sequeiro (0%ETc), e as subparcelas, três clones de palma forrageira: Miúda – MIU, Orelha de Elefante Mexicana – OEM e Ipa Sertânia – IPA. Foram obtidos o número total de cladódios por ordem de surgimento, calculadas suas áreas e o índice de área (IAC). O rendimento de matéria seca (MS) dos clones foi obtido ao longo do período estudado. Com a taxa emissão dos cladódios foram delimitadas as fenofases e utilizando os valores de IAC e MS, calculados os indicadores morfofisiológicos. Baseado na taxa de acúmulo de MS definiu-se o momento de corte da cultura. A fenofase 2 dos clones MIU e OEM foi significativamente reduzida até o deficit hídrico controlado de 80%ETc. A ocorrência das fenofases 4 e 5 nos clones IPA e MIU, tiveram mais associadas às condições de maior disponibilidade hídrica. A taxa de assimilação líquida (TAL) do clone OEM foi superior aos demais clones nos deficits de 80%ETc e 120%ETc, possibilitando maior acúmulo de matéria seca ao longo do período estudado. O cultivo de palma forrageira irrigada sob deficit hídrico controlado de até 80%ETc (737,7 mm) antecipa o momento de colheita da cultura, favorecendo a oferta de alimento em menor tempo ao rebanho em relação ao cultivo tradicional.

**Palavras-Chave:** Irrigação, *Nopalea*, *Opuntia stricta* Haw. (Haw.), Taxas de crescimento.

## **PHENOPHASES, MORPHOPHYSIOLOGICAL INDICATORS AND CUTTING TIME OF CACTUS FORAGE UNDER CONTROLLED WATER DEFICIT**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to evaluate the effect of different regimens of controlled water deficits on development and growth, by means of phenophases and morphophysiological indicators, as well as the cutting time of cactus forage clones. The study was conducted for 18 months, in Serra Talhada, PE, with a randomized block design, with plot arrangement (4×3), with four replications, being considered as plots three controlled water deficit regimes based on crop evapotranspiration - ETc (40, 80 and 120% ETc), plus rainfall condition (0% ETc), and subplots, three clones of cactus forage: Miúda - MIU, Mexican Elephant Ear - OEM and Ipa Sertânia – IPA. Were obtained total number of cladodes in order of appearance, calculated their areas and the area index (IAC). The dry matter (DM) yield of the clones was obtained over the period studied. With the rate of emission of cladodes, the phenophases were delimited and, with the IAC and DM values, the morphophysiological indicators were calculated. Phenophase 2 of the MIU and OEM clones was significantly reduced until the controlled water deficit of 80% ETc. The occurrence of phenophases 4 and 5 in the IPA and MIU clones had more associated to the conditions of greater water availability. The net assimilation rate (TAL) of the OEM clone was higher than the other clones in the 80%

ETc and 120% ETc deficits, allowing a greater accumulation of dry matter over the studied period. Cactus forage cultivation under controlled water deficit of up to 80% ETc (737.7 mm) anticipates harvesting time, favoring food supply in a shorter time to the herd in relation to the traditional crop.

**Keywords:** Irrigation, *Nopalea*, *Opuntia stricta* Haw. (Haw.), Semiarid, Growth rates.

## 1 INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é comumente cultivada em regiões áridas e semiáridas por apresentar uma elevada eficiência no uso da água, devido ao seu metabolismo ácido das crassuláceas (MAC). Características como alta digestibilidade, altos níveis de carboidratos solúveis e reserva de água, fazem desta planta uma importante alternativa para a alimentação animal, garantindo, de certa forma, estabilidade de emprego e renda para as famílias do Semiárido brasileiro, principalmente nos períodos de estiagem (LIMA et al., 2016; ARBA et al., 2018; FREIRE et al., 2018; GOMES et al., 2018; HASSAN et al., 2019).

Diante da sua adaptação às condições de seca, a palma forrageira é raramente irrigada, sendo esta prática comum apenas em regiões onde o cultivo é praticado para fins comerciais (i.e., México e Itália) (ARBA et al., 2018). No entanto, estudos recentes têm mostrado que o aporte adicional e estratégico de água, em sistemas de produção de palma forrageira no Semiárido brasileiro pode ser uma alternativa para os produtores, uma vez que pode melhorar o estabelecimento do palmar e aumentar a sua produtividade (ROCHA, VOLTOLINE e GAVA et al., 2017; QUEIROZ et al., 2015; LIMA et al., 2016). A esse respeito, a estratégia de manejo de irrigação com deficit hídrico controlado baseado na exigência hídrica da cultura, torna-se uma alternativa, podendo evitar o desperdício de água, recurso esse, escasso e bastante oneroso para a região Semiárida, além de diminuir os custos com energia e mão de obra (SIMÕES et al. 2018). De acordo com Kögler e Söffker (2017), o deficit hídrico controlado tem como objetivo melhorar a produtividade da água, fornecendo quantidades de irrigação inferiores às necessidades das plantas, sem afetar o seu desempenho produtivo.

A utilização de irrigação, por sua vez, pode promover alterações no crescimento e desenvolvimento da palma quando comparada ao cultivo em condições de sequeiro. Scalise et al. (2016) ao estudarem a dinâmica de crescimento dos cladódios de *Opuntia ficus-indica*, mostraram que longos períodos de seca provocaram a redução do tamanho e da taxa de crescimento dos cladódios. De acordo com Arba et al. (2018), a irrigação, após um longo

período de seca, promove o aumento na emergência de novos cladódios e o crescimento de cladódios mais velhos, além de proporcionar maior emissão de botões florais em *Opuntia sp.*

Dessa forma, há a necessidade de compreender as respostas morfológicas que contribuem para a produção da palma forrageira quando submetidas à irrigação. De acordo com Amorim et al. (2017), uma importante característica a ser analisada é a fenologia, que leva em consideração a taxa de emissão de cladódios por ordem de surgimento (fenofase) ao longo do tempo. Logo, o entendimento de cada fenofase, ou seja, número e duração, determina o manejo adequado para a cultura.

Tradicionalmente, em condições de sequeiro, a palma forrageira é colhida a cada dois anos (LIMA et al., 2016), porém, o início e duração de cada fenofase pode variar em função das práticas de manejo adotadas, adiando ou antecipando o momento de colheita da cultura. Amorim et al. (2017), observaram que a irrigação afetou significativamente as fenofases vegetativas e o acúmulo de matéria seca do clone *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., nas condições do Semiárido brasileiro, o que antecipou em cinco meses o seu momento de corte quando comparado com relatos de cultivos em condição de sequeiro.

Estudos de crescimento e desenvolvimento utilizando índices morfofisiológicos, tais como taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR) e área do cladódio específica (ACE), para clones de palma forrageira submetidos a regimes de deficits hídricos controlados, são escassos na literatura. No entanto, estes índices podem ser utilizados de forma simples e exploratória para verificar o desempenho da cultura em diferentes condições de disponibilidade hídrica e ainda, melhorar o uso da água dentro do sistema de produção (QUEIROZ et al., 2015).

Deste modo, objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito de diferentes regimes de deficits hídricos controlados sobre o desenvolvimento e crescimento, por meio das fenofases e dos indicadores morfofisiológicos, além do momento de corte de clones de palma forrageira.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada, PE (7°59' S; 38°15' O e 431 m), onde o clima é do tipo BShw', de acordo com a classificação de Köopen (ALVARES et al., 2014). Este clima é classificado como semiárido quente, com precipitação

pluvial média de 642 mm ano<sup>-1</sup>, temperatura média do ar de 24,8°C, umidade relativa do ar aproximadamente de 62%, e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2015a).

Três clones de palma forrageira (Clone 1: IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck); Clone 2: Miúda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Clone 3: Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) foram plantadas em janeiro de 2016, no espaçamento 1,0 x 0,2 m (50.000 plantas ha<sup>-1</sup>), em um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico, cuja suas características físico químicas são apresentadas na Tabela 1. Inicialmente o solo foi arado e sulcado e, posteriormente, os cladódios de palma forrageira foram plantados com 50% de seu comprimento enterrado no solo. Durante todo o ano de 2016, os clones foram conduzidos em condição de sequeiro, onde a precipitação pluvial total foi de 521,2 mm. A partir de janeiro de 2017 foi dado início ao estudo, com o estabelecimento de um sistema de irrigação por gotejamento.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE

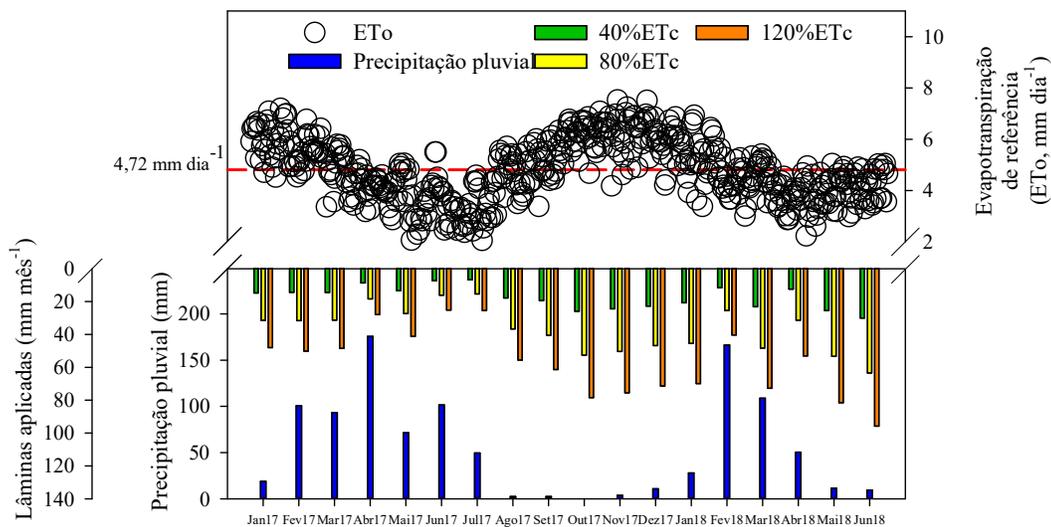
Análise química																		
Prof. (cm)	C.E mS cm <sup>-1</sup>	pH	C g kg <sup>-1</sup>	MO g kg <sup>-1</sup>	P mg dm <sup>-3</sup>	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V %	Cu mg dm <sup>-3</sup>	Fe mg dm <sup>-3</sup>	Mn mg dm <sup>-3</sup>	Zn mg dm <sup>-3</sup>
0-10	0,87	6,9	5,8	10,02	78,11	1,28	0,04	4,0	1,60	0,00	0,5	6,9	7,4	93,5	0,47	24,3	24,4	0,98
10-20	0,52	6,7	4,8	8,28	66,51	0,74	0,03	4,5	2,20	0,00	0,7	7,5	8,2	91,2	0,56	25,2	23,1	0,85
Análise física																		
Prof. (cm)	Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )					Densidade			Porosidade		Granulometria							
	C.E	pH	C	MO	P	Solo	Partícula	Total (%)	A. total*	Silte	Argila							
	.....	Mpa	.....	kg dm <sup>-3</sup>	.....	.....	.....	.....	.....	g kg <sup>-1</sup>	.....							
0-10	11,56	9,28	6,62	5,90	5,32	4,10	1,58	2,43	34,80	833,3	128,4	38,3						
10-20	11,94	9,69	7,24	6,49	5,90	4,38	1,60	2,53	36,71	830,4	118,8	50,8						

\*A. total – areia total; C.E – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions e V – índice de saturação de bases.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com esquema fatorial 4x3 e parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram

constituídas por três regimes de deficits hídricos controlados, baseados na evapotranspiração da cultura – ETc (40%ETc; 80%ETc e 120%ETc) mais a condição de sequeiro (0%ETc). Já as subparcelas, foram compostas pelos os três clones de palma forrageira. Cada parcela experimental possuiu 60 m<sup>2</sup>, sendo formada por quatro fileiras de cultivo com 25 plantas de cada clone, totalizando 75 plantas por fileira. As duas fileiras centrais, exceto duas plantas das extremidades de cada subparcela, foram consideradas como parcelas úteis, com área igual a 26,8 m<sup>2</sup>.

A irrigação foi realizada por meio de sistema de gotejamento, com uniformidade de aplicação de água de 85%, com emissores espaçados a 0,20 m e vazão de 2,25 L h<sup>-1</sup> à uma pressão de 1 atm. A água utilizada apresentou condutividade elétrica média de 1,51 dS m<sup>-1</sup>, com concentração média de sódio e potássio de 168,66 mg L<sup>-1</sup> e 28,17 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente, oriunda de poço artesiano com profundidade de 48 m e vazão de 12,4 m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup>. Para a aplicação das lâminas de água, foi calculada diariamente a Evapotranspiração de referência (ETo) pela equação de Penman-Monteith, parametrizada pela FAO (PM - FAO56) (ALLEN et al., 1998). O valor médio da ETo durante o estudo foi igual a 4,72 mm dia<sup>-1</sup> (Fig. 1). A ETc foi obtida pelo produto da ETo e do coeficiente de cultura (Kc), considerado igual 0,52 de acordo com Queiroz et al. (2016) para ambas espécies. A reposição de água foi realizada às segundas, quartas e sextas-feiras, sempre que a precipitação pluvial fosse menor que a ETo acumulada entre esses dias.



**Figura 1.** Evapotranspiração de referência (ETo), lâminas de água aplicada e precipitação pluvial em área cultivada com palma forrageira sob deficit hídrico controlado, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018, em Serra Talhada – PE.

Ao final do experimento, os clones de palma forrageira receberam um total de 313,4 mm (40%ETc), 666,7 mm (80%ETc) e 1.022,1 mm (120%ETc), e quando somados à precipitação pluvial, resultaram em 1.005 mm, 1.318,4 mm, 1.671,7 mm e 2.027,1 mm de água para as condições de sequeiro (0%ETc), 40%ETc, 80%ETc e 120%ETc, respectivamente.

Durante o período experimental foram realizados tratos culturais para o controle de doenças e plantas daninhas. A adubação química foi feita a cada três meses, com a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 14-00-08 (NPK) de acordo com a recomendação do Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA.

As características morfológicas de crescimento das plantas foram obtidas em 18 campanhas biométricas: 10/01/17; 11/02/17; 11/03/17; 11/04/17; 17/05/17; 10/06/17; 15/07/18; 25/08/17; 18/09/17; 12/10/17; 15/11/17; 16/12/17; 11/01/18; 28/02/18; 09/03/18; 01/05/18, 17/05/18 e 26/06/18. Nessas ocasiões foram mensuradas duas plantas por subparcela, resultando em seis plantas por parcela, totalizando um número de 96 plantas analisadas em toda área. Em cada planta foram obtidos valores de altura da planta (AP (cm) - superfície do solo até o cladódio mais alto da planta) e largura da planta (LP (cm) - parte mais larga da planta), adquiridos com o uso de fita métrica. O número total de cladódios (NTC) por ordem de surgimento (i.e. NC1 - oriundos do cladódio basal; NC2 – provenientes dos cladódios de primeira ordem e assim sucessivamente) também foi contabilizado, assim como, mensurado o cladódio basal até o último cladódio da ramificação representativa da planta para a obtenção das seguintes variáveis: comprimento do cladódio (CC (cm) - da base do cladódio até seu ápice); largura do cladódio (LC (cm) - de uma extremidade a outra, na região mediana do cladódio); perímetro do cladódio (PC (cm) - circunferência do cladódio), utilizando-se fita métrica e, a espessura do cladódio (EC (mm) - espessura da região mediana do cladódio) com auxílio de paquímetro. Além disso, baseados nos modelos matemáticos ajustados por Silva et al. (2014), foram calculadas as áreas dos cladódios (AC) por ordem de surgimento e por clone de palma forrageira (Eq. 1, 2 e 3). Posteriormente, determinou-se os valores médios de AC por clone.

$$AC_{MIU} = 0,7198 * CC * LC \quad (1)$$

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

$$AC_{IPA} = 1,6691 * (1 - \exp(0,0243 * PC)) / -0,0243 \quad (3)$$

em que, CC: Comprimento do cladódio (cm); LC: Largura do cladódio (cm), e PC: Perímetro do cladódio (cm).

