

**MARIA GABRIELA DE QUEIROZ**

**DESEMPENHO PRODUTIVO E PARÂMETROS  
AGROMETEOROLÓGICOS DA PALMA FORRAGEIRA, CLONE ORELHA  
DE ELEFANTE MEXICANA, NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2014**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Q3d  
2014

Queiroz, Maria Gabriela de, 1989-

Desempenho produtivo e parâmetros agrometeorológicos da  
palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, no  
Semiárido brasileiro / Maria Gabriela de Queiroz. – Viçosa, MG,  
2014.

xv, 67f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Sérgio Zolnier.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Palmeira. 2. Consumo hídrico. 3. Viabilidade econômica.  
4. Produtividade. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de  
Pós-graduação em Meteorologia Agrícola. II. Título.

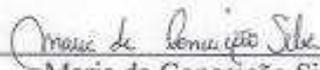
CDD 22. ed. 634.974

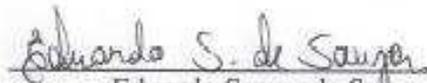
MARIA GABRIELA DE QUEIROZ

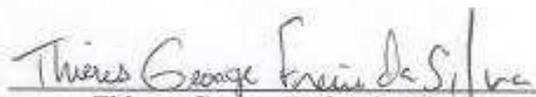
**DESEMPENHO PRODUTIVO E PARÂMETROS  
AGROMETEOROLÓGICOS DA PALMA FORRAGEIRA, CLONE ORELHA  
DE ELEFANTE MEXICANA, NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

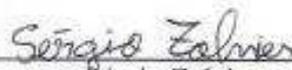
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de fevereiro de 2014.

  
\_\_\_\_\_  
Maria da Conceição Silva

  
\_\_\_\_\_  
Eduardo Soares de Souza

  
\_\_\_\_\_  
Thieres George Freire da Silva  
(Coorientador)

  
\_\_\_\_\_  
Sérgio Zolnier  
(Orientador)

Dedico,

Aos meus pais,  
José Arnaldo Alves de Queiroz e Josefa de Queiroz Alves,  
pelo amor, compreensão, incentivo, dedicação e exemplo de vida, que me  
conduziram às melhores escolhas durante minha vida.

Aos meus irmãos,  
João Alves de Queiroz Neto, Havanna Alves de Queiroz e José Arnaldo Alves de  
Queiroz Filho,  
pelas vibrações positivas, apoio, carinho, amizade e companheirismo.

A minha Avó,  
Ana Neri de Queiroz,  
pelas inesgotáveis orações, amor e fé, sem as quais não teria chegado aqui.

A minha cunhada e sobrinho,  
Cristina Almeida Alves de Queiroz e João kaik Alves de Almeida  
pelas alegrias proporcionadas, pelo carinho e afeto.

Ao meu amigo,  
Thieres George Freire da Silva,  
Pela amizade, tranquilidade, conquistas, confiança, motivações e perspectivas  
futuras.

*“Tantas vezes pensamos ter chegado, tantas vezes é preciso ir além.”*

*(Fernando Pessoa)*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu bom Deus, pelas vitórias, graças concedidas e pelo seu amor incondicional. “Sou em ti, és em mim, minha alma diz meu Deus, como és lindo”.

Ao meu orientador, professor Sérgio Zolnier, pela confiança, respeito, oportunidade e profissionalismo.

Ao meu coorientador, Thieres George Freire da Silva, pelos ensinamentos, confiança, dedicação, entusiasmo e excepcional profissionalismo.

Ao meu coorientador Sérvulo Mercier Siqueira e Silva, pela paciência, confiança, profissionalismo e carinho.

Ao meu ex-orientador, professor Inajá Francisco de Souza, pelos incentivos, confiança e carinho sempre depositados.

Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido (GAS) pela contribuição na execução de meu trabalho, pela extrema dedicação, cuidado, comprometimento e profissionalismo. Quero deixar clara a minha gratidão e amizade a todos os membros, que fizeram daqueles momentos trabalhosos e difíceis, uma ocasião fraterna e de muita alegria. Estarão sempre guardados em meu coração.

Às inesquecíveis e duradouras amizades que fiz, enquanto morei em Viçosa, que tanto me ajudaram na adaptação e que me divertiam em todos os momentos.

Agradeço a Eliane Cristina, Olga Maria, Fernanda Bottega, Ane Francielly, Vanderlene Noeme, Elen Ciria.

A todos os meus colegas do programa de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, e em especial aqueles pelos quais tenho enorme satisfação de ter conhecido e que de alguma forma, faziam os meus dias mais felizes. Meu muito obrigado a Evandro, David, João Vitor, Douglas, Ana Paula, Paulo, Almir, Manuel, Mariana, Vágna, Gláucio, Fernando, Mônica, Alex, Valéria, Aline e Vânia.

Às verdadeiras amizadas que Deus colocou em meu caminho e que serão insubstituíveis e eternas, não importa a distância, as circunstância, sempre iremos compartilhar dos melhores momentos de nossas vidas, porque nossa união é uma manifestação de Deus. Obrigada por existirem: Taíza Nogueira, Karina Miranda, Jackson Meirellys, Felipe Diniz, Edson Fábio, Marcela Barbosa, Márcia Menezes, Poliana de Caldas, Carol Terto, Julieth Alves, Fabiana Vieira.

Aos meus amigos da empresa SEBRAE, unidade Serra Talhada, pelo apoio, torcida, carinho e pelos momentos agradáveis sempre ofertados.