O índice de área dos cladódios (IAC), foi calculado por meio da razão entre a área total de cladódios e o espaçamento utilizado (PINHEIRO et al., 2014).

A fenologia vegetativa dos clones de palma forrageira foi determinada a partir de análises de regressão, com modelos sigmóides com três parâmetros, para testar a associação entre o número de cladódios por ordem de surgimento e os graus dias acumulados (GDA, °Cdia) ao longo do experimento. O GDA foi obtido pela soma dos valores dos graus dias (GD °Cdia), que foi calculado pela diferença entre os valores diários de temperatura média do ar (°C) e a temperatura base inferior da cultura (°C), considerado igual a 22°C conforme Araújo Júnior et al. (2017). Equações com coeficientes de determinação superiores a 0,85 e parâmetros significativos ( $p < 0,05$ ), usando teste t, foram derivadas para o cálculo das taxas diárias da produção de cladódios. Foi considerada uma nova fase vegetativa quando a taxa de emissão de cladódios de uma determinada ordem foi superada pela taxa de emissão de cladódios de ordem subsequente (AMORIM et al., 2017).

Ao longo do experimento foram realizados cortes, a cada 90 dias, para a determinação da fitomassa fresca e seca dos clones de palma forrageira. Para cada ocasião, foram amostradas 48 plantas (três por parcela), onde após a mensuração da AP e LP, foram deixados apenas os cladódios de primeira ordem, seguindo os demais para pesagem e, posteriormente, após escolha de dois cladódios representativos de cada planta, seguiram para secagem em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55°C, até atingir o peso constante de matéria seca (kg) (SILVA e QUEIROZ, 2006).

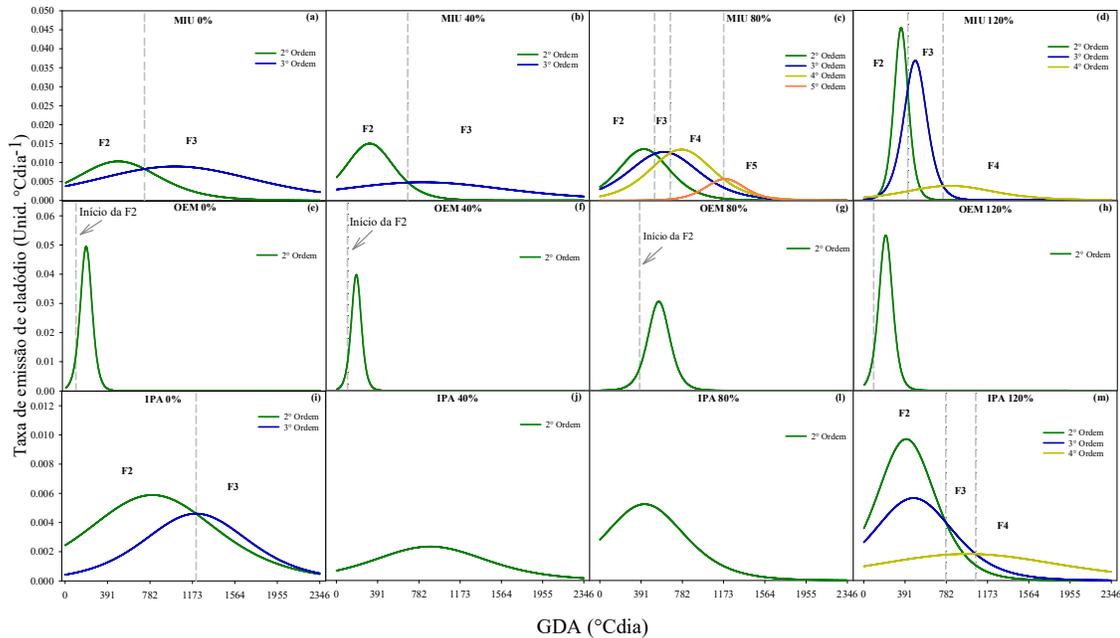
Os índices morfofisiológicos foram obtidos a partir da análise de regressões sigmóides, entre os valores de matéria seca e de IAC com a variável independente “GDA”. Equações com coeficientes de determinação superiores a 0,85 foram derivadas para o cálculo das taxas diárias de acúmulo de matéria seca, resultando na taxa de crescimento absoluto da cultura (TCA, Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia). Além da TCA, foram calculadas as taxas de assimilação líquida (TAL, Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia), taxas de crescimento relativo (TCR, Mg Mg<sup>-1</sup> °Cdia) e área do cladódio específica (ACE, ha Mg<sup>-1</sup>), por meio do cálculo das relações  $TAL = TCA/IAC$ ,  $TCR = TCA/MS$  e  $ACE = IAC/MS$ .

O momento de corte dos clones de palma forrageira foi determinado a partir dos valores de acúmulo de matéria seca. Dessa forma, o GDA que apresentou taxa de matéria seca correspondente a 25% da taxa máxima apresentada pelo clone foi definido como o momento ideal de corte, conforme descrito por Amorim et al. (2017).

O ajuste das curvas de regressão e a confecção dos gráficos foram realizados no SigmaPlot (versão 14.0) da Systat Software, San Jose, CA.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número e duração das fenofases dos clones de palma forrageira variaram em função das espécies e dos diferentes regimes de deficits hídricos controlados. Baseado na taxa de produção de cladódio (Fig. 2), foi observado o número máximo de cinco fenofases para o clone MIU, quatro fenofases para o clone IPA e duas fenofases para o clone OEM durante o período estudado.



**Figura 2.** Fenofases de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.

A fenofase 1 (F1), caracterizada pela taxa de emissão de cladódios de primeira ordem, foi encontrada em todas as condições para os três clones (dados não mostrados). A fenofase 2 (F2) também foi observada em todos os clones e foi caracterizada pela maior taxa de emissão de cladódios, onde o pico de emissão ocorreu em média aos 424 °Cdia (entre março e abril), onde a ETo foi abaixo da média e o aporte de água (precipitação + irrigação) foi maior (Fig. 1). A sua duração variou em função das espécies e das condições de deficits hídricos controlados (Fig. 2). Para o clone MIU (Fig. 2a, 2b, 2c e 2d), a duração da F2 diminuiu com o aumento da quantidade de água aplicada, variando de 727 °Cdia, 678 °Cdia, 519 °Cdia e 418 °Cdia para as

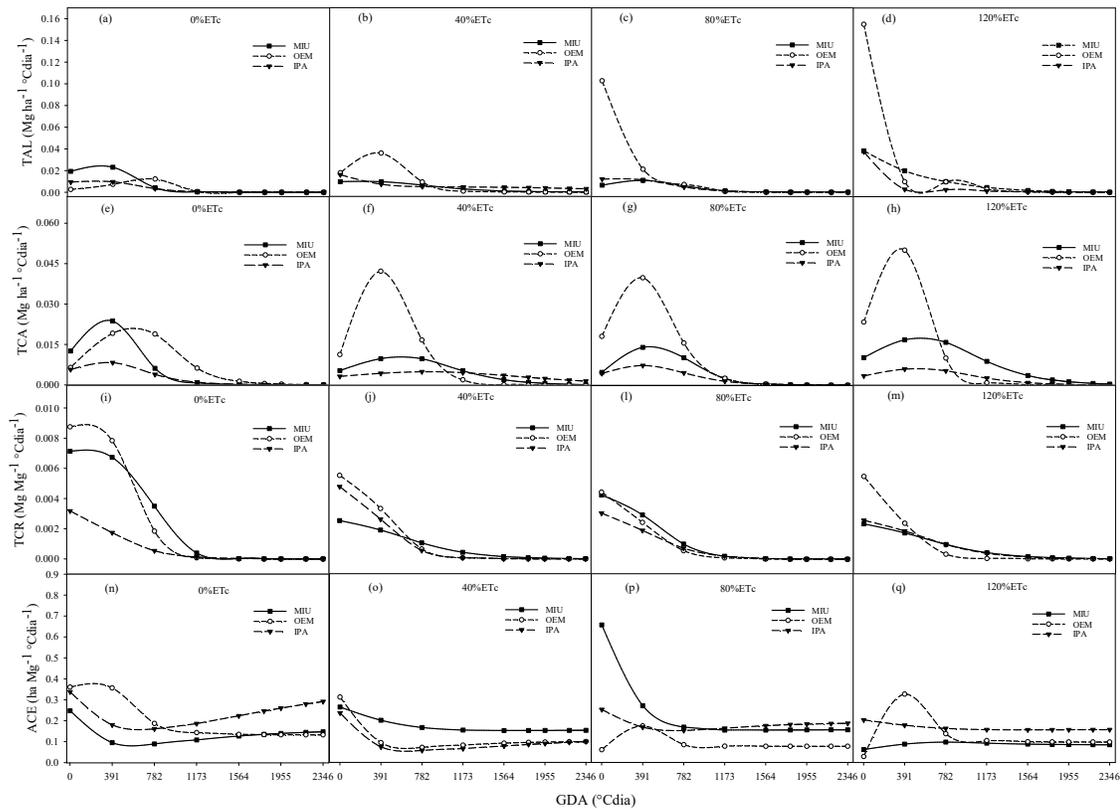
condições de sequeiro (0%ETc), 40%ETc, 80%ETc e 120%ETc, respectivamente, o que pode ser decorrente de condições favoráveis para o aumento da taxa de emissão de cladódios de ordem superiores, logo, a duração das fenofases iniciais (i.e., 1º ordem e 2º ordem) tendem a diminuir ao passo que novos cladódios são emitidos.

A F2 no clone OEM perdurou por todo o período experimental, com seu início variando em função das condições impostas à cultura (Fig. 2e, 2f, 2g, 2h). Com o aumento da disponibilidade hídrica até o deficit hídrico controlado de 80%ETc, houve um aumento no período inicial da F2 e, conseqüentemente, redução da duração desta fenofase. O início da F2 se deu aos 94 °Cdia, 102°Cdia, 374 °Cdia e sua duração variou de 2.345 °Cdia, 2.334 °Cdia e 2.062 °Cdia, para as condições de sequeiro (0%ETc), 40%ETc e 80%ETc, nessa ordem. Amorim et al. (2017) também observaram diminuição da fenofase 2 da *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. em decorrência do aumento das lâminas de irrigação. Para o clone IPA (Fig. 2i, 2j, 2l e 2m) foi observado uma redução da F2 em relação a condição de sequeiro apenas na condição de deficit hídrico controlado de 120%ETc. Nas condições de 40%ETc e 80%ETc, a F2 se estendeu por todo o período experimental, ou seja, com duração de 2.436 °Cdia. A fenofase 3 (F3), caracterizada pela maior taxa de emissão de cladódio de terceira ordem, foi observada nos clones MIU (Fig. 2a, 2b, 2c e 2d) e IPA (Fig. 2i, 2j, 2l e 2m) e sua duração diminuiu em função do aparecimento de fenofases superiores (Fig. 4c, 4d, 4i e 4m).

A ocorrência das fenofases finais 4 (F4) e 5 (F5) observadas nos clones IPA e MIU, respectivamente, esteve mais associadas às condições de deficit de 80%ETc e 120%ETc, o que pode ser devido a maior disponibilidade de água no solo, o que possibilita uma maior taxa de emissão de cladódios de ordem superiores, seja ela em função de condições favoráveis para o desenvolvimento ou como um mecanismo de defesa contra o estresse hídrico (AMORIM et al., 2017).

Em relação aos índices morfofisiológicos (Fig. 3), observa-se comportamentos distintos entre os clones de palma forrageira em função dos tratamentos aplicados. A taxa de assimilação líquida (TAL), expressa a correlação entre área foliar e produção de matéria seca da planta, ou seja, reflete a eficiência fotossintética das folhas, que no caso da palma, assume-se a eficiência fotossintética dos cladódios (QUEIROZ et al., 2015; ZUFFO et al., 2016). Verifica-se na Figura 3a, 3b, 3c e 3d, que os maiores valores de TAL ocorreram no início do período experimental, até aos 782 °Cdia, com posterior redução e estabilização. Durante este intervalo, as taxas médias obtidas foram de 0,013 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, 0,032 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,010 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> para os clones MIU, OEM e IPA, respectivamente. A maior TAL apresentada pelo clone OEM pode

ser decorrente do tamanho dos seus cladódios, o que possibilita maior área fotossintética (SILVA et al., 2015, SILVA et al., 2014), além da menor emissão de cladódios novos e superiores em relação aos demais clones (Fig. 2), sendo que a presença de cladódios mais jovens é considerado um fator adicional para a redução da absorção líquida diária de CO<sub>2</sub> pelos cladódios mais velhos da planta (PIMIENTA-BARRIOS et al., 2005). De acordo com Liguori et al. (2013), a assimilação de CO<sub>2</sub> dentro do dossel das plantas pode variar em função da idade dos cladódios, interceptação da radiação solar, densidade de plantio e resposta ao estresse abiótico.



**Figura 3.** Índices morfofisiológicos de crescimento de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018. TAL - Taxa de assimilação líquida (a, b, c, d); TCA - taxa de crescimento absoluto (e, f, g, h), TCR - taxa de crescimento relativo (i, j, l, m) e ACE – área do cladódio específica (n, o, p, q).

O declínio da TAL observado ao longo do ciclo para todos os clones (Fig. 3a, 3b, 3c e 3d), é decorrente do aumento do índice de área do cladódio, resultando no autosombreamento da cultura (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004; QUEIROZ et al., 2015). Franck et al.

(2013) ao avaliarem plantas de *Opuntia ficus-indica* cultivadas sob sombreamento, observaram uma redução de 50% na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> quando comparadas com plantas cultivadas a pleno sol.

Nas condições de 40%ETc, 80%ETc e 120%ETc, observa-se que o clone OEM apresentou maiores valores médios de TAL (0,007 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, 0,017 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,019 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente) quando comparado com a condição de sequeiro (0,002 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>) (Fig. 3a, 3b, 3c e 3d). Liguori et al. (2013) mostraram que plantas de *Opuntia ficus-indica* cultivadas sob irrigação duplicaram sua taxa de assimilação líquida de CO<sub>2</sub> em relação às cultivadas sob seca, devido ao melhor estado hídrico da planta. Já os clones MIU e IPA, praticamente não mostraram diferença nas distintas condições impostas.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) indica a variação ou o incremento no crescimento da cultura ao longo do período estudado (ZUFFO et al., 2016). A TCA apresentou duas fases bem definidas para os três clones de palma forrageira (Fig. 3e, 3f, 3g e 3h), onde a primeira foi caracterizada pelo acúmulo de matéria seca, ocorrendo em média até 391°Cdia, e a segunda marcada pela sua diminuição. Os maiores valores de TCA foram 0,037 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, 0,016 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,0064 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, para os clones OEM, MIU e IPA, nessa ordem. Os maiores valores obtidos pelo clone OEM, podem estar relacionados à maior área dos seus cladódios, o que possibilita aumento na eficiência fotossintética (Fig. 3a, 3b, 3c e 3d) e, conseqüentemente, maior acúmulo de matéria seca. Por outro lado, os baixos valores obtidos pelo clone IPA pode ser decorrente do alto índice de mortalidade das plantas (dados não mostrados). Silva et al. (2015b) relataram que o clone IPA quando comparado aos clones MIU e OEM, apresentou maior mortalidade e por esse motivo, seu rendimento (massa fresca e massa seca) não foi tão expressivo.

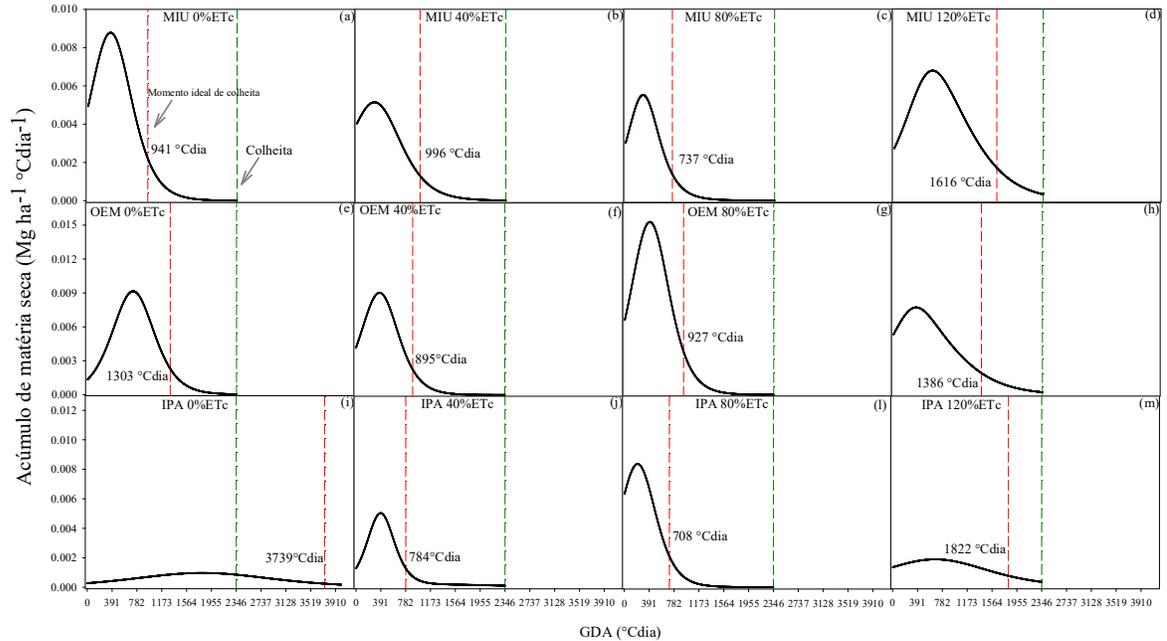
A taxa de crescimento relativo (TCR) dos clones de palma forrageira reduziu ao longo do período experimental (Fig. 3i, 3j, 3l e 3m). Os valores máximos obtidos foram 0,0087 Mg Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, 0,0071 Mg Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,0031 Mg Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> para os clones OEM, MIU e IPA, nessa ordem. Assim, esses resultados indicam que o clone OEM, apresenta maior capacidade de acúmulo de matéria seca por unidade de tempo a partir de uma quantidade de fitomassa pré-existente. Geralmente, os valores de TCR diminuem de acordo com que a planta cresce, muito em função do autosombreamento da cultura e, no final do ciclo, pode se tornar negativo devido a morte de órgãos vegetativos (ZUFFO et al., 2016; TEXEIRA et al., 2015).

A área do cladódio específica (ACE) quantifica a distribuição de matéria seca sobre a área fotossintetizante do cladódio e na grande maioria dos casos, tem relação inversa com a

espessura dos cladódios (QUEIROZ et al., 2015). De acordo com Ali et al. (2017), a área foliar específica das plantas é inerente de cada espécie, todavia, pode existir variações dentro e entre plantas individuais da mesma espécie. Para os clones MIU e IPA, observa-se a tendência de diminuição da ACE ao longo do período estudado em todas as condições impostas (Fig. 3n, 3o, 3p, 3q), decorrente do maior acúmulo de matéria seca ao longo do estudo. Já o clone OEM, na condição de sequeiro (0%ETc) e no deficit hídrico de 40%ETc, apresentou comportamento semelhante aos demais clones, no entanto, nos deficits hídricos de 80%ETc e 120%ETc, a ACE teve um aumento até 391 °Cdia, com redução até 782°Cdia e posterior estabilização. Observa-se que no início do estudo, o clone OEM teve elevada taxa de assimilação líquida (Fig. 3c e 3d), ou seja, um maior acúmulo de matéria seca, resultando nos baixos valores de ACE (Fig. 3p e 3q). Ao passo que a taxa de assimilação líquida diminuiu, devido ao autosombreamento da cultura, houve um aumento da ACE, em função do aumento do índice de área do cladódio.

Em relação aos deficits hídricos controlados, os maiores valores de ACE foram obtidos na condição de sequeiro, com média igual a 0,189 ha Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, o que pode ser explicado pelos menores valores de espessura dos cladódios (dados não mostrados). Scalise et al. (2016) observaram uma redução de 75% na espessura dos tecidos do parênquima dos cladódios de *Opuntia ficus-Indica* após um período de 75 dias sob seca. De acordo com Liguori et al. (2013), em condições de boa umidade do solo, o parênquima se torna espesso por conta da elevada quantidade de água presente em seus tecidos, em contra partida, em condições de seca, há uma acentuada redução. Nas condições de 40%ETc, 80%ETc e 120%ETc, os valores de ACE foram iguais a 0,127 ha Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, 0,163 ha Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,122 ha Mg<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente.

O acúmulo de matéria seca variou em função dos regimes de deficits hídricos controlados e das espécies de palma forrageira (Fig. 4). O acúmulo de matéria seca foi maior nas condições de 80%ETc e 120%ETc, com média de 0,0024 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,0025 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e máximo acúmulo ocorrendo aos 329 °Cdia e 545 °Cdia, nessa ordem. O clone OEM no deficit de 80%ETc e o clone MIU no deficit de 120%ETc, apresentaram as maiores taxas médias, sendo iguais a 0,0043 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,0034 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, respectivamente. Nos tratamentos 0%ETc e 40%ETc, os clones obtiveram acúmulo médio iguais a 0,0022 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup> e 0,0017 Mg ha<sup>-1</sup> °Cdia<sup>-1</sup>, ocorrendo a máxima acumulação aos 962 °Cdia e 346 °Cdia, respectivamente.



**Figura 4.** Acúmulo de matéria seca e momento de corte de clones de palma forrageira cultivados sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.

Baseado no acúmulo de matéria seca, observa-se uma variação em relação aos clones de palma forrageira quanto ao momento de corte ideal em função dos déficits hídricos controlados (Fig. 4). Considerando o clone MIU (Fig. 4a, 4b, 4c e 4d), o déficit hídrico controlado de 80%ETc proporcionou o menor momento de corte (737 °Cdia) quando comparado com os demais. Resultado esse também observado para o clone IPA (Fig. 4i, 4j, 4l e 4m). Por outro lado, ao observar o clone OEM (Fig. 4e, 4f, 4g e 4h), a maior antecipação do momento da colheita é atribuído ao seu cultivo irrigado na condição de déficit hídrico controlado de 40%ETc, podendo o corte ser realizado aos 895 °Cdia. Em termos mensais e levando em consideração que os clones foram plantados em janeiro de 2016, assume-se que os clones MIU e IPA tiveram seu tempo de colheita reduzidos em sete meses e o clone OEM em cinco meses em relação aos 24 meses mencionados na literatura para cultivos em sequeiro (LIMA et al., 2016).

Os resultados mostraram ainda que com o aumento da quantidade de água aplicada até o déficit de 80%ETc, há uma antecipação do momento de corte da palma em relação à condição de sequeiro (Fig. 4), corroborando com Amorim et al. (2017). Dessa forma, a antecipação do corte da palma forrageira é importante para a obtenção de alimento para os rebanhos em um

espaço de tempo menor em comparação à cultivos não irrigados (ROCHA, VOLTOLINI e GAVA, 2017). Todavia, o período de corte mais conveniente para os produtores, deve ser baseado também na demanda por alimento pelos rebanhos e disponibilidade de outros recursos alimentares existentes (AMORIM et al., 2017).

Se tratando do deficit hídrico controlado de 120%ETc (Fig. 4d, 4h e 4m), é observado um acréscimo no momento de corte em relação aos outros deficits, o que pode ser explicado pela quantidade de água recebida nesta condição (tratamento + precipitação = 2.136,68 mm), uma vez que a disponibilidade hídrica elevada pode afetar a capacidade de utilização de água para o desenvolvimento da cultura (QUEIROZ et al., 2015) e assim, retardar o tempo de colheita.

#### **4 CONCLUSÕES**

A duração da fenofase 2 dos clones Miúda e Orelha de Elefante Mexicana, diminuiu até o deficit hídrico controlado de 80%ETc.

A ocorrência das fenofases 4 e 5 nos clones Ipa Sertânia e Miúda, respectivamente, esteve mais associada, além das características da espécie, às condições de maior disponibilidade hídrica. Por outro lado, as fenofases 2 e 3 no clone Miúda tiveram menores durações com o surgimento de fenofases superiores.

A taxa de assimilação líquida (TAL) do clone Orelha de Elefante Mexicana foi superior aos demais clones, principalmente nos deficits de 80%ETc e 120%ETc, possibilitando maior acúmulo de matéria seca (TCA) ao longo do período estudado.

O clone Orelha de Elefante Mexicana em relação aos demais clones, possui maior capacidade de acúmulo de matéria seca por unidade de tempo a partir de uma quantidade de fitomassa pré-existente.

O cultivo de palma forrageira irrigada sob deficit hídrico controlado de até 80%ETc (737,7 mm) antecipa o momento de colheita da cultura, favorecendo a oferta de alimento em menor tempo ao rebanho em relação ao cultivo tradicional.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) pela assistência na condução e finalização do experimento.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G., PEREIRO, L. S., RAES, D. AND SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, 56, 1998.
- ALI, A.M.; DARVISHZADEH, R.; SKIDMORE, A. K.; DUREN, I.V. Specific leaf area estimation from leaf and canopy reflectance through optimization and validation of vegetation indices. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 236, p. 162 – 174, 2017.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, V. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AMORIM, D.M.; SILVA, T.G.F.; PEREIRA, P.C.; SOUZA, L.S.B.; MINUZZI, R.B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 62-71, 2017.
- ARAÚJO JÚNIOR, G.N.; QUEIROZ, M.G.; JARDIM, A.M.R.F.; ARAUJO, J.F.N.; SILVA, T.G.F. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com o sorgo. In: XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro, 2017, **Anais...** Juazeiro-BA/Petrolina-PE: SBAGRO, 2017.
- ARBA, M.; FALISSE, A.; CHOUKR-ALLAH, R.; SINDIC, M. Effect of irrigation at critical stages on the phenology of flowering and fruiting of the cactus *Opuntia* spp. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, n. 4, p. 653-660, 2018.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A.; CASTILLO, I. O.; AMADOR, B. M.; HERNÁNDEZ, J. L. G.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.70, p.97-107, 2004.
- FRANCK, N.; MUÑOS, V.; ALFARO, F.; ARANCIBIA, D.; PÉREZ-QUEZADA, J. Estimating the Carbon Assimilation of Growing Cactus Pear Cladodes through Different Methods. **Acta Horticulturae**, v. 19, p. 157 – 164, 2013.
- FREIRE, J. L.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; BEZERRA NETO, E.; LIRA, M.A.; CUNHA, M.V.; SANTOS, D.C.; AMORIM, S.O.; MELLO, A.C.L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3893-3900, 2018.
- GOMES, G.M.F.; CÂNDIDO, M.J.D.; LOPES, M.N.; MARANHÃO, T.D.; ANDRADE, D.R.; COSTA, J.F.M.; SILVEIRA, W.M.; NEIVA, J.N.M. Chemical composition of cactus pear cladodes under different fertilization and harvesting managements. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.53, n.2, p.221-228, Feb. 2018.
- HASSAN S.; INGLESE, P.; GRISTINA, L.; LIGUORI, G.; NOVARA, A.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy**, v.105, p. 104 – 110, 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. 1, p. 14 - 20, 2013.

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

KÖGLER, F.; SÖFFKER, D. Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. **Ecological Modelling**, v. 361, p.135 – 156, 2017.

PIMIENTA-BARRIOS E.; ZAÑUDO-HERNANDEZ, J.; ROSAS-ESPINOZA, V.C.; VALENZUELA-TAPIA, A.; NOBEL, P.S. Young daughter cladodes affect CO uptake by mother cladodes of *Opuntia ficus-indica*. **Annals of Botany**, v. 95, n. 2, p. 363 – 369, 2005.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.49, n.12, p.939-947, 2014.

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

QUEIROZ, M.G.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; SOUZA, C.A.A.S.; CARVALHO, H.F.S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p.141-154, 2016.

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. **Revista Archivos de Zootecnia**, v.66, n.255, p.365-373, 2017.

SILVA, T.G.F.; MIRANDA, K.R.; SANTOS, D.C.; QUEIROZ, M.G.; SILVA, M.C.; CRUZ NETO, J.F.; ARAÚJO, J.E.M. Área do cladódio de 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.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; MOURA, M.S.B.; SILVA, S.M.S.; MORAIS, J.E.F.; PEREIRA, P.C.; SOUZA, C.A.A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.7, p.515 - 525, 2015a.

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, 2015b.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: Método químicos e biológicos**. 3. Ed. Minas Gerais: UFV, 2005.

SIMÕES, W.L.; CALGARO, M.; GUIMARÃES, M.J.M.; OLIVEIRA, A.R.; PINHEIRO, M.P.M.A. Sugarcane crops with controlled water deficit in the sub-middle São Francisco valley, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 4, p.963 – 971, 2018.

SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; LO BIANCO, R. Cladode growth dynamics in *Oputia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v.122, p.158 – 167, 2016.

TEIXEIRA, G.C.S.; STONE, L.F.; HEINEMANN, A.B. Eficiência do uso da radiação solar e índices morfofisiológicos em cultivares de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.45, n.1, p.9-17, jan./mar. 2015.

ZUFFO, A.M.; ZUFFO JÚNIOR, J.M.; SILVA, L.M.A.; MENEZES, K.O. Análise de crescimento em cultivares de alface nas condições do sul do Piauí. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63, n.2, p. 145-153, mar/abr, 2016.