Às minhas diversas colegas de republica, Olga, Eliane, Poli, Elen, Suely e Erislaine, por terem compartilhando comigo desta etapa tão importante, pela compreensão e amizade.

Aos demais amigos, tios e tias, padrinhos e madrinhas, primos e primas, pelo apoio, carinho e vibrações positivas.

À secretária do programa, Graça Freitas, pelas orientações, broncas, extraordinária dedicação e competência, cuidados e carinho transmitido.

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, pela excepcional estrutura de ensino e pesquisa.

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA e a Unidade Acadêmica de Serra Talhada/Universidade Federal Rural de Pernambuco (UAST/UFRPE), pela parceria e viabilização na execução de minhas pesquisas.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pelo financiamento do projeto.

Ao CNPq, pelo incentivo financeiro.

Meus sinceros agradecimentos!

## **BIOGRAFIA**

Maria Gabriela de Queiroz, filha de Josefa de Queiroz Alves e José Arnaldo Alves de Queiroz, nasceu em 14 de julho de 1989, na cidade de Carnaíba, Pernambuco.

Em Março de 2007 iniciou o curso de Agronomia pela Unidade Acadêmica de Serra Talhada, campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada na cidade de Serra Talhada. Durante três anos participou de atividades de iniciação científica. Graduou-se no segundo semestre de 2011.

Em Março de 2012, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa-MG, em nível de mestrado, submetendo-se à defesa de tese em 27 de fevereiro de 2014.

## SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS .....	viii
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
INTRODUÇÃO .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	5
I CAPÍTULO .....	8
RELAÇÕES HÍDRICO-ECONÔMICAS DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO.....	8
Resumo: .....	8
Abstract .....	9
Introdução .....	10
Material e Métodos .....	12
Resultados e discussão .....	19
Conclusões .....	27
Agradecimentos.....	28
Referências.....	28
Figuras e Tabelas.....	33
II CAPÍTULO .....	39
PARÂMETROS PRODUTIVOS E AGROMETEOROLÓGICOS DE RESPOSTA HÍDRICA DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA A DISTINTAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO .....	39
Resumo: .....	39
Abstract: .....	40
Introdução .....	41
Material e Métodos .....	43
Resultados e Discussão .....	48
Conclusões .....	55
Agradecimentos.....	56
Referências.....	56
Figuras e Tabelas.....	61

## LISTA DE SÍMBOLOS

AC	Ascensão capilar	mm
AC1	Área do cladódio de primeira ordem	cm <sup>2</sup>
AC2	Área do cladódio de segunda ordem	cm <sup>2</sup>
AC3	Área do cladódio de terceira ordem	cm <sup>2</sup>
ACB	Área do cladódio basal	cm <sup>2</sup>
ACE	Área de cladódio específica	cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
AFE	Área foliar específica	cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
AP	Altura da planta	cm
BAS	Balanço de água no solo	-
C3	Via fotossintética do ciclo de Benson-Calvin	-
C4	Via fotossintética de Kortschack, Hatch-Slack	-
CC1	Comprimento do cladódio de primeira ordem	cm
CC2	Comprimento do cladódio de segunda ordem	cm
CC3	Comprimento do cladódio de terceira ordem	cm
CCB	Comprimento do cladódio basal	cm
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono	-
DAC	Dias após o corte	dias
DAP	Dias após o plantio	dias
DP	Drenagem profunda	mm
e	Pressão parcial do vapor	kPa
EC1	Espessura do cladódio de primeira ordem	mm
EC2	Espessura do cladódio de segunda ordem	mm
EC3	Espessura do cladódio de terceira ordem	mm
ECB	Espessura do cladódio basal	mm
EUA	Eficiência no uso de água	Kg m <sup>-3</sup>
EUA <sub>(ET)</sub>	Eficiência no uso de água evapotranspirada	Kg m <sup>-3</sup>
EUA <sub>(P+I)</sub>	Eficiência no uso de água aplicada via precipitação e irrigação	Kg m <sup>-3</sup>
e <sub>s</sub>	Pressão de saturação do vapor d'água no ar	kPa
ET	Evapotranspiração	mm
ETc	Evapotranspiração da cultura	mm

ETo	Evapotranspiração de referência	mm
ETr	Evapotranspiração real	mm
FC	Fração do uso Consultivo da água	%
G	Densidade do fluxo de calor no solo	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
I	Irrigação	mm
IAC	Índice de área do cladódio	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
ICS	Índice de cobertura do solo	%
IDAF-O0	Índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios basais	%
IDAF-O1	Índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios de primeira ordem	%
IDAF-O2	Índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios de segunda ordem	%
IDAF-O3	Índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios de terceira ordem	%
IDCP-O0	Índice de distribuição dos cladódios basais da planta	%
IDCP-O1	Índice de distribuição dos cladódios de primeira ordem da planta	%
IDCP-O2	Índice de distribuição dos cladódios de segunda ordem da planta	%
IDCP-O3	Índice de distribuição dos cladódios de terceira ordem da planta	%
IVP	Índice de volume de produção	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>
Kc	Coefficiente de cultura	-
K(θ)	Condutividade hidráulica do solo	m h <sup>-1</sup>
Ko	Condutividade hidráulica no solo saturado	m h <sup>-1</sup>
LC1	Largura do cladódio de primeira ordem	cm
LC2	Largura do cladódio de segunda ordem	cm
LC3	Largura do cladódio de terceira ordem	cm
LCB	Largura do cladódio basal	cm
LP	Largura da planta	cm
MAC	Metabolismo ácido das crassuláceas	-
MV	Matéria verde	-