## **CAPÍTULO 2 - PRODUTIVIDADE, COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA E BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO**

**RESUMO:** Objetivou-se analisar o desempenho produtivo, a composição bromatológica e os benefícios econômicos de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado. O estudo foi conduzido por 18 meses, em Serra Talhada, PE, com delineamento em blocos ao acaso, arranjo fatorial com parcelas subdivididas (4×3), com quatro repetições, sendo considerada como parcelas três regimes de deficits hídricos controlados baseados na evapotranspiração da cultura - ETc (40, 80 e 120%ETc), mais a condição de sequeiro (0%ETc), e as subparcelas, três clones de palma forrageira: Miúda – MIU, Orelha de Elefante Mexicana – OEM e Ipa Sertânia – IPA. Foram obtidos o número total de cladódios e os rendimentos em massa fresca e seca, assim como os valores dos componentes bromatológicos da palma. A viabilidade econômica foi analisada por meio da receita líquida (RL) e da relação benefício/custo (B/C) da palma destinada à venda para forragem e para o plantio. Ao final, foram realizadas simulações de RL e B/C ao longo da vida útil de oito anos do sistema de irrigação. O acréscimo das lâminas de irrigação não contribuiu para o aumento produtivo dos clones para essa condição estudada. Contudo, o clone OEM apresentou maiores rendimentos em comparação aos clones MIU e IPA. Os deficits hídricos não influenciaram na qualidade nutricional dos clones. Baseado na RL e B/C, observou-se que a palma destinada ao plantio, apresenta maior rentabilidade ao produtor. Conclui-se que, em regiões com índice pluviométrico superior a 1000 mm, torna-se inviável a adoção de sistema de irrigação para cultivo de palma forrageira.

**Palavras-chave:** *Nopalea*, *Opuntia stricta* Haw. (Haw), Semiárido, Viabilidade econômica

## **PRODUCTIVITY, BROMATOLOGICAL COMPOSITION AND ECONOMIC BENEFITS OF CLONES FOR CACTUS FORAGE TREES UNDER CONTROLLED WATER DEFICIT**

**ABSTRACT:** The objective was to analyze the productive performance, the bromatological composition and the economic benefits of cactus forage clones cultivated under controlled water deficit. The study was conducted for 18 months, in Serra Talhada, PE, with a randomized block design, with plot arrangement (4×3), with four replications, being considered as plots three controlled water deficit regimes based on crop evapotranspiration - ETc (40, 80 and 120% ETc), plus rainfall condition (0% ETc), and subplots, three clones of cactus forage: Miúda - MIU, Mexican Elephant Ear - OEM and Ipa Sertânia – IPA. The total number of cladodes and yields of fresh and dry mass, as well as the values of the bromatological components of the cactus were obtained. The economic viability was analyzed through the net revenue (RL) and the cost / benefit ratio (B / C) of the cactus destined to the sale for fodder and planting. At the end, RL and B / C simulations were performed over the eight-year life of the irrigation system. The addition of the irrigation slides did not contribute to the productive increase of the clones for this studied condition. However, the OEM clone showed higher yields compared to the MIU and IPA clones. Water deficits did not influence the nutritional quality of the clones. Based on

RL and B/C, it was observed that the palm intended for planting, presents greater profitability to the producer. It is concluded that in regions with a rainfall index greater than 1000 mm, it is not feasible to adopt an irrigation system for cactus forage cultivation.

**Keywords:** *Nopalea*, *Opuntia stricta* Haw. (Haw), Semi-arid, Economic viability

## 1 INTRODUÇÃO

A palma forrageira é um recurso de grande relevância agropecuária em várias regiões do planeta, principalmente, em regiões onde as altas temperaturas e o déficit hídrico são características marcantes do clima (DUBEUX JÚNIOR et al., 2015; NADAF et al., 2018; PEIXOTO et al., 2018). Devido ao seu Metabolismo Ácido das Crassuláceas (MAC), essa cactácea apresenta alta eficiência no uso da água, o que resulta no aumento na produção de fitomassa com valor energético para os rebanhos e contribui com a redução da variação estacional da produção de forragem (FREIRE et al., 2018; SNYMAN, 2013; RAMOS et al., 2015; SILVA et al., 2015a).

Os clones Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), Miúda e IPA Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) são resistentes a cochonilha-do-carmim (*Dactlopius opuntiae*), a principal praga da cultura, e por isso, ganham destaque nas propriedades do Semiárido brasileiro (LOPES et al., 2010). Tradicionalmente, essas espécies são cultivadas em condições de sequeiro, muito em função das características anatômico-morfo-fisiológicas que as conferem boa adaptação às condições climáticas dessa região (LEITE et al., 2014; ALVES et al., 2017). No entanto, as alterações sazonais e interanuais das condições do ambiente, que vem reduzindo ainda mais a disponibilidade de água, podem ocasionar modificações no crescimento e no desenvolvimento dessa cultura, podendo afetar o seu desempenho produtivo e valor nutritivo da forragem produzida (DONATO et al., 2014; SILVA et al., 2015a; LIMA et al., 2018).

O uso da irrigação no cultivo da palma forrageira em ambientes semiáridos tem sido relatados por alguns autores (LIMA et al., 2016; MORAIS et al., 2017; NADAF et al., 2018). Lima et al. (2015) mostraram produtividade média em torno de 30 ton ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de fitomassa fresca de *Nopalea sp.* submetida à irrigação por gotejamento com água salina. Queiroz et al. (2015) não observaram influência de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade de fitomassa fresca e seca (131,6 e 8,18 ton ha<sup>-1</sup>) de *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., todavia, esses valores mostram-se superiores aos relatos de cultivos em condições de sequeiro.

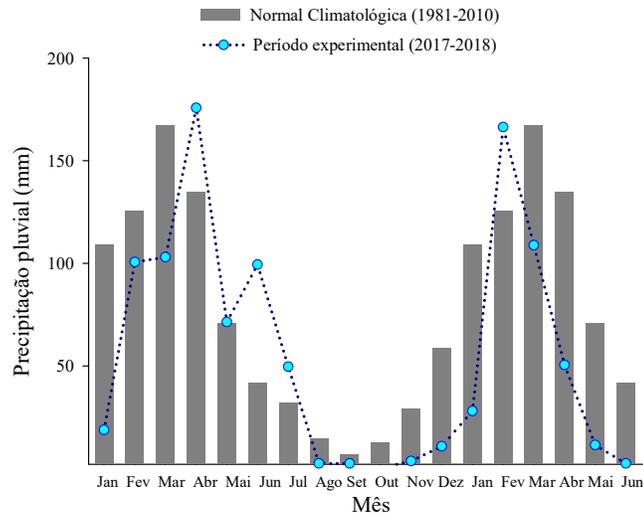
A utilização da irrigação, ainda, é considerada um recurso limitado para os sistemas produtivos do Semiárido brasileiro. Dessa forma, o manejo de deficit hídrico controlado, baseado na necessidade hídrica da cultura, torna-se uma alternativa, visto que essa prática possibilita o uso mínimo de água, sem comprometer o rendimento da cultura, com redução dos custos de irrigação, energia e mão de obra (LEVIDOW et al., 2014; BERBEL; GUTIERREZ-MARIN, EXPÓSITO, 2018).

Os produtores não têm conhecimento dos reais benefícios oriundos da adoção da irrigação no sistema de produção de palma forrageira. De acordo com Lima et al. (2018), a escolha por novas técnicas dentro de um sistema de produção já consolidado é dependente especialmente do seu desempenho agroeconômico, que permite identificar suas vantagens baseando-se nas respostas produtivas das culturas, na receita líquida resultante e na sua viabilidade econômica.

Dessa forma, testamos a hipótese de que o cultivo com uso mínimo de água não diminui a produtividade e a qualidade nutricional da palma forrageira, podendo ainda, aumentar significativamente a lucratividade no sistema de produção desta cultura. Logo, objetivou-se com esse estudo, analisar o desempenho produtivo, a composição bromatológica e os benefícios econômicos de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O estudo foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada, PE (7°59' S; 38°15' O e 431 m). As características climáticas locais são determinadas pela precipitação pluvial média, de acordo com a normal climatológica 1981-2010 (Fig. 1), de 805 mm ano<sup>-1</sup>, temperatura média do ar de 24,8°C, umidade relativa do ar aproximadamente de 62%, e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2015b).



**Figura 1.** Normal climatológica (1981-2010) e precipitação pluviométrica mensal do município de Serra Talhada – PE durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.

O solo foi classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico e o clima, de acordo com a classificação de Köopen é do tipo BShw' (ALVARES et al., 2014). As características químicas e físicas do solo da área experimental são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE

Análise química																		
Prof. (cm)	C.E	pH	C	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
	mS cm <sup>-1</sup>	-	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....	.....	.....	cmolc dm <sup>-3</sup>	.....	.....	.....	.....	%	.....	mg dm <sup>-3</sup>	.....	.....
0-10	0,87	6,9	5,8	10,02	78,11	1,28	0,04	4,0	1,60	0,00	0,5	6,9	7,4	93,5	0,47	24,3	24,4	0,98
10-20	0,52	6,7	4,8	8,28	66,51	0,74	0,03	4,5	2,20	0,00	0,7	7,5	8,2	91,2	0,56	25,2	23,1	0,85
Análise física																		
Prof. (cm)	Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )					Densidade		Porosidade		Granulometria								
	0,006	0,010	0,033	0,060	0,100	1,50	Solo	Partícula	Total (%)	A. total*			Silte	Argila				
	Mpa					kg dm <sup>-3</sup>		.....		g kg <sup>-1</sup>								
0-10	11,56	9,28	6,62	5,90	5,32	4,10	1,58	2,43	34,80	833,3			128,4	38,3				
10-20	11,94	9,69	7,24	6,49	5,90	4,38	1,60	2,53	36,71	830,4			118,8	50,8				

\*A. total – areia total; C.E – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions e V – índice de saturação de bases.

A área experimental foi implantada em janeiro de 2016, onde antes do plantio, o solo foi arado e sulcado e, posteriormente, os cladódios de palma forrageira foram plantados com 50%

de seu comprimento enterrado no solo. Até o final de dezembro de 2016, a cultura foi conduzida sob condição de sequeiro e, a partir de janeiro de 2017, iniciou-se o período experimental do presente estudo, com o estabelecimento de um sistema de irrigação por gotejamento. A irrigação foi conduzida por 567 dias, até junho de 2018.

Durante esse período, o comportamento das variáveis meteorológicas foi monitorado diariamente por meio da estação meteorológica automática, localizada à 30 metros da área experimental e pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET ([www.inmet.gov.br](http://www.inmet.gov.br)) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Variáveis meteorológicas durante o período experimental (Jan 2017 – Jun 2018), em área cultivada com palma forrageira sob déficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE

Mês/Ano	Temperatura do ar			Umidade Relativa do ar			Vel. vento m s <sup>-1</sup>	Rg MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>
	Md	Mx	Mn	Md	Mx	Mn		
Jan/17	28,28	34,68	23,01	45,09	69,85	22,58	2,45	23,23
Fev/17	27,69	33,74	22,60	50,60	74,89	26,71	2,20	23,04
Mar/17	27,28	32,92	22,55	57,61	79,61	31,15	2,00	21,44
Abr/17	25,25	31,18	21,17	67,45	86,10	41,13	1,79	20,30
Mai/17	24,88	30,16	21,08	65,46	83,55	42,35	2,23	16,07
Jun/17	23,25	28,35	19,76	70,80	87,77	46,73	2,60	16,38
Jul/17	21,37	26,03	18,07	70,19	87,35	49,81	3,44	13,55
Ago/17	23,78	30,40	18,95	58,62	82,16	30,16	3,12	19,93
Set/17	24,19	31,14	19,09	55,21	80,40	27,30	3,74	21,55
Out/17	26,75	33,98	20,54	46,63	72,35	22,06	3,09	24,83
Nov/17	28,45	35,31	22,13	40,39	67,07	19,30	2,44	23,88
Dez/17	28,59	35,13	22,71	41,73	68,32	20,29	2,55	23,25
Jan/18	27,35	34,06	22,16	48,88	75,13	23,74	2,31	20,86
Fev/18	26,26	32,46	21,64	60,72	82,43	34,32	2,01	20,69
Mar/18	25,61	31,48	21,23	64,90	84,74	39,81	1,95	20,96
Abr/18	24,40	29,84	20,74	70,12	86,20	45,60	1,85	17,91
Mai/18	24,60	30,64	19,97	62,15	85,10	35,00	2,33	18,23
Jun/18	24,76	31,04	19,28	58,76	83,07	32,97	2,74	17,80
<b>Média</b>	<b>25,71</b>	<b>31,81</b>	<b>20,93</b>	<b>57,42</b>	<b>79,78</b>	<b>32,83</b>	<b>2,49</b>	<b>20,22</b>

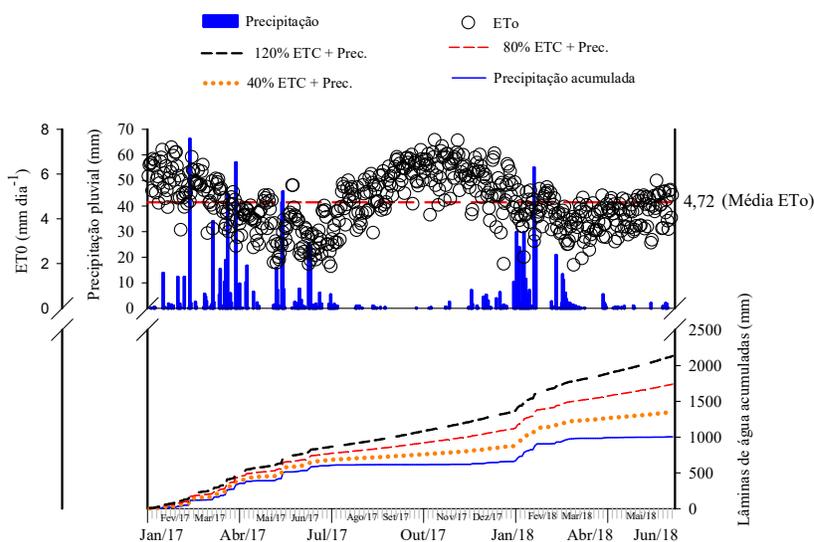
Md – média; Mx – máxima; Mn – mínima; Vel. Vento – Velocidade do vento; Rg – Radiação solar global

Os clones de palma forrageira foram arranjados em delineamento de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por três regimes de déficits hídricos controlados, baseados no percentual da evapotranspiração da cultura – ETc (40%ETc; 80%ETc e 120%ETc) mais a condição de sequeiro (0%ETc). Por sua vez, as subparcelas foram determinadas por três clones de palma forrageira (Miúda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck); Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e IPA (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), dispostas em campo no espaçamento de 1,0 x 0,2 m, resultando numa densidade populacional de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada parcela experimental possuiu 60 m<sup>2</sup>, sendo

constituída por quatro fileiras de cultivo com 25 plantas de cada clone, totalizando 75 plantas por fileira. As duas fileiras centrais, exceto duas plantas das extremidades de cada subparcela, foram consideradas como parcelas úteis, com área igual a 26,8 m<sup>2</sup>.

A irrigação foi realizada às segundas, quartas e sextas-feiras, por meio de sistema de gotejamento, com uniformidade de aplicação de água de 85%, com emissores espaçados a 0,20 m e vazão de 2,25 L h<sup>-1</sup>, sempre nos períodos em que a precipitação pluvial foi menor que a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) acumulada entre os dias de reposição de água no solo. A água utilizada foi proveniente de poço artesiano e apresentou condutividade elétrica média de 1,51 dS m<sup>-1</sup>, com concentração média de sódio e potássio de 168,66 mg L<sup>-1</sup> e 28,17 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Para a aplicação das lâminas de água, foi calculada diariamente a ET<sub>o</sub> pela equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). O valor médio da ET<sub>o</sub> durante o estudo foi igual a 4,72 mm dia<sup>-1</sup> (Fig. 1B). A ET<sub>c</sub> foi obtida pelo produto da ET<sub>o</sub> e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), considerado igual 0,52 conforme Queiroz et al. (2016) para ambas espécies. As lâminas de água recebidas pelo sistema para os tratamentos de deficits hídricos controlados de 40%ET<sub>c</sub>, 80%ET<sub>c</sub> e 120%ET<sub>c</sub> foram iguais a 347,4 mm, 737,78 mm e 1.131,68 mm, respectivamente, e quando somados à precipitação pluvial, resultaram no total de 1.005 mm (sequeiro), 1.352,39 mm (40%ET<sub>c</sub>), 1.742,78 mm (80%ET<sub>c</sub>) e 2.136,68 mm (120%ET<sub>c</sub>) de água (Fig. 2).



**Figura 2.** Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e lâminas de água acumuladas (mm) durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018 (B), em Serra Talhada, PE.

Durante o período experimental foram realizados tratamentos culturais para o controle de doenças e plantas daninhas. A adubação química foi feita a cada três meses, com a aplicação de

50 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 14-00-08 (NPK) de acordo com a recomendação do Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA.

A determinação da produtividade foi realizada na ocasião da colheita (junho 2018), onde foi deixado apenas o cladódio basal das plantas presentes na parcela útil, seguindo os demais para pesagem, obtendo-se o peso total fresco da planta (kg). Dois cladódios representativos escolhidos em cada planta foram pesados para a obtenção do peso fresco (kg) e, posteriormente, fatiados, colocados em sacos de papel devidamente identificados e acomodados em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55 °C até atingir peso seco constante (SILVA; QUEIROZ, 2005). A relação entre os valores de peso seco e peso fresco resultou nos teores de matéria seca dos cladódios. A produtividade em massa fresca (MF Mg ha<sup>-1</sup>) foi estimada levando em consideração o peso total fresco da planta e a densidade final de plantas da parcela útil. Para a estimativa da massa seca (MS Mg ha<sup>-1</sup>), foi considerado os valores de teor de matéria seca dos cladódios e os valores estimados de MF das plantas.

No Laboratório de Nutrição Animal (LANA) da Embrapa Semiárido, localizado em Petrolina - PE, foram realizadas as determinações de matéria seca definitiva (MS) em estufa a 105 °C, matéria orgânica (MO) e material mineral (MM) em mufla elétrica a 600 °C, fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) em autoclave com temperatura de 100 °C, proteína bruta (PB) em destilador de nitrogênio, pelo método de Kjeldahl, extrato etéreo (EE) e Digestibilidade *In vitro* da matéria seca (DIVMS) segundo procedimentos descritos na AOAC (2000). A estimativa dos carboidratos totais (CT), foi determinada pela equação proposta por Snniffen et al. (1992):  $CT (MS\%) = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$ .

Para análise dos benefícios econômicos oriundos da adoção da irrigação foi realizado o levantamento dos valores da compra dos equipamentos (tubulações, fitas gotejadoras, conexões, conjunto moto-bomba e filtro) em comércio de produtos agrícolas, além dos custos de plantio (preparo da área, adubação, aquisição dos cladódios e mão de obra), gerando o total gasto para implantação do projeto para uma área de um hectare.

Foram calculados os custos fixos de depreciação dos componentes do sistema de irrigação (DC) e dos juros sobre capital de investimento (JC), além dos custos variáveis de energia elétrica (CEE), mão de obra (CMO) e manutenção dos componentes do sistema, conforme Lima et al. (2018). Os custos de DC foram calculados pela equação:

$$DC = \frac{[(VAC) - (VR)]}{VU} \quad (1)$$

em que, DC = depreciação do componente do sistema (R\$); VAC = valor de aquisição do componente (R\$); VR = valor residual ou de sucata (R\$), que corresponde a 20% do valor de compra do componente ( $VAC * 0,2$ ) e VU = vida útil (anos), nesse caso 8 anos.

O custo dos juros sobre o capital investido foi registrado considerando uma taxa de 7,2% ao ano sobre o valor de aquisição dos equipamentos, conforme a equação:

$$JC = TAJ * VAE \quad (2)$$

onde, JC = juros sobre o capital investido (R\$); TAJ = taxa anual de juros (%) e VAE = valor de aquisição dos equipamentos.

Os custos de energia foram calculados considerando o valor cobrado pelo kWh (R\$ = 0,27 kWh) pela empresa de energia atuante no estado, assumindo uma taxa para áreas rurais, tempo em horas anuais de operação do equipamento e a potência do conjunto motobomba (5 cv), pela equação:

$$CEE = V_{\text{kWh}} * T * \left( \frac{736 * Pot}{1000 * \eta} \right) \quad (3)$$

em que, CEE = custo com energia elétrica (R\$);  $V_{\text{kWh}}$  = valor do kWh (R\$); T = tempo de funcionamento total do sistema de irrigação (h); Pot = potência do conjunto motobomba (cv);  $\eta$  = rendimento do conjunto motobomba (decimal).

Para a obtenção dos custos com mão de obra (eq. 4) e manutenção do sistema de irrigação (eq. 5) foram considerados a área de um hectare, o número de funcionários necessários para um hectare irrigado por sistema de gotejamento ( $0,04 \text{ homens ha}^{-1}$ ) e o atual salário mínimo brasileiro (R\$ 998,00) mais os impostos cobrados pelo governo.

$$CMO = AS * EMS * SM \quad (4)$$

$$CMC = VPM * VAC \quad (5)$$

em que, CMO = custo com mão de obra (R\$); AS = área do sistema (ha); EMS = exigência média de mão de obra (nº de funcionários por ha); SM = salário mínimo atual brasileiro mais os impostos cobrados pelo governo (R\$); CMC = custo anual para manutenção dos componentes do sistema (R\$); VPM = valor percentual médio anual para manutenção dos componentes do sistema (decimal) e VAC = valor de aquisição do componente (R\$). Os valores VPM usados foram: tubulações enterradas (0,5%), tubulações em superfície (1%), estruturas (1,5%), conjunto motobomba (6%), emissores (7%) e filtros (8%).

Levando em consideração a possibilidade de acontecer casos emergências, tais como, falhas humanas e do sistema, foram adicionados 5% (reserva de contingência) sobre o valor dos

custos variáveis. Ao final, foram calculados os custos totais de produção (Eq. 6), receita bruta (Eq. 7 e Eq. 8) e líquida (Eq. 9 e Eq. 10) e a relação benefício/custo (Eq. 11).

$$CTP = \sum(CF + CV) \quad (6)$$

onde, CTP = custos totais de produção (R\$); CF = custos fixos (R\$) e CV = custos variáveis (R\$).

$$RB_{vf} = Y * \text{valorY} \quad (7)$$

$$RB_{vc} = (NP * NTC) * \text{valorC} \quad (8)$$

em que,  $RB_{vf}$  = receita bruta resultante da venda da palma como forragem (R\$);  $Y$  = rendimento da cultura ( $\text{ton ha}^{-1}$ );  $\text{valorY}$  = valor do rendimento da cultura ( $\text{R\$ ton}^{-1}$ ) considerando R\$ 150,00 a tonelada;  $RB_{vc}$  = receita bruta resultante da venda do cladódio para plantio (R\$);  $NP$  = número de plantas por hectare;  $NTC$  = número total de cladódios (unidade) e  $\text{valorC}$  = valor do cladódio ( $\text{R\$ unidade}^{-1}$ ), considerando R\$ 0,30 para o clone OEM, R\$ 0,25 para o clone IPA e R\$ 0,15 para o clone MIU.

$$RL_{vf} = RB_{vf} - CTP \quad (9)$$

$$RL_{vc} = RB_{vc} - CTP \quad (10)$$

sendo,  $RL_{vf}$  = receita líquida resultante da venda da palma para forragem (R\$);  $RB$  = receita bruta resultante da venda da palma para forragem (R\$);  $CTP$  = custo total de produção (R\$);  $RL_{vc}$  = receita líquida resultante da venda do cladódio para plantio (R\$) e  $RB_{vc}$  = receita bruta resultante da venda do cladódio para plantio (R\$).

$$\frac{B}{C} = \frac{RL}{CTP} \quad (11)$$

onde,  $B/C$  = relação benefício/custo ( $>1$  indica viabilidade econômica);  $RL$  = receita líquida (R\$) e  $CTP$  = custo total de produção (R\$).

Ao final, foram realizadas simulações do 2º ao 8º ano produtivo com uso do sistema de irrigação, com o intuito de identificar o momento em que a  $RL$  se mostre superior aos custos de produção, ou seja, com a relação  $B/C > 1$ . Para essa situação, foram consideradas colheitas anuais iguais a do 1º ano produtivo. Os custos totais e o preço de venda dos produtos mudaram conforme o passar dos anos, baseando-se nas taxas de juros mencionados anteriormente.

Os dados de produtividade de massa fresca e seca, número total de cladódios e composição bromatológica, foram submetidos à análise de variância e, posteriormente, teste de média de Tukey a 5% de probabilidade para efeito de clones e análise de regressão para efeito

dos regimes de deficits hídricos controlados. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa Rstudio (2018) e a confecção dos gráficos pelo programa SigmaPlot 14.0.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observado efeito de interação e de deficit hídrico controlado ( $p > 0,05$ ) no rendimento dos clones, indicando que o acréscimo da irrigação não contribuiu para o aumento produtivo da cultura para essa condição estudada.

Na Tabela 3 são apresentados os valores do número total de cladódios (NTC) e do rendimento final dos clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado. Em termos de NTC, o clone miúda (MIU) apresentou maior emissão ( $p < 0,05$ ) em relação aos clones Orelha de Elefante Mexicana (OEM) e Ipa Sertânia (IPA), devido principalmente, ao maior número de cladódios de ordens superiores (dados não apresentados). Em média, a MIU obteve 32,12 unidades de cladódios por planta, enquanto que os clones OEM e IPA, obtiveram 13,15 e 15,25 unidades de cladódios, respectivamente, não diferindo entre si (Tabela 4). Resultados similares foram relatados por Cavalcante et al. (2014) no município de Frei Paulo – SE. A distribuição, o tamanho e o número de cladódios apresentados pelos diferentes clones, determinam a arquitetura da planta, influenciando na capacidade fotossintética da cultura e, assim, no seu rendimento final (PINHEIRO et al., 2014; BARBOSA et al., 2018). Por outro lado, de acordo com Amorim et al. (2015), o elevado número de cladódios apresentados por clones do gênero *Nopalea*, não tem apenas relevância morfológica, mas também prática, ao ponto que essa característica pode ser utilizada para facilitar a propagação da cultura.

**Tabela 3.** Produtividade de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE, durante o período de Janeiro de 2017 a Junho de 2018

Variável	Clones			Valor P (0,05)			CV (%)
	MIU	OEM	IPA	Clones (C)	DH	C x DH	
NTC	32,12a	13,15b	15,25b	0,00**	0,09 <sup>ns</sup>	0,79 <sup>ns</sup>	33,5
Y. MF	190,67b	312,38a	82,56c	0,00**	0,17 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	28,6
Y. MS	19,25b	30,73a	6,79c	0,00**	0,15 <sup>ns</sup>	0,72 <sup>ns</sup>	28,5

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey à 5%. \*\*, \* e <sup>ns</sup>: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana; IPA – Ipa Sertânia. NTC - Número total de cladódios (n°); Y. MF - Produtividade de massa fresca (Mg ha<sup>-1</sup>); Y. MS - Produtividade de massa seca (Mg ha<sup>-1</sup>). DH – Deficit hídrico controlado; CV - Coeficiente de variação.

Em relação a produtividade (Tabela 3), o clone OEM apresentou maior rendimento em massa fresca (Y.MF) e massa seca (Y.MS), diferenciando dos demais clones ( $p < 0,05$ ). A alta produtividade dos clones do gênero *Opuntia* pode estar relacionado com alta capacidade de eficiência do uso da água (MORAIS et al., 2017; SNYMAN, 2013; GARCÍA-NAVA et al., 2015), além dos altos valores de área do cladódio, que possibilita elevado acúmulo de água e maior área fotossintética (SILVA et al., 2015a) quando comparado com os clones do gênero *Nopalea*. A produtividade média em massa fresca obtida ( $312,38 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) foi superior ao encontrado por Nadaf et al. (2018), que obtiveram rendimento anual médio de 13 acessos de palma forrageira variando de 80 a  $100 \text{ ton ha}^{-1}$ , em cultivo irrigado com água salina. Por outro lado, essa produtividade é inferior aos valores obtidos por Rocha, Voltolini e Gava (2017), que ao cultivarem o clone OEM durante 16 meses sob irrigação complementar com água de qualidade superior a do presente estudo (condutividade elétrica  $< 1,51 \text{ dS m}^{-1}$ ), obtiveram rendimentos superiores a  $700 \text{ ton de matéria verde ha}^{-1}$ . De acordo com Freire et al. (2018), a palma forrageira apresenta baixa tolerância à salinidade e seu desempenho produtivo pode ser afetado pela salinidade do solo decorrente do aporte de sais causado pela prática de irrigação.

Respostas semelhantes foram encontradas para produtividade de massa seca (Y.MS) (Tabela 3), onde o clone OEM apresentou o maior rendimento, com média igual a  $30,73 \text{ Mg ha}^{-1}$  ( $p < 0,05$ ), seguido dos clones MIU e IPA, respectivamente. Para ambos os casos, o clone IPA apresentou os menores valores ( $p < 0,05$ ), o que pode ser decorrente do alto índice de mortalidade (dados não mostrados) das plantas durante a condução do experimento.

Não foi observado efeito de déficit hídrico controlado e de interação sobre os componentes bromatológicos dos clones de palma forrageira (Tabela 4). Contudo, nota-se diferença ( $p < 0,05$ ) no teor de matéria seca total (MS) entre os clones estudados. Os clones MIU ( $9,51 \% \text{ MS}$ ) e OEM ( $8,65 \% \text{ MS}$ ) apresentaram maiores teores de MS ( $p > 0,05$ ), seguidos do clone IPA ( $7,65 \% \text{ MS}$ ) que não apresentou diferença em relação ao clone OEM (Tabela 4).