MS	Matéria seca	-
NC1	Número de cladódios de primeira ordem	ud
NC2	Número de cladódios de segunda ordem	ud
NC2	Número de cladódios de terceira ordem	ud
NP <sub>final</sub>	Número de plantas finais	ud
NPP	Número de plantas por parcela	ud
NPK	Nitrogênio, Fosforo e Potássio	-
NTCP	Número total de cladódios por parcela	ud
NTCm	Número total de cladódios médios por planta	ud
OEM	Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016	-
P	Precipitação pluviométrica	mm
PA <sub>C</sub>	Produtividade da Água da Cultura	Kg m <sup>-3</sup>
PC1	Perímetro do cladódio de primeira ordem	cm
PC2	Perímetro do cladódio de segunda ordem	cm
PC3	Perímetro do cladódio de terceira ordem	cm
PCB	Perímetro do cladódio basal	cm
PEA	Produtividade econômica da água	US\$ m <sup>-3</sup>
PEA <sub>(ET)</sub>	Produtividade econômica da água evapotranspirada	US\$ m <sup>-3</sup>
PEA <sub>(P+I)</sub>	Produtividade econômica da água aplicada via precipitação e irrigação	US\$ m <sup>-3</sup>
PET <sub>(Cladódio)</sub>	Produtividade econômica da terra, em termos de cladódios	US\$ ha <sup>-1</sup>
PET <sub>(Rendimento)</sub>	Produtividade econômica da terra, em termos de rendimento	US\$ ha <sup>-1</sup>
PFC1	Peso fresco do cladódio de primeira ordem	g
PFC2	Peso fresco do cladódio de segunda ordem	g
PFC3	Peso fresco do cladódio de terceira ordem	g
PSC1	Peso seco do cladódio de primeira ordem	g
PSC2	Peso seco do cladódio de segunda ordem	g
PSC3	Peso seco do cladódio de terceira ordem	g
P+I	Precipitação e irrigação	mm
Q <sub>z</sub>	Fluxo vertical de água no solo	mm
Rn	Saldo de radiação à superfície de cultivo	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
sp	Espécie no singular	-

TAL	Taxa de assimilação líquida	$\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$
TCA	Taxa de crescimento absoluto	$\text{g m}^{-2} \text{mês}^{-1}$
TCR	Taxa de crescimento relativo	$\text{g g}^{-1} \text{mês}^{-1}$
T	Temperatura do ar média diária a 2m de altura	$^{\circ}\text{C}$
$u_2$	Velocidade do vento a 2 m de altura	$\text{m s}^{-1}$
$y$	Coefficiente angular da reta LnK	-
$\gamma$	Constante psicrométrica	$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
$\alpha$	Parâmetro adimensional ajustado pelo método do perfil instantâneo, para a profundidade de 0,5 e 0,7 m	-
$\beta$	Parâmetro adimensional ajustado pelo método do perfil instantâneo, para a profundidade de 0,5 e 0,7 m	-
$\Delta$	Declividade da curva da pressão de saturação do vapor d'água no ar	$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$
$\Delta A$	Varição do armazenamento de água no solo	mm
$\nabla H$	Gradiente de potencial total de água no solo	$\text{m m}^{-1}$
$\Delta H_z$	Varição do armazenamento de água do solo até a profundidade de controle Z	m
$\theta$	Conteúdo de água no solo	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
$\theta_0$	Conteúdo de água no solo saturado	$\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$
$\psi_t$	Potencial total de água	m

## RESUMO

QUEIROZ, Maria Gabriela de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2014. **Desempenho Produtivo e Parâmetros Agrometeorológicos da Palma forrageira, Clone Orelha de Elefante Mexicana, no Semiárido Brasileiro.** Orientador: Sérgio Zolnier. Coorientadores: Thieres George Freire da Silva e Sérvulo Mercier Siqueira e Silva.

Objetivou-se analisar o efeito da aplicação de distintas lâminas de água sobre o desempenho do crescimento e da produtividade da palma forrageira, cv. IPA/200016 - Orelha de Elefante Mexicana, visando à quantificação de parâmetros agrometeorológicos como índices morfofisiológicos, consumo de água, coeficiente de cultura (Kc) e indicadores de desempenho do uso da água. O experimento foi conduzido na estação experimental do Instituto Agrônomo de Pernambuco, em Serra Talhada-PE, Semiárido brasileiro. As avaliações foram realizadas no período de junho/2012 a junho/2013, compreendendo o segundo ano produtivo da cultura. O delineamento foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, e cinco tratamentos representados por diferentes lâminas de água, calculadas por meio da equação de Penman-Monteith, parametrizada conforme o Boletim 56 da FAO. Ao final do ciclo, foram aplicados 976, 1048, 1096, 1152 e 1202 mm de água. Os dados dos elementos meteorológicos foram obtidos de uma estação automática do INMET, localizada próxima ao experimento. Na ocasião da colheita, foram realizadas medidas morfológicas e de biomassa das plantas (i.e. altura e largura da planta; número de cladódios por planta; comprimento, largura, espessura, perímetro e área dos cladódios, etc.). A evapotranspiração (ET) foi calculada pelo método do balanço de água no solo (BAS), com seus componentes acumulados a cada 14 dias, totalizando 27 períodos. Determinaram-se: índices morfofisiológicos (taxa de assimilação líquida, TAL; taxa de crescimento absoluto, TCA; taxa de crescimento relativo, TCR; e, a área de cladódio específica, ACE); rendimento de matérias verde (MV) e seca (MS) e conteúdo de matéria seca; parâmetros de resposta da cultura (índice de cobertura do solo, ICS; índice de volume de produção, IVP; índice de distribuição dos cladódios na planta, IDCP; e, índice de distribuição de área fotossintética, IDAF); índices de resposta hídrica (i.e. altura e largura da planta por cada mm de água evapotranspirada, etc.); coeficiente de cultura, Kc; mediante a relação entre Evapotranspiração da cultura e Evapotranspiração de referência; e, indicadores de desempenho do uso da água