**Tabela 4.** Composição bromatológica de clones de palma forrageira cultivadas sob estresse hídrico controlado, em Serra Talhada - PE, durante o período de Janeiro de 2017 a Junho de 2018

Variável	Clones			Valor P (0,05)			CV (%)
	MIU	OEM	IPA	Clones (C)	DH	C x DH	
MS	9,51a	8,65ab	7,65b	0,00**	0,66 <sup>ns</sup>	0,92 <sup>ns</sup>	15,9
MM	15,80	15,97	19,49	0,38 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	38,1
MO	84,19	84,02	80,5	0,95 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	36,7
FDN	16,68	16,16	17,14	0,93 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	42,1
FDA	4,57	3,71	3,20	0,21 <sup>ns</sup>	0,54 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	43,9
PB	4,21	3,58	3,67	0,57 <sup>ns</sup>	0,89 <sup>ns</sup>	0,71 <sup>ns</sup>	36,3
EE	0,64	0,80	1,02	0,13 <sup>ns</sup>	0,76 <sup>ns</sup>	0,40 <sup>ns</sup>	41,2
CT	78,98	79,76	76,02	0,57 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	10,5
DIVMS	81,96	82,66	81,41	0,99 <sup>ns</sup>	0,96 <sup>ns</sup>	0,99 <sup>ns</sup>	35,9

Médias seguidas de mesma letra na linha, não diferem pelo teste de Tukey à 5%. \*\*, \* e <sup>ns</sup>: significativo a 1%, 5% e não significativo, respectivamente. MIU – Miúda; OEM – Orelha de Elefante Mexicana; IPA – Ipa Sertânia. MS (%MS) – matéria seca total; MM (%MS) – material mineral; MO (%MS) – matéria orgânica; FDN (%MS) – fibra em detergente neutro; FDA (%MS) – fibra em detergente ácido; PB (%MS) – proteína bruta; EE (%MS) – extrato etéreo; CT (%MS) – carboidratos totais; DIVMS (%MS) – Digestibilidade *In vitro* da matéria seca. DH – Deficit hídrico controlado; CV - Coeficiente de variação.

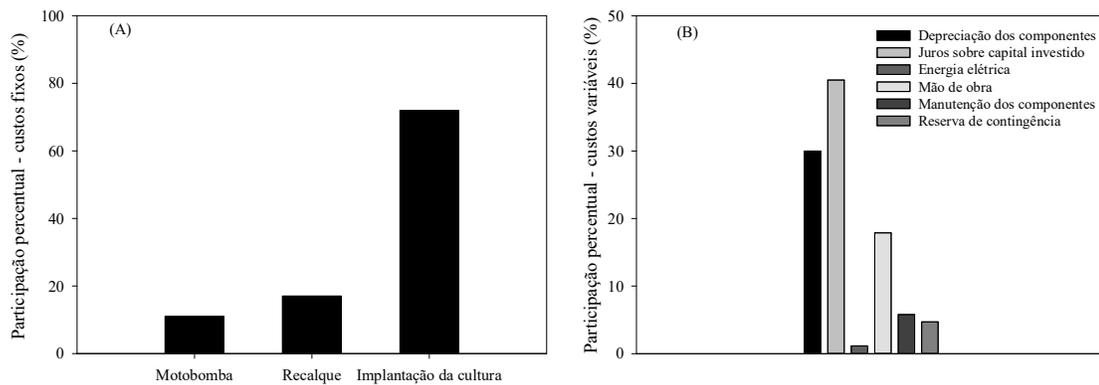
De acordo com Alves et al. (2017) os componentes químicos e nutricionais da palma forrageira sofrem variações tanto na composição como também no conteúdo, podendo variar entre espécies e dentro das espécies. Segundo esses autores, dentro dos fatores que podem ocasionar tais diferenças estão os gêneros (*Opuntia* e *Nopalea*), condições ambientais e manejos adotados no cultivo.

Em termos de análise econômica, o custo total médio para produção de um hectare de palma forrageira irrigada foi de R\$ 26.655,27, com aumento no custo de implantação em 47,7% em relação ao cultivo em sequeiro (R\$ 18.047,30) (Tabela 5).

**Tabela 5.** Custos (R\$ ha<sup>-1</sup>) dos equipamentos de irrigação e de implantação do sistema de cultivo de clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período experimental de janeiro de 2017 a junho 2018

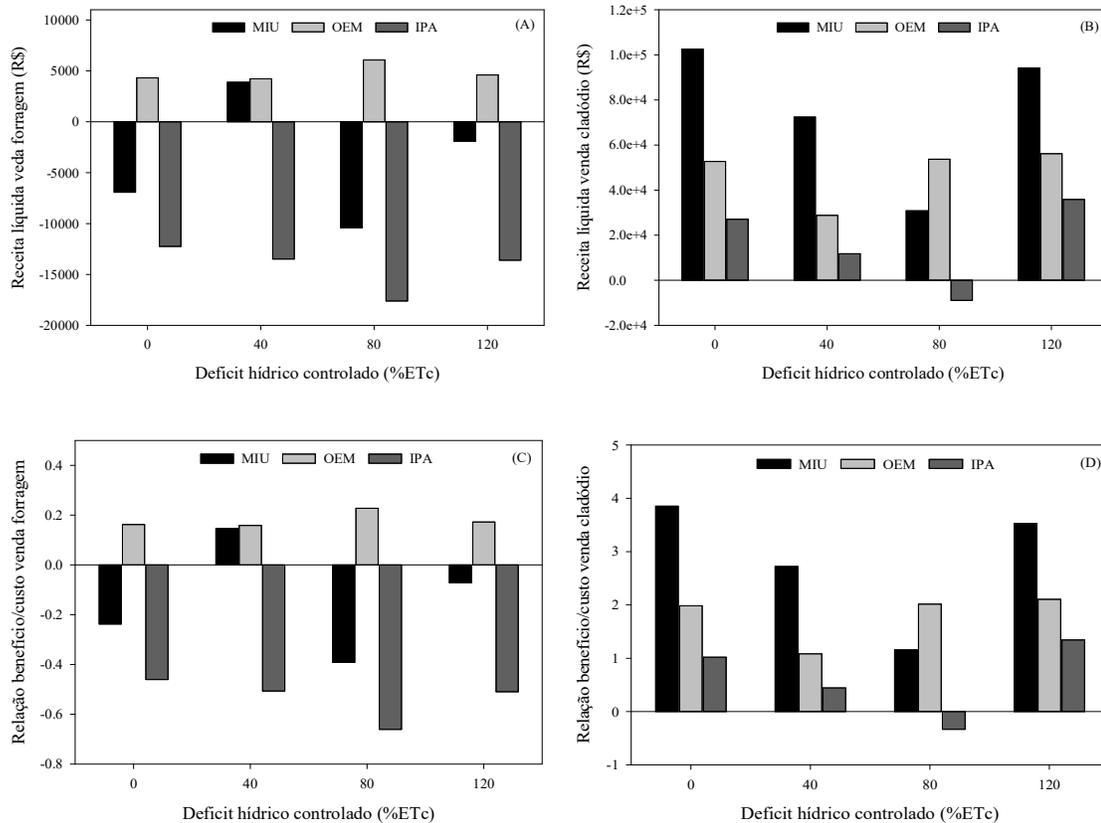
	Tratamentos			
	Sequeiro	40%ETc	80%ETc	120%ETc
Custos fixos	16.077,37	22.615,73	22.615,73	22.615,73
Custos Variáveis	1.969,94	4.005,05	4.039,45	4.074,15
Custo total	18.047,30	26.620,77	26.655,17	26.689,87

Nas Figuras 3A e 3B, são apresentados a participação percentual de cada componente nos custos fixos (CFs) e variáveis (CVs) no sistema de cultivo de clones de palma forrageira, respectivamente. Se tratando dos CFs, o componente implantação da cultura, composto por preparo de solo, aquisição dos cladódios, adubação e plantio, representou cerca de 72% do investimento, seguido do componente recalque (17%). Em relação aos CVs, os componentes juros sobre capital investido, depreciação dos componentes do sistema de irrigação e a mão de obra, participaram com o percentual de 40%, 30% e 18%, respectivamente.



**Figura 3.** Participação percentual dos componentes do sistema de irrigação e de implantação nos custos fixos (A) e variáveis (B) em cultivo de clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.

A rentabilidade econômica variou em função da finalidade do produto. Quando destinado à venda para forragem, observa-se uma tendência de aumento do lucro líquido e da relação benefício/custo (B/C) para o clone OEM até a condição de deficit hídrico controlado de 80%ETc (Fig. 5A, C), no entanto, sem retorno econômico ao produtor, uma vez que a relação B/C alcançou valores médios de apenas 0,18, mostrando que as receitas são inferiores aos custos de produção, o que inviabiliza, no primeiro ano, a implantação do sistema de produção de palma forrageira destinada à alimentação animal, tanto em condição de sequeiro, como em condições irrigadas com uso mínimo de água.



**Figura 5.** Receita líquida (A e B) e relação benefício custo (C e D) de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada – PE, durante o período de janeiro de 2017 a junho de 2018.

Ao simular os custos de implantação e as receitas geradas pelos clones OEM e MIU, até o oitavo ano de utilização do sistema de irrigação por gotejamento, foi estimado que já no segundo ano de produção, a relação B/C será maior que 2 para todas as condições de cultivo, mostrando uma rentabilidade de pelo menos 10% ao produtor. Já para o clone IPA, ainda no segundo ano é inviável a utilização de irrigação para produção de forragem. Por outro lado, na condição de sequeiro, a relação B/C se mostrou superior a 2.

Em relação a venda do cladódio para plantio, as maiores receitas (Fig. 5B) foram geradas pelo clone MIU (R\$ 74.997,00), seguido dos clones OEM (47.861,00) e IPA (16.460,00). Para essa situação, a relação B/C resultante foi de 2,81, 1,17 e 0,61 para os clones MIU, OEM e IPA, nessa ordem, mostrando que apenas o cultivo do clone IPA torna-se inviável ao produtor (B/C < 1), o que pode ser resultante do alto índice de mortalidade deste clone ao longo do período experimental.

Ao observar os regimes de deficits hídricos controlados, apenas a condição de 80%ETc não proporciona um retorno econômico ( $B/C = 0,94$ ) ao produtor com a venda do cladódio para plantio no primeiro ano produtivo (Fig. 5D). Em média, a relação B/C para as condições de sequeiro, 40%ETc e 120%ETc foram iguais a 2,28, 1,41 e 2,32, respectivamente. O elevado valor de relação B/C para a condição de sequeiro pode ser explicado pelo custo de implantação da área ser 47,7% menor em relação as áreas irrigadas, além da ocorrência de elevado nível pluvial ao longo do estudo (1.005 mm), que pode ter possibilitado maior emissão de cladódios para serem vendidos para plantio.

#### **4 CONCLUSÃO**

Os diferentes regimes de deficits hídricos controlados não promoveu incremento produtivo aos clones de palma forrageira, no entanto, os rendimento obtidos no presente estudo, são superiores aos relatos de cultivos em condições de sequeiro.

O clone Orelha de Elefante Mexicana, em condições de deficit hídrico controlado, apresentou melhor desempenho produtivo quando comparado com os clones Miúda e Ipa Sertânia.

A qualidade nutricional dos clones de palma forrageira não sofreram alterações em função das condições de deficit hídrico controlado.

A implementação de um hectare de palma forrageira, irrigada ou sequeiro, destinada para alimentação animal, mostrou rentabilidade a partir do segundo ano produtivo, enquanto que a venda do cladódio para plantio, é possível obter retorno econômico já no primeiro ano de produção.

Para regiões onde o índice pluviométrico é superior a 1000 mm, se torna inviável a adoção de sistema de irrigação para cultivo de palma forrageira, uma vez que para essa condição, os valores da relação B/C foram maiores ou iguais aos observados nas condições irrigadas.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Semiárido) pela disponibilização de suas instalações para a realização das análises bromatológicas.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) pela assistência na condução e finalização do experimento.

## 6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G., PEREIRO, L. S., RAES, D. AND SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, 56, 1998.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, V. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

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, p. 25-24, 2017.

AMORIM, P.L.; MARTUSCELLO, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.T.D.; CUNHA, D.D.N.F.V.; JANK, L. Morphological and productive characterization of forage Cactus varieties. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 3, p. 230–238, 2015.

AOAC. ASSOCIATION OF ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed. Washington, D.C., 2000. 1094 p.

BARBOSA, M.L.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; STEIDLE NETO, A.J. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 180 – 190, 2018.

BERBEL, J.; GUTIERREZ-MARÍN, C.; EXPÓSITO, A. Impacts of irrigation efficiency improvement on water use, water consumption and response to water price at field level. **Agricultural Water Management**, v. 203, n. 1, p. 423–429, 2018.

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

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

DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F.; MELLO, A.C.L.; CUNHA, M.V.; FERREIRA, M.A.; SANTOS, D.C.; LIRA, M.A., SILVA, M.C. Forage potential of cacti on drylands. **Acta Horticulturae (ISHS)**, Leuven, v. 1, n. 24, p. 181-186, 2015.

FREIRE, J.L.; SANTOS, M.V.F.; DUBEUX JUNIOR, J.C.B.; BEZERRA NETO, E.; LIRA, M.A.; CUNHA, M.V.; SANTOS, D.C.; AMORIM, S.O.; MELLO, A.C.L. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3893-3900, 2018.

GARCÍA-NAVA, F.; PEÑA-VALDIVIA, C.; TREJO, C.; GARCÍA-NAVA, R.; REYES-AGÜERO, J.A.; RIVERA, J.R.A. Biophysical and physiological characteristics of nopalitos (*Opuntia* spp., Cactaceae) as influenced by domestication. **Genetic resources and crop evolution**, v. 62, n. 6, p. 927 – 938, 2015.

LEITE, M.L.V.M.; SILVA, D.S.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; RAMOS, J.P.F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192 – 200, 2014.

LEVIDOW, L.; ZACCARIA, D.; MAIA, R.; VIVAS, E.; TODOROVIC, M.; SCARDIGNO, A. Improving water-efficient irrigation: Prospects and difficulties of innovative practices. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 84–94, 2014.

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**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 481 – 488, 2016.

LIMA, L.R.; SILVA, T.G.F.; PEREIRA, P.C.; MORAIS, J.E.F.; ASSIS, M.C.S. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 191 – 201, 2018.

LOPES, E.B.; BRITO, C.H.; ALBUQUERQUE, I.C.; BATISTA, J.L. 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**, Espírito Santo do Pinhal, v.7, n. 1, p. 204 - 215, 2010.

MORAIS, J.E.F.; SILVA, T.G.F.; QUEIROZ, M.G.; ARAUJO, G.G.L.; MOURA, M.S.B.; ARAÚJO JÚNIOR, G.N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273-278, 2017.

NADAF, S.K.; SAFA'A, M.; AL-FARSI, S.A.; AL-HINAI, A.S. Potential of forage cactus pear accessions under saline water irrigation in arid areas. **Journal of the professional association for cactus development**, v.20, p.68-81, 2018.

PEIXOTO, M.J.A.; CARNEIRO, M.S.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. **Revista Arquivos de Zootecnia**, v. 67 n. 257, p. 35-39, 2018.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C.S. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939 - 947, 2014.

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

QUEIROZ, M.G.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; SOUZA, C.A.A.; CARVALHO, H.F.S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 141-154, 2016.

RAMOS, J.P.F.; SANTOS, E.M.; CRUZ, G.R.B.; PINHO, R.M.A.; FREITAS, P.M.D. Effects of harvest management and manure levels on cactus pear productivity. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 135-142, 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. **Revista Archivos de Zootecnia**. v. 66, n. 255, p. 365-373, 2017.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**. V. 70, n. 11, p. 3562-3577, 1992.

SNYMAN, H. A. Growth rate and water-use efficiency of cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. **Arid land research and management**, v. 27, n. 4, p. 337-348, 2013.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: Método químicos e biológicos**. 3. Ed. Minas Gerais: UFV, 2005. 225 p.

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, 2015a.

SILVA, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; MOURA, M.S.B.; SILVA, S.M.S.; MORAIS, J.E.F.; PEREIRA, P.C.; SOUZA, C.A.A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 50, n. 7, p. 515-525, 2015b.

### **CAPÍTULO 3 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS ENTRE CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE CLONES DE PALMA FORRAGEIRA SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO**

**RESUMO:** Objetivou-se com esse estudo, analisar por meio da análise de componentes principais (ACP), a relação entre as variáveis morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira cultivadas sob déficit hídrico controlado. O estudo foi conduzido por 18 meses, em Serra Talhada, PE, com delineamento em blocos ao acaso, arranjo fatorial com parcelas subdivididas (4×3), com quatro repetições, sendo considerada como parcelas três regimes de déficits hídricos controlados baseados na evapotranspiração da cultura - ETc (40, 80 e 120%ETc), mais a condição de sequeiro (0%ETc), e as subparcelas, três clones de palma forrageira: Miúda – MIU, Orelha de Elefante Mexicana – OEM e Ipa Sertânia – IPA. Em oito campanhas biométricas e de determinação de fitomassa, foram obtidos dados morfológicos dos cladódios (comprimento, largura, espessura e perímetro), número total de cladódio (NTC), produtividade de matéria fresca (ProdMF) e seca (ProdMS), como também o teor de matéria seca de cada clone. Com os dados morfológicos, foram calculados a área dos cladódios (AC) e o índice de área do cladódio (IAC), que juntamente com o NTC, ProdMF, ProdMS e teor de matéria seca, foram submetidos a ACP. Não foi observado efeito dos diferentes regimes de déficits hídricos controlados sobre as variáveis analisadas. A AC e o IAC do clone OEM foram as variáveis que mais contribuíram para a ProdMF e ProdMS. Para os clones MIU e IPA, o NTC assume maior importância para o ganho de matéria seca. Conclui-se que, pela ACP a maior relação entre as variáveis morfológicas e produtivas da palma forrageira são mais associadas às características dos clones.

**Palavras-chave:** Estatística multivariada, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., Semiárido.

### **PRINCIPAL COMPONENTS ANALYSIS BETWEEN MORPHOLOGICAL AND PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF FORAGE CACTUS CLONES UNDER CONTROLLED WATER DEFICIT**

**ABSTRACT:** The Objective of this study was to analyze by means of principal component analysis (PCA), the relationship between morphological and productive variables of forage cactus clones cultivated under controlled water deficit. The study was conducted for 18 months, in Serra Talhada, PE, with a randomized block design, with plot arrangement (4×3), with four replications, being considered as plots three controlled water deficit regimes based on crop evapotranspiration - ETc (40, 80 and 120% ETc), plus rainfall condition (0% ETc), and subplots, three clones of forage cactus: Miúda - MIU, Mexican Elephant Ear - OEM and Ipa Sertânia – IPA. In eight biometric and phytomass campaigns, morphological data of cladodes (length, width, thickness and perimeter), total number of cladodes (NTC), fresh matter yield (ProdMF) and dry (ProdMS) were obtained, as well as the Dry matter content of each clone. With the morphological data, the cladodes area (CA) and the cladode area index (IAC) were calculated, which together with NTC, ProdMF, ProdMS and dry matter content, were submitted to PCA. No effect of the different regimes of controlled water deficit was observed on the variables analyzed. The AC and IAC of the OEM clone were the variables that most contributed to ProdMF and ProdMS. For the MIU and IPA clones, NTC assumes greater importance for dry matter gain. It is Concluded that, by the PCA, the greatest relationship between the

morphological and productive variables of the cactus forage is more associated with the characteristics of the clones.

**Keywords:** Multivariate statistics, *Nopalea* sp., *Opuntia* sp., Semi-arid.

## 1 INTRODUÇÃO

A palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) é uma planta xerófila com alta capacidade de armazenar água e é considerada um importante recurso forrageiro para a região Semiárida do Nordeste brasileiro (LIMA et al., 2016; SCALISE et al., 2016). Assim como outras plantas MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), a palma forrageira abre seus estômatos para a captação de CO<sub>2</sub> a noite, onde as temperaturas são mais baixas e a umidade relativa do ar maior do que durante o dia, possibilitando menor perda de água para a atmosfera (HASSAN et al., 2019; LIGUORI et al., 2013; NEFZAOUY et al., 2014). Isso permite uma boa produção de fitomassa, principalmente nos períodos secos, onde há uma diminuição do aporte forrageiro oriundo da vegetação nativa Caatinga (LEITE et al., 2014; RAMOS et al., 2015) e, conseqüentemente, redução de alimentos para os rebanhos.

Os clones Miúda (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), Ipa Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) e Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.), são amplamente cultivados nas propriedades do Semiárido brasileiro, devido à resistência contra a cochonilha-do-carmim (*Dactlopius opuntiae*) (LOPES et al., 2010). Essas espécies apresentam características morfológicas distintas uma das outras, como tamanho, quantidade e formato dos cladódios (SILVA et al., 2014a; PINHEIRO et al., 2014), que por sua vez, determinam diferenças na formação do dossel da planta, refletindo na capacidade fotossintética e, conseqüentemente, na produtividade da cultura (BARBOSA et al., 2018a). Além de características inerentes das espécies, fatores como condições ambientais, densidade de plantio, manejo de irrigação e adubação, podem influenciar a arquitetura dessas plantas (BARBOSA et al., 2018b; SILVA et al., 2014b; RAMOS et al., 2011)

Uma forma de analisar a influência de caracteres morfológicos no rendimento da cultura é por meio da análise multivariada (NEDER et al., 2013). Dentre as técnicas multivariadas, a Análise de Componentes Principais (ACP) gera novas variáveis a partir do conjunto original de dados, maximizando a proporção de variância dos dados não correlacionados entre si em sucessivos componentes principais (CP) (SILVA; SBRISSIA, 2010). García-Nava et al. (2015) utilizando ACP, observaram modificações nas características biofísicas e fisiológicas de

*Opuntias* submetidas a domesticação. Esses autores mostraram ainda uma independência de *O. ficus indica* e *O. streptacantha* selvagens induzida pela disponibilidade hídrica. Mendéz et al. (2015) observaram diferenciação em espécies de palma em função de caracteres físico-químicos, sendo a primeira CP associando-se aos parâmetros morfológicos e a segunda às variáveis químicas dos clones.

Com base no exposto, objetivou-se com esse estudo, analisar por meio da análise de componentes principais, a relação entre as variáveis morfológicas e produtivas de clones de palma forrageira cultivadas sob déficit hídrico controlado.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro de Referência Internacional de Estudos Agrometeorológicos de Palma e outras Plantas Forrageiras, localizado na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, em Serra Talhada, PE (7°59' S; 38°15' O e 431 m), onde de acordo com a classificação de Köopen, o clima é do tipo BShw' (semiárido quente) (ALVARES et al., 2014), com precipitação pluvial média de 642 mm ano<sup>-1</sup>, temperatura média do ar de 24,8 °C, umidade relativa do ar aproximadamente de 62% e demanda atmosférica acima de 1.800 mm ano<sup>-1</sup> (SILVA et al., 2015).

Os clones Miúda - MIU (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck), Orelha de Elefante Mexicana – OEM (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e Ipa Sertânia (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck) foram plantados em janeiro de 2016, em um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico típico (Tabela 1), no espaçamento 1,0 x 0,2 m, resultando numa densidade populacional de 50.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O arranjo experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 4x3, com parcelas subdivididas, em quatro repetições. As parcelas experimentais foram compostas por três regimes de déficits hídricos controlados, baseados no percentual da evapotranspiração da cultura – ETc (40%ETc; 80%ETc e 120%ETc) mais a condição de sequeiro (0%ETc). Por sua vez, as subparcelas foram compostas pelos três clones de palma forrageira. Cada parcela experimental possuiu 60 m<sup>2</sup>, sendo constituída por quatro fileiras de cultivo com 25 plantas de cada clone, totalizando 75 plantas por fileira. As duas fileiras centrais, exceto duas plantas das extremidades de cada subparcela, foram consideradas como parcelas úteis, com área igual a 26,8 m<sup>2</sup>.

**Tabela 1.** Características físico-químicas do solo da área experimental cultivado com clones de palma forrageira sob deficit hídrico controlado, em Serra Talhada - PE

Análise química																		
	C.E	pH	C	MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn
Prof. (cm)	mS cm <sup>-1</sup>	-	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0-10	0,87	6,9	5,8	10,02	78,11	1,28	0,04	4,0	1,60	0,00	0,5	6,9	7,4	93,5	0,47	24,3	24,4	0,98
10-20	0,52	6,7	4,8	8,28	66,51	0,74	0,03	4,5	2,20	0,00	0,7	7,5	8,2	91,2	0,56	25,2	23,1	0,85

Análise física													
	Umidade (dag kg <sup>-1</sup> )					Densidade		Porosidade		Granulometria			
	0,006	0,010	0,033	0,060	0,100	1,50	Solo	Partícula	Total (%)	A. total*	Silte	Argila	
Prof. (cm)	.....	.....	Mpa	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
0-10	11,56	9,28	6,62	5,90	5,32	4,10	1,58	2,43	34,80	833,3	128,4	38,3	
10-20	11,94	9,69	7,24	6,49	5,90	4,38	1,60	2,53	36,71	830,4	118,8	50,8	

\*A. total – areia total; C.E – condutividade elétrica; MO – matéria orgânica; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions e V – índice de saturação de bases.

Durante o ano de 2016 os clones foram cultivados em condição de sequeiro, e a partir de janeiro de 2017 (início do experimento), foram submetidos aos regimes de deficits hídricos controlados. Para isso, foi calculada diariamente a Evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) pela equação de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), cujo valor médio durante a condução do estudo foi igual a 4,72 mm dia<sup>-1</sup> (Tabela 2). A ET<sub>c</sub> foi obtida pelo produto da ET<sub>o</sub> e do coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>), considerado igual 0,52 conforme Queiroz et al. (2016) para ambas espécies. A aplicação dos deficits hídricos controlados foi realizada às segundas, quartas e sextas-feiras, por meio de sistema de gotejamento, com uniformidade de aplicação de água de 85%, com emissores espaçados a 0,20 m e vazão de 2,25 L h<sup>-1</sup>, sempre nos períodos em que a precipitação pluvial foi menor que a ET<sub>o</sub> acumulada entre os dias de reposição de água no solo. A água utilizada foi proveniente de poço artesiano e apresentou condutividade elétrica média de 1,51 dS m<sup>-1</sup>, com concentração média de sódio e potássio de 168,66 mg L<sup>-1</sup> e 28,17 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. As lâminas de água recebidas pelo sistema para os tratamentos de 40%ET<sub>c</sub>, 80%ET<sub>c</sub> e 120%ET<sub>c</sub> foram iguais a 347,4 mm, 737,78 mm e 1.131,68 mm, respectivamente, e quando somados à precipitação pluvial, resultaram no total de 1.005 mm (sequeiro), 1.352,39 mm (40%ET<sub>c</sub>), 1.742,78 mm (80%ET<sub>c</sub>) e 2.136,68 mm (120%ET<sub>c</sub>) de água (Tabela 2).

**Tabela 2.** Precipitação pluvial, Evapotranspiração de referência e deficits hídricos controlados durante o período experimental, em área cultivada com clones de palma forrageira, em Serra talhada, PE.

Mês/Ano	Precipitação pluvial	ET <sub>o</sub>	Deficits hídricos controlados		
	mm		mm dia <sup>-1</sup>	% ET <sub>c</sub>	
		40		80	120
Jan 2017	18,8	5,96	14,78	31,35	48,06
Fev 2017	100,6	5,60	14,41	31,59	50,17
Mar 2017	93,4	4,78	14,43	31,32	48,44
Abr 2017	175,8	4,13	8,66	18,37	27,95
Mai 2017	71,4	3,63	13,37	27,33	41,15
Jun 2017	101,6	3,55	7,27	16,15	25,16
Jul 2017	49,6	3,16	6,66	15,39	25,43
Ago 2017	2,4	4,71	17,82	36,67	55,57
Set 2017	2,4	5,25	19,42	40,55	61,35
Out 2017	0,2	6,22	25,96	52,69	78,49
Nov 2017	3,6	6,20	24,41	50,40	75,50
Dez 2017	10,8	6,10	22,73	46,83	71,41
Jan 2018	28,00	5,28	20,77	45,49	69,93
Fev 2018	166,4	4,65	11,62	25,39	40,33
Mar 2018	108,8	4,35	23,13	48,31	72,74
Abr 2018	50,4	3,67	12,41	31,34	53,08
Mai 2018	11,4	4,00	25,51	53,35	81,55
Jun 2018	9,4	4,23	30,04	63,46	95,77
Soma	1005	85,47	313,4	666,00	1022,05
Média	-	4,72	-	-	-

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiração de referência; ET<sub>c</sub> = Evapotranspiração da cultura

Ao longo do período experimental (jan 2017 a jun 2018), foram realizadas oito campanhas biométricas, onde foram analisadas duas plantas por subparcela, resultando em seis plantas por parcela, totalizando um número de 96 plantas analisadas em toda área. Em cada planta foram obtidos o número total de cladódios (NTC) por ordem de surgimento (i.e. NC1 - oriundos do cladódio basal; NC2 – provenientes dos cladódios de primeira ordem e assim sucessivamente), assim como, mensurado o cladódio basal até o último cladódio da ramificação representativa da planta para a obtenção das seguintes variáveis: comprimento do cladódio (CC (cm) - da base do cladódio até seu ápice); largura do cladódio (LC (cm) - de uma extremidade a outra, na região mediana do cladódio); perímetro do cladódio (PC (cm) - circunferência do cladódio), utilizando-se fita métrica e, a espessura do cladódio (EC (mm) - espessura da região mediana do cladódio) com auxílio de paquímetro. Além disso, baseados nos modelos matemáticos ajustados por Silva et al. (2014a), foram calculadas as áreas dos cladódios (AC)

por ordem de surgimento e por clone de palma forrageira (Eq. 1, 2 e 3). Posteriormente, determinou-se os valores médios de AC por clone.

$$AC_{MIU} = 0,7198 * CC * LC \quad (1)$$

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

$$AC_{IPA} = 1,6691 * (1 - \exp(0,0243 * PC)) / -0,0243 \quad (3)$$

em que, CC: Comprimento do cladódio (cm); LC: Largura do cladódio (cm), e PC: Perímetro do cladódio (cm). O índice de área dos cladódios (IAC), foi calculado por meio da razão entre a área total de cladódios e o espaçamento utilizado (PINHEIRO et al., 2014).

Para a determinação da produtividade dos clones de palma forrageira ao longo do período estudado, foi realizado nas mesmas datas das análises biométricas, o corte de 48 plantas representativas da área (3 plantas parcela<sup>-1</sup>). Nessas ocasiões, foi deixado apenas o cladódio basal, seguindo os demais cladódios para pesagem, obtendo-se o peso da planta em quilogramas (kg). Dois cladódios representativos de cada planta foram pesados para a obtenção do peso fresco (kg) e, posteriormente, foram fatiados, colocados em sacos de papel e acomodados em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55 °C até atingir peso seco constante (SILVA e QUEIROZ, 2005). A relação entre os valores de peso seco e peso fresco resultou nos teores de matéria seca dos cladódios. A estimativa da produtividade de matéria fresca (MF Mg ha<sup>-1</sup>) foi feita a partir da multiplicação do peso fresco da planta pela quantidade de plantas presentes na parcela útil ao final do experimento. A produtividade de matéria seca (MS Mg ha<sup>-1</sup>) foi determinada pela multiplicação dos valores de MF pelo teor de matéria seca dos cladódios.