(Eficiência no uso de água, EUA; fração de uso consultivo, FC; produtividade econômica da água, PEA; e, produtividade econômica da terra ( $PET_{\text{cladódio}}$  e  $PET_{\text{rendimento}}$ ) com base nos valores de ET, precipitação, irrigação, valores monetários e rendimento MV e MS da cultura. Como resultados, verificou-se que as lâminas de água mais elevadas não influenciaram a maioria dos valores absolutos das variáveis de crescimento, assim como dos índices morfofisiológicos, parâmetros de resposta da cultura, índices de resposta hídrica, produtivos e indicadores de eficiência do uso da água ( $p>0,05$ ). Todavia, os índices de resposta hídrica por causa da ET mostraram tendência de acréscimo com a redução da lâmina evapotranspirada. Em relação aos componentes do BAS, apenas a variação no armazenamento revelou diferença entre os tratamentos, com valores acumulados crescentes à medida que as lâminas foram superiores. A ET e o Kc da cultura foram determinados para a lâmina de água de 1048 mm, que representou o ponto de inflexão da produtividade da cultura, sendo seus valores iguais a  $2,69 \text{ mm dia}^{-1}$  e  $0,52$ , nessa ordem. A FC foi de  $0,90\%$  e tendeu a decrescer com o aumento das lâminas aplicadas, demonstrando que, em média, apenas  $10\%$  do total aplicado não foi utilizado na ET. A EUA, tanto para MV e MS, foi maior quando se considerou a lâmina evapotranspirada, em relação aos valores de P+I, em média de,  $14,02 \text{ kg MV m}^{-3}$  e  $0,87 \text{ kg MS m}^{-3}$ , respectivamente. O valor médio da Produtividade econômica da água ( $5,50$  e  $6,18 \text{ US\$ m}^{-3}$ ) indica que o produtor terá um retorno econômico bruto de  $5,50$  e  $6,18$  dólares para cada  $\text{m}^{-3}$  de água fornecida (P+I) e evapotranspirada (ET) pela cultura, respectivamente.

## ABSTRACT

QUEIROZ, Maria Gabriela de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, february of 2014. **Productive performance and agrometeorological parameters of forage cactus, clone orelha of elefante Mexicana, in the brazilian semiarid.** Adviser: Sérgio Zolnier. Co-Advisers: Thieres George Freire da Silva and Sérvulo Mercier Siqueira e Silva.

This study aimed to analyze the effect of different water depths on growth performance and of productivity of forage cactus, cv. IPA/200016 – Orelha of Elefante Mexicana, aiming to quantify agrometeorological parameters such as morphophysiological indexes, water consumption, crop coefficient (Kc) and performance indicators of water use. The experiment was carried in the experimental station of the Agronomic Institute of Pernambuco, in Serra Talhada - PE, Brazilian Semiarid. The evaluations were performed in the period June/2012 to June/2013, during the second year of production of the culture. The design involved randomized blocks, with four replications and five treatments represented by different water depths, calculated by the Penman-Monteith equation, parameterized in the 56 FAO Bulletin. At the end of the cycle, it was applied 976, 1048, 1096, 1152 e 1202 mm of water. The data of the meteorological variables were obtained from an automatic weather station of INMET located next to the experiment. At harvest, were made analyzes of morphological measures and plants biomass (i.e. height and plant width; number of cladodes per plant; length, width, thickness, perimeter the of cladodes, etc.). The evapotranspiration (ET) was calculated by the soil water balance method (SWB), with its components accumulated every 14 days, totaling 27 periods. It was determined: morphophysiological indexes (net assimilatory rate, NAR; absolute growth rate, AGR; relative growth rate, RGR; and specific cladodes area SCA); green matter yield (GM) and dry matter yield (DM) and dry matter content; crop response parameters (soil cover index, CSI; production volume index, PVI; plant cladodes distribution index, PCDI; and, photosynthetic area distribution index, PADI); water response indexes (i.e. height and plant width per mm of evapotranspired water, etc.); crop coefficient, Kc; by the relationship between crop evapotranspiration and reference evapotranspiration; and, water use performance indicators (water use efficiency, WUE; consumptive use fraction, CF; economic water productivity, EWP; and, land economic productivity ( $LEP_{\text{cladodes}}$  e  $LEP_{\text{yield}}$ ) based on the values of ET, rainfall, irrigation, monetary values and GM and DM yield of culture.

As a result, it was found that the higher water depths did not affect the majority of the absolute values of the growth variables, morphophysiological indexes, crop response parameters, water response indexes, productive and indicators of water use efficiency ( $p>0,05$ ). However, the water response indexes due to ET tended to increase with reduction of evapotranspired blade. Concerning the SWB components, only the storage variation revealed differences among treatments, with increasing accumulated values as the blades were higher. The ET and Kc of the culture were determined for the water depth of 1048 mm, which represented the inflection point of the crop productivity, providing values of 2,69 mm day<sup>-1</sup> and 0,52, in that order. The CF was 0.90% and tended to decrease with increasing water depths, showing that, on average, only 10% of the applied quantity was not used in ET. The WUE, both GM and DM, was higher when it was considered the evapotranspired depth, in relation to the values of P+I, on average, 14,02 kg GM m<sup>-3</sup> and 0,87 kg DM m<sup>-3</sup>, respectively. The average value of the economic water productivity (5,50 and 6,18 US\$ m<sup>-3</sup>) shows that the producer will have a gross economic return of 5,50 e 6,18 dollars for each m<sup>-3</sup> of water supplied (P+I) and evapotranspired (ET) by culture, respectively.

## INTRODUÇÃO

O Semiárido Brasileiro possui uma área de 969.589,4 km<sup>2</sup>, a qual representa 60% da região Nordeste e 11,39% do território nacional. Em Pernambuco, o Semiárido corresponde a 65,9% da área do estado (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005). Tem como características a distribuição irregular de chuvas, sendo um dos principais entraves para o fortalecimento das atividades agrícolas (FERREIRA et al., 2008).

Entre as atividades produtivas desenvolvidas, destaca-se a pecuária, com a criação de rebanhos bovinos, caprinos e ovinos (OLIVEIRA et al., 2010). No entanto, uma das principais limitações para tal atividade é a baixa disponibilidade de forragens para alimentação dos rebanhos no período de estiagem, sendo necessário o uso de plantas forrageiras que atendam às exigências nutricionais dos animais e que sejam adaptadas às condições Semiáridas locais. Neste contexto, destaca-se a palma forrageira, especificamente os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, comumente cultivadas no Nordeste brasileiro (OLIVEIRA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011).

A palma forrageira apresenta metabolismo fotossintético, conhecido como Metabolismo ácido das crassuláceas (MAC), que proporciona maior eficiência no uso de água, além de suas características morfológicas de adaptação. Apresenta alta palatibilidade e digestibilidade, e é fonte de água para os animais, além de ser uma cultura que apresenta bom rendimento nas condições do Semiárido (DUBEUX JÚNIOR & SANTOS, 2005; OLIVEIRA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2011).

No entanto, a partir de 2001, a principal cultivar de palma forrageira utilizada no Nordeste brasileiro (palma gigante) teve seu plantio reduzido, em função do ataque da praga cochonilha-do carmin, (*Dactylopius opuntiae*) (Hemiptera: Dactylopiidae), com inúmeros palmais dizimados, sendo relatados ataques mais severos desta praga nos estados de Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte

(VASCONCELOS et al., 2009; LOPES et al., 2010). Dentre os métodos de controle da praga, a melhor alternativa para aumentar a expansão das áreas de cultivo de palma forrageira está condicionada ao uso de clones resistentes, sendo que demais estratégias, como controle biológico e químico são economicamente inviáveis, visto o nível tecnológico e socioeconômico dos produtores rurais (VASCONCELOS et al., 2009). Vasconcelos et al. (2009) e Lopes et al. (2010) avaliaram a resistência de clones de palma forrageira a cochonilha do carmin, e verificaram que os clones Miúda, Orelha de Elefante Africana, Orelha de Elefante Mexicana, Alagoana, Orelha de onça e palma azul são resistentes a praga.

Utilizando-se de clones resistentes, e, ou tolerantes, diversos trabalhos foram desenvolvidos considerando aspectos de manejo como: adubação, espaçamento, consórcio, etc, conforme descrito em Santos et al. (2002). Entretanto, o foco dos estudos tem tomado outra dimensão. No contexto atual, buscam-se métodos alternativos que maximizem sua produção, com destaque à prática de irrigação. Vale mencionar que trata-se de uma região em que o uso da irrigação apresenta entraves e limitações, além da escassez de dados sobre fenologia da palma forrageira na literatura, a dimensionalização do manejo da irrigação é dificultosa, pois não se conhece a exigência hídrica da cultura ao longo do seu ciclo.

A obtenção da evapotranspiração da cultura é uma indispensável ferramenta de manejo, podendo se utilizar de diversos métodos para sua medição, como dos lisímetros, micrometeorológicos, balanço de energia, balanço de água no solo, entre outros. O balanço de água no solo (BAS) é um método que nos permite computar as entradas e saídas de água num determinado volume de controle. Diversos são os trabalhos que utilizam esta metodologia, apresentando resultados satisfatórios (GHIBERTO et al., 2011; LIMA et al., 2011; EVETT et al., 2012;). Simultâneo ao

conhecimento da demanda hídrica da cultura, o estudo do desenvolvimento desta quando submetida a diferentes lâminas d'água é muito relevante, por permitir compreender como será a sua resposta a distintas condições de disponibilidade hídrica. A caracterização morfométrica das plantas e a análise de produtividade podem ser feitas a fim de verificar a expressão fenotípica das culturas, contribuindo, assim, para uma melhor compreensão dos resultados.

Do mesmo modo, informações sobre o crescimento e comportamento da cultura podem ser obtidas ao longo do tempo, utilizando a técnica de análise de crescimento das plantas. Esta técnica utiliza fórmulas e modelos matemáticos para avaliar o crescimento das plantas, sendo realizada por meio de dados de biomassa seca e área foliar, determinando indicadores de crescimento da cultura, como índices morfofisiológicos (GOMIDE & GOMIDE, 2000; BENINCASA, 2003; BARBIERI JÚNIOR, 2007). Esses índices são aqueles comumente citados na literatura: taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de crescimento relativo (TCR), taxa de assimilação líquida (TAL) e área foliar específica (AFE) (BENINCASA, 2003;).