A análise fatorial, utilizando a análise multivariada de componentes principais, foi utilizada afim de estabelecer uma relação entre as variáveis morfológicas e de rendimento dos clones de palma forrageira em função dos regimes de deficits hídricos controlados. Toda a análise estatística foi realizada no programa Rstudio 2018.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os biplots da análise de componentes principais (ACP) para as variáveis morfológicas e de rendimento dos clones de palma forrageira ao longo do período experimental. Não foi possível observar o efeito dos diferentes regimes de deficits hídricos controlados sobre as variáveis analisadas, no entanto, as componentes principais separaram com precisão os clones de palma forrageira em função da espécie, de acordo com as características

morfológicas e os rendimentos em matéria fresca e seca e o teor de matéria seca de cada clone. Mendéz et al. (2015) também observaram a diferenciação entre espécies de cactos em função de características físico-químicas utilizando ACP.

Na biomassa 1 as duas primeiras componentes principais (Dim1 e Dim2) explicaram 68,1% da variância total. A Dim1 esteve mais relacionada com as variáveis área do cladódio (AC), índice de área dos cladódios (IAC), produção de matéria fresca (ProdMF) e produção de matéria seca (ProdMS), mostrando maior associação com o clone OEM. Por outro lado, a Dim2 apresentou correlação positiva com as variáveis número total de cladódios (NTC) e teor de matéria seca, associando-se melhor com os clones MIU e IPA. Uma correlação alta e positiva foi observada entre AC e IAC, como também, entre as variáveis ProdMF e ProdMS. De acordo com Neder et al. (2013), uma alta correlação entre a produtividade de matéria fresca e produtividade de matéria seca, indica que é possível a seleção de acessos de palma forrageira (*Opuntia ficus indica*) baseando-se pelo seu rendimento em massa fresca, sem necessidade de do conhecimento do peso seco da planta.

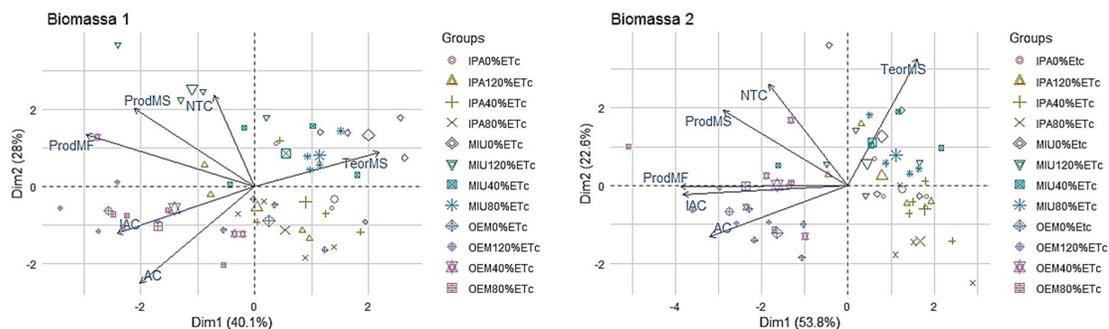
Em relação a biomassa 2, observa-se maior associação da AC, IAC, ProdMF e ProdMS com a primeira componente (Dim1), a qual explicou 53,8% da variância total dos dados. Nessa componente, a variável ProdMF apresentou alta correlação com IAC e AC do clone OEM, o que pode ser devido ao tamanho dos cladódios apresentados por esse clone, resultando em maior acúmulo de água nos mesmos e, conseqüentemente, elevados rendimentos em matéria fresca (SILVA et al., 2015; BARBOSA et al., 2018b). Pinheiro et al. (2014), observaram alta influência das variáveis morfológicas sobre a produtividade da palma forrageira, com destaque para o índice de área do cladódio. Considerando a Dim2 (22,6%) que esteve mais associada aos clones MIU e IPA, observa-se maior relação com o NTC e teor de matéria seca, que por sua vez apresentou baixa correlação com AC, IAC e ProdMF.

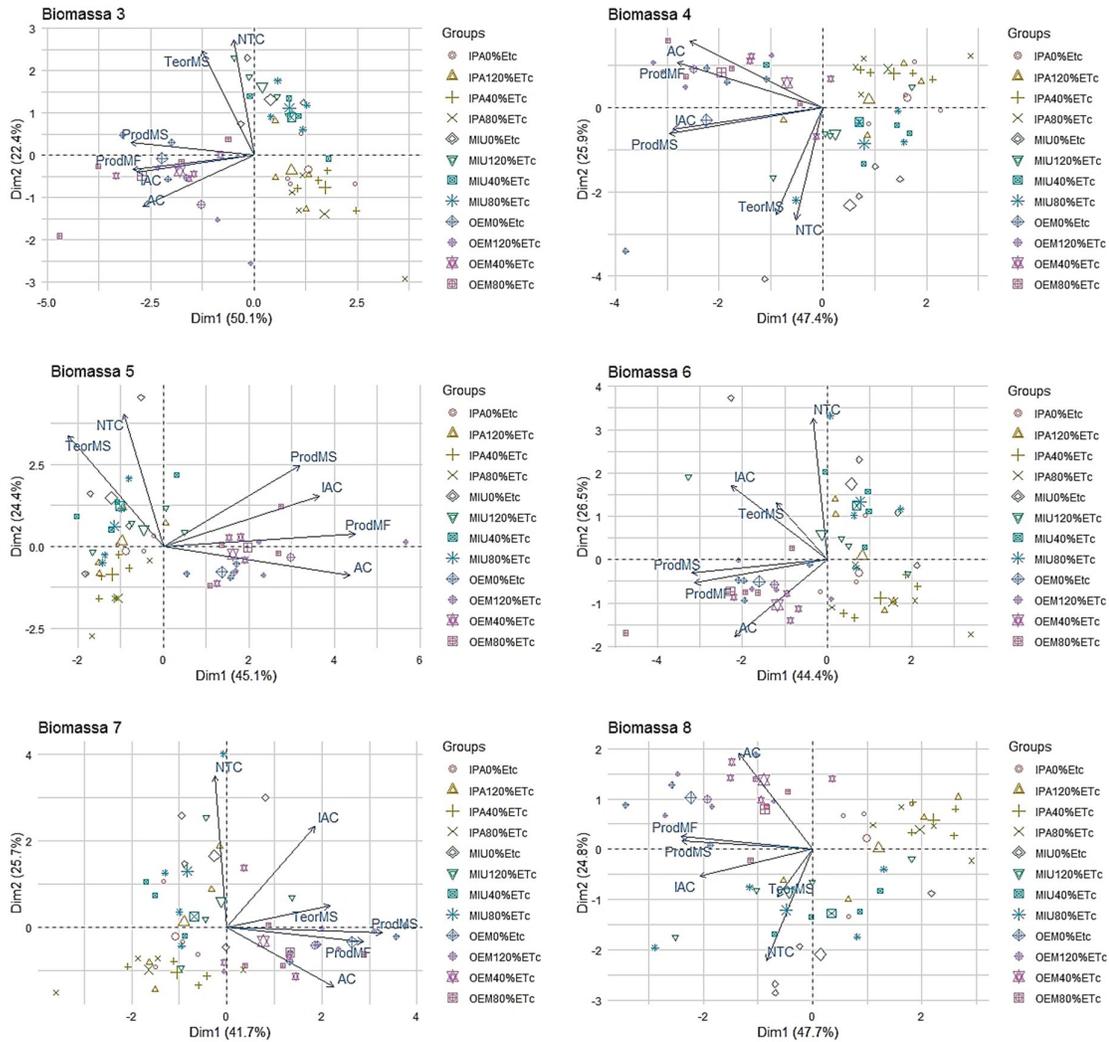
Na biomassa 3 as variáveis ProdMF, ProdMS, AC e IAC apresentaram alta correlação entre si e estiveram mais associadas ao clone OEM (Dim1 50,1%), o que pode ser explicado pela alta eficiência de cactos do gênero *Opuntia* em converter água em fitomassa (GARCÍA-NAVA et al., 2015). As variáveis NTC e teor de matéria seca foram melhor explicadas pela Dim2 (22,4%), que esteve mais associada aos clones MIU e IPA. Comportamento semelhante foi observado na biomassa 4, onde a primeira componente explicou a maior variância (47,4%) e foi fortemente associada às variáveis morfológicas (AC e IAC) e as características produtivas (ProdMF e ProdMS) do clone OEM. A segunda componente (25,9%) foi relacionada ao NTC e teor de matéria seca e inversamente a AC e ProdMF dos clones MIU e IPA.

Embora o clone MIU possua maior NTC em relação ao clone OEM, o seu IAC é baixo devido ao menor tamanho da AC (SILVA et al., 2015), no entanto, a maior emissão de cladódios de ordem superior, apresentam maior estímulo para a fotossíntese (BARBOSA et al., 2018a). Por outro lado, o clone IPA apesar de não apresentar NTC tão expressivo quanto ao da MIU, possui um hábito de crescimento semiaberto, o que permite um melhor aproveitamento fotossintético pela planta, o que induz ao incremento no teor de matéria seca (PINHEIRO et al., 2014). Neder et al. (2013) encontraram maior efeito do número total de cladódios sobre o rendimento de *O. ficus indica*, devido principalmente, essa variável estar relacionada a ganhos de matéria seca.

Ao considerar a biomassa 5, a primeira componente (45,1%) esteve altamente relacionada com a AC, IAC e ProdMF, enquanto que a segunda componente (24,4%) apresentou maior correlação com as variáveis NTC e teor de matéria seca. Na biomassa 6, as variáveis AC, IAC, ProdMF e ProdMS, estiveram mais relacionadas à primeira componente (44,4%), ao passo que o NTC e o teor de matéria seca foi mais relacionado com a Dim2 (26,5%). De acordo com Pinheiro et al. (2014), o índice de área do cladódio possui alta correlação com o número total de cladódios, que por sua vez, influencia diretamente a variabilidade do rendimento da cultura.

Em relação a biomassa 7, as variáveis AC, ProdMF, ProdMS e teor de matéria tiveram maior relação com a primeira componente (41,7%), na qual observa-se o maior agrupamento do clone OEM. Por outro lado, a segunda componente (25,7%) esteve melhor relacionada com variáveis NTC e IAC dos clones MIU e IPA. Ao final do experimento (biomassa 8) assim como nas outras amostragens, a primeira componente (47,7%) esteve melhor associada ao IAC, ProdMF e ProdMS, com maior agrupamento do clone OEM. Já a segunda componente (24,8%), que esteve mais associada aos clones MIU e IPA, observa-se maior relação com as variáveis NTC e teor de matéria.





**Figura 1.** Biplot das variáveis morfológicas e de rendimento de clones de palma forrageira cultivados sob deficit hídrico controlado, no período de janeiro de 2017 a junho de 2018, em Serra Talhada – PE.

#### 4 CONCLUSÕES

A análise de componentes principais mostrou que a maior relação entre as variáveis morfológicas e produtivas da palma forrageira são mais associadas às características dos clones, independente do deficit hídrico aplicado.

A área do cladódio e o índice de área do cladódio do clone Orelha de Elefante Mexicana foram as variáveis que mais contribuíram para a produtividade de matéria fresca e seca, que por sua vez, mostraram correlação alta entre si.

Para os clones Miúda e Ipa Sertânia, o número total de cladódios assume maior importância para o ganho de matéria seca.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) pela assistência na condução e finalização do experimento.

## 6 REFERÊNCIAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, 56, 1998.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map of Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Germany, V. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BARBOSA, M.L.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; FERREIRA, W.P.M. Environmental variables influencing the expression of morphological characteristics in clones of the forage cactus. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 49, n. 3, p. 399 - 408, 2018a.

BARBOSA, M.L.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; STEIDLE NETO, A.J. The influence of cladode morphology on the canopy formation of forage cactus plants. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 180 – 190, 2018b.

GARCÍA-NAVA, F.; PEÑA-VALDIVIA, C.; TREJO, C.; GARCÍA-NAVA, R.; REYES-AGÜERO, J.A.; RIVERA, J.R.A. Biophysical and physiological characteristics of nopalitos (*Opuntia* spp., Cactaceae) as influenced by domestication. **Genetic resources and crop evolution**, v. 62, n. 6, p. 927 – 938, 2015.

HASSAN S.; INGLESE, P.; GRISTINA, L.; LIGUORI, G.; NOVARA, A.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy**, v.105, p. 104 – 110, 2019.

LEITE, M.L.V.M.; SILVA, D.S.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; RAMOS, J.P.F. Caracterização da produção de palma forrageira no cariri paraibano. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 2, p. 192 – 200, 2014.

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. 1, p. 14 - 20, 2013.

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**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 481 – 488, 2016.

LOPES, E.B.; BRITO, C.H.; ALBUQUERQUE, I.C.; BATISTA, J.L. 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**, Espírito Santo do Pinhal, v.7, n. 1, p. 204 - 215, 2010.

MENDÉZ, L.P.; FLORES, F.T.; MARTÍN, J.D.; RODRÍGUEZ, E.M.R.; ROMERO, C.D. Physicochemical characterization of cactus pads from *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica*. **Food chemistry**, v. 188, p. 393-398, 2015.

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. 203 – 207, 2013.

NEFZAOU, A.; LOUHAICHI, M.; BEN SALEM, H. Cactus as a tool to mitigate drought and to combat desertification. **Journal of Arid Land Studies**, v. 24, n. 1, p. 121 - 124, 2014.

PINHEIRO, K.M.; SILVA, T.G.F.; CARVALHO, H.F.S.; SANTOS, J.E.O.; MORAIS, J.E.F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D.C.S. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939 - 947, 2014.

QUEIROZ, M.G.; SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S.M.S.; SOUZA, C.A.A.; CARVALHO, H.F.S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Revista Irriga**, Botucatu, Edição Especial, Irrigação, p. 141-154, 2016.

RAMOS, J.P.F.; LEITE, M.L.M.V.; OLIVEIRA JUNIOR, S.; NASCIMENTO, J.P.; SANTOS, E.M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 41 – 48, 2011.

RAMOS, J.P.F.; SANTOS, E.M.; CRUZ, G.R.B.; PINHO, R.M.A.; FREITAS, P.M.D. Effects of harvest management and manure levels on cactus pear productivity. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 135-142, 2015.

SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; LO BIANCO, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158 – 167, 2016.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: Método químicos e biológicos**. 3. Ed. Minas Gerais: UFV, 2005. 225 p.

SILVA, S.C.; SBRÍSSIA, A.F. Análise de componentes principais entre características morfogênicas e estruturais em capim-marandu sob lotação contínua. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 3, p. 690 – 693, 2010.

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, T.G.F.; ARAÚJO PRIMO, J.T.; SILVA, S.M.S.; MOURA, M.S.B.; SANTOS, D.C.; SILVA, M.C.; ARAÚJO, J.E.M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de

clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 2, p. 184 - 191, 2014b.

SILVA, T.G.F.; MIRANDA, K.R.; SANTOS, D.C.; QUEIROZ, M.G.; SILVA, M.C.; CRUZ NETO, J.F.; ARAÚJO, J.E.M. Área do cladódios de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 633 – 641, 2014a.