De maneira complementar, parâmetros agrometeorológicos têm sido determinados, visando colaborar no aprimoramento do manejo de água, de modo a gerar informações sobre exigência hídrica, avaliação de desempenho e crescimento das culturas, produtividade, colheita em menores intervalos de tempo, entre outros. Alguns índices de resposta da cultura podem ser determinados com base em dados de produtividade e medições biométricas da planta (indicadores morfológicos), tendo como função demonstrar os efeitos da interação entre o ambiente e a cultura. O conhecimento das taxas de crescimento das plantas em função do seu consumo hídrico também pode ser utilizado e representa uma melhor abordagem sobre a interação planta-ambiente. Neste caso, são utilizados índices de resposta hídrica da cultura, que

são úteis para verificar a eficiência da planta, em termos de emergência e desenvolvimento de órgãos vegetativos, analisando a sua evolução para determinada quantidade de água gasta (evapotranspirada) na execução de tais processos.

Neste contexto, a determinação de outro indicador, muito importante, é a eficiência no uso de água (EUA), indispensável para a otimização dos recursos hídricos disponíveis, desempenhando um papel crucial na criação de estratégias de redução e alocação do uso de água para as culturas agrícolas (ARAYA et al., 2011; RIZZA et al., 2012). A EUA expressa a capacidade de produção de biomassa por uma determinada cultura, sob determinado consumo de água, e, ou, volume aplicado, sendo este indicador influenciado pela fase de crescimento e disponibilidade hídrica (COSTA et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; RIZZA et al., 2012).

Por fim, a análise econômica, em termos de retorno financeiro e viabilidade do empreendimento agrícola, pode ser utilizada a fim de enriquecer os resultados e tornar visíveis os benefícios financeiros da atividade agrícola, sendo a produtividade de água ou eficiência do uso de água analisada sob uma perspectiva monetária (PEREIRA et al., 2012). Indicadores como produtividade econômica da água e produtividade econômica da terra são sugeridos por Araya et al. (2011) e Pereira et al. (2012).

Considerando que não foram encontrados estudos na literatura que possibilitam a obtenção de tais resultados para a palma forrageira, a presente pesquisa contribui com o avanço de tecnologias viáveis ao seu cultivo no Semiárido brasileiro, fornecendo informações relevantes ao manejo agrícola e pecuário, de forma a contribuir significativamente para satisfazer às exigências de produtores e de pesquisadores, que objetivam potencializar a produtividade da referida cultura.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAYA, A.; STROOSNIJDER, L.; GIRMAY, G.; KEESSTRA, S. D. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.)). **Agricultural Water Management**, v.98, p.775–783, 2011.

BARBIERI JÚNIOR, D.; BRAGA, L. F.; ROQUE, C. G.; SOUSA, M. P. Análise de crescimento de *hymenaea courbaril* L. sob efeito da inoculação micorrizica e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agro ambientais**, Alta Floresta, v.5, p.1-15, 2007.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41p.

COSTA, F. S.; SUASSUNA, J. F.; MELO, A. S.; BRITO, M. E. B.; MESQUITA, E. F. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v.25, p.26-33, 2012.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C. et al. (eds). **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2005. p.105-127.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J.; HENG, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v.104, p.1-9, 2012.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, C. R.; MASCHIO, R. Consumo relativo de água pelo milho e pelo feijão-caupi, em sistema de cultivos

solteiro e consorciado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.16, n.1, p.96-106, 2008.

GARCIA, G. O.; FERREIRA, P. A.; MIRANDA, G. V.; OLIVEIRA, F. G.; SANTOS, D. B. Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. **Irriga**, v. 12, p. 307-325, 2007.

GOMIDE, C. A. M. & GOMIDE, J. A. Morfogênese de Cultivares de *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 341-348, 2000.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, v.102, p.1-7, 2011.

LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. O.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciencia Agronomica**, v.42, n. 1, p. 65-74, 2011.

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-carmin (*Dactylopius opuntiae* cockerell, 1929) na Paraíba, Brasil. **Engenharia Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL-MIN. **Nova delimitação do Semi-Árido Brasileiro**. Brasília, DF, 32p, 2005.

NASCIMENTO, J. P.; SOUTO, J. S.; SANTOS, E. S.; DAMASCENO, M. M.; RAMOS, J. P. F.; SALES, A. T.; LEITE, M. L. M. V. Caracterização morfométrica

de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.5, p.21-26, 2011.

OLIVEIRA, F. T.; SOUTO, J. S.; SILVA, R. P.; ANDRADE FILHO, F. C.; PEREIRA JÚNIOR, E. B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, p. 27-37, 2010.

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, p.39–51. 2012.

RIZZA, F.; GHASHGHAIE, J.; MEYER, S.; MATTEU, L.; MASTRANGELO, A. M.; BADECKE, F. W. Constitutive differences in water use efficiency between two durum wheat cultivars. **Field Crops Research**, v. 125, p.49–60. 2012.

SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARRUDA, G. P.; COELHO, R. S. B.; DIAS, F. M.; WARUMBY, J. F.; MELO, J. N. Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco: cultivo e utilização. Recife: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2002. 45p. (IPA Documentos).

VASCONCELOS, A.G.V.; LIRA, M.A.; CAVALCANTI, V.L.B.; SANTOS, M.V.F.; WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmin (*Dactylopius sp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.

## I CAPÍTULO

### RELAÇÕES HÍDRICO-ECONÔMICAS DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

**Resumo:** Objetivou-se determinar a evapotranspiração (ET<sub>c</sub>), o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) e indicadores de desempenho do uso de água da palma forrageira cultivada no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada, PE, durante o período de junho/2012 a junho/2013. O delineamento foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos baseados na evapotranspiração de referência e quatro repetições. A ET<sub>c</sub> foi calculada pelo método do balanço de água no solo (BAS) e o K<sub>c</sub> mediante a relação entre ET<sub>c</sub> e a evapotranspiração de referência. Em relação aos componentes do BAS, apenas a variação do armazenamento de água ( $\Delta A$ ) revelou diferença entre os tratamentos, com valores acumulados crescentes à medida que as lâminas foram superiores. A ET<sub>c</sub> e o K<sub>c</sub> da cultura apresentaram valores médios iguais a 2,69 mm dia<sup>-1</sup> e 0,52, nessa ordem. As eficiências do uso de água evapotranspirada em base fresca e seca foram, em média, de 14,02 kg MV m<sup>-3</sup> e 0,87 kg MS m<sup>-3</sup>, respectivamente. A produtividade econômica de água foi de 5,50 US\$ m<sup>-3</sup>, indicando retorno econômico bruto de 5,50 dólares para cada m<sup>-3</sup> de água fornecida à cultura (P+I).

**Termos para indexação:** consumo hídrico, *Opuntia* sp., viabilidade econômica, Eficiência no uso de água

## HYDRO-ECONOMIC RELATIONS OF FORAGE CACTUS CULTIVATED IN SEMIARID ENVIRONMENT

**Abstract:** This study aimed to determine the evapotranspiration (ET<sub>c</sub>), crop coefficient (K<sub>c</sub>), and water use performance indicators of forage cactus grown in the Brazilian Semiarid. The experiment was conducted in Serra Talhada, from June/2012 to June/2013. The design was a randomized block with five treatments based on reference evapotranspiration in four replications. The ET was calculated using the soil water balance method (SWB) and K<sub>c</sub> by the relationship between ET<sub>c</sub> and reference evapotranspiration. Regarding the components of the SWB, only the soil water storage variation ( $\Delta A$ ) revealed differences between treatments with increasing accumulated values as the water depths increased. The ET<sub>c</sub> and K<sub>c</sub> culture showed values equal to 2.69 mm day<sup>-1</sup> and 0.52, in that order. The evapotranspired water use efficiencies on fresh and dry basis were on average, 14.02 kg GM m<sup>-3</sup> and 0.87 kg DM m<sup>-3</sup>, respectively. The water economic productivity was 5,50 US\$ m<sup>-3</sup>, indicating a gross economic return of 5,50 dollars for each m<sup>-3</sup> of water supplied to the culture (P+I).

**Index terms:** Water consumption, *Opuntia stricta*, economic viability, water use efficiency.

## **Introdução**

A sazonalidade dos elementos climáticos inter e intra-anual nas regiões áridas e semiáridas faz com que a produção de forragem torne-se um desafio constante para agricultores e pecuaristas na busca por segurança alimentar (Leite, 2009; Dubeux Júnior et al., 2010), sendo necessário o uso de estratégias de manejo e de produção das culturas agrícolas, principalmente no tocante ao uso de irrigação suplementar para complementar as chuvas no período de estiagem, e o uso de espécies resistentes ao déficit hídrico.

A palma forrageira apresenta características anatomorfo-fisiológicas que lhe confere boa adaptação em ambiente semiárido, com potencial para armazenamento hídrico. Esta cultura possui alta eficiência no uso de água e destaca-se pela grande produção de fitomassa de valor energético, tornando mínimo o efeito da estacionalidade da produção de forragens (Dubeux Júnior et al., 2010; Ramos et al., 2011). Embora seja uma prática incipiente no Nordeste, a irrigação dos palmais é uma técnica de elevada importância, em decorrência das limitações edafoclimáticas e hídricas existentes nesta região. Para sua implementação, esta técnica necessita de informações sobre as exigências hídricas da cultura, a qual depende inteiramente da demanda atmosférica, do conteúdo de água presente no solo e da resistência da planta quanto à perda de água para o ambiente (Campos et al., 2008; Silva et al., 2011a).

A partir dos dados de evapotranspiração da cultura, é possível determinar o consumo total de água requerida pela planta, auxiliando na decisão de quando e quanto irrigar. Esta informação contribui com o planejamento agrícola, mediante o incremento da produtividade de culturas e aumento dos lucros, de modo a reduzir os custos com consumo hídrico e energético (Campos et al., 2008; Silva et al., 2011a; Payero et al., 2013).

Existem diversos métodos para determinação direta e indireta da evapotranspiração da cultura (Li et al., 2008; Payero & Irmak, 2008; Billesbach, 2011; Silva et al., 2011b). O método do balanço de água no solo fornece importantes informações sobre o manejo da cultura, uma vez que revela as características da interação do sistema solo-planta-atmosfera (Ghiberto et al., 2011). Para sua determinação, são necessárias medições precisas da variação no armazenamento de água no solo ao longo do tempo, da irrigação e precipitação, além da quantificação dos escoamentos e fluxos de água no solo em um volume de controle (Ghiberto et al., 2011; Evett et al., 2012).

No entanto, além de se conhecer a demanda hídrica da cultura, faz-se necessário determinar sua eficiência produtiva, uma vez que os recursos hídricos, por vezes, são escassos. Assim, indicadores de eficiência do uso de água são os parâmetros mais empregados na quantificação da produtividade obtida pela cultura em função de um volume de água aplicado e, ou consumido, visando reduzir as perdas e priorizar a otimização dos recursos hídricos (Araya et al., 2011; Pereira et al., 2012).

Para as regiões áridas e semiáridas, o emprego sustentável de água e o seu retorno econômico podem ser alcançados com a maximização da produtividade por unidade de água, ao invés de unidade de área (Araya et al., 2011). A avaliação dos impactos econômicos da irrigação pode ser determinada com base em indicadores de desempenho do uso de água e da produtividade da cultura (Rodrigues & Pereira, 2009; Pereira et al., 2012). Conforme Bos et al. (2005), indicadores econômicos, como produtividade econômica de água, representam o valor bruto de uma produção padrão, em função do fornecimento de água via irrigação, que por sua vez é baseado nas estimativas de evapotranspiração.

Face ao exposto, este estudo teve como objetivo determinar o consumo hídrico e o coeficiente de cultura da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, bem como indicadores de desempenho do uso de água para o sistema de produção irrigado no Semiárido brasileiro, buscando contribuir para melhoria do manejo agrícola da região.

### **Material e Métodos**

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agronômico de Pernambuco, a qual está situada no município de Serra Talhada (Lat. 7°59' S, Long. 38°15' O e Alt. 431 m). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso (EMBRAPA, 1999).

O clone de palma forrageira avaliado foi o Orelha de Elefante Mexicana IPA-200016, do gênero *Opuntia*, que é resistente à principal praga da cultura na região, denominada cochonilha do Carmin (*Dactylopius opuntiae*). O estabelecimento da cultura foi realizado em março de 2011, com plantio em sulcos, utilizando espaçamento de 1,6 x 0,40 m, e 50% do comprimento dos cladódios enterrados. O primeiro corte das plantas foi realizado durante o mês de maio de 2012, quando se iniciou o período experimental desse estudo, o qual foi finalizado em junho de 2013, deixando-se apenas os cladódios basais das plantas. O período experimental compreendeu o segundo ciclo produtivo da cultura (intervalo entre o 1º e 2º corte).

A adubação foi feita mensalmente a lanço, com a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> da formulação NPK 14-00-18, segundo recomendações do IPA. Capinas, aplicação de herbicidas, controle de pragas e de doenças foram realizadas sempre que necessário.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos baseados em lâminas de água, aplicadas de acordo com a evapotranspiração de referência, sendo elas: 0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% da ETo, em quatro

repetições. Determinou-se a ETo diariamente utilizando a equação de Penman-Monteith, parametrizada conforme o Boletim 56 da FAO, como demonstrado na Equação 1 (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{t + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

em que, ETo = evapotranspiração de referência (mm d<sup>-1</sup>); Δ = declividade da curva da pressão de saturação do vapor d'água no ar (kPa °C<sup>-1</sup>); Rn = saldo de radiação à superfície de cultivo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); G = densidade do fluxo de calor sensível no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>); t = temperatura do ar média diária (°C); u<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m de altura (m s<sup>-1</sup>); e<sub>s</sub> = pressão de saturação do vapor d'água (kPa); e = pressão parcial do vapor d'água (kPa); γ = constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>). O fluxo de calor no solo (G) é ignorado para cálculos diários, uma vez que a sua magnitude, neste caso, é relativamente pequena (Allen et al., 1998).

A aquisição de dados meteorológicos foi feita ao longo do ciclo da cultura, por meio da obtenção dos dados em uma PCD (plataforma de coleta de dados) automatizada, localizada aproximadamente a 700 m da área experimental, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os elementos meteorológicos monitorados foram precipitação pluviométrica (mm), radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), temperatura média, máxima e mínima do ar (°C), velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>) e umidade relativa do ar (%). Os elementos meteorológicos foram utilizados na determinação da ETo, que foi calculada para todo o ciclo da cultura, utilizando o programa Ref – ET (Allen et al., 2000).

Durante os primeiros 186 dias após o corte (DAC), todos os tratamentos receberam igualmente uma lâmina total de 607 mm, para uniformização da umidade

do solo na área experimental. Após esta data, iniciou-se a diferenciação das lâminas a partir da aplicação dos tratamentos. Os eventos de irrigação foram realizados por um sistema de gotejamento, com orifícios espaçados a 0,40 m e vazão média de  $1,32 \pm 0,12$  L/h, que foi acionado nas terças e sextas - feiras, no período da manhã. A irrigação foi controlada no tempo a fim de atender aos diferentes tratamentos.

Foi utilizado o método do balanço de água no solo (BAS) (Reichardt, 1985) para determinação do requerimento hídrico da palma forrageira. Foram considerados os ganhos e perdas de água por escoamento superficial e, no caso do subsuperficial, desprezíveis ou que se anulam. Assim, o BAS foi descrito por meio dos processos que compõem os termos da Equação 2.

$$P + I \pm Q_z - ET \pm \Delta H_z = 0 \quad (2)$$

em que: P = precipitação (mm); I = irrigação (mm);  $Q_z$  = Fluxo de água no solo (mm); ET = evapotranspiração real (mm) e  $\Delta H_z$  = variação do armazenamento de água do solo até a profundidade de controle (0,60 m).

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado utilizando uma sonda capacitiva (Diviner 2000<sup>®</sup>, Sentek Pty Ltda, Austrália), calibrada localmente de acordo com a metodologia citada pelo fabricante (Sentek, 2001) e descrita por outros autores, como Silva et al. (2007) e Andrade Júnior et al. (2007). Para o monitoramento, foram instalados 20 tubos de acesso no solo até a profundidade de 0,70 m, nas fileiras centrais e no centro de cada linha. As leituras foram realizadas a cada 0,10 m de profundidade nas segundas, quartas e sextas-feiras de cada semana. O balanço de água no solo foi conduzido em intervalos de 14 dias, sendo contabilizados 27 períodos até o final do experimento.

Os eventos de irrigação foram caracterizados pela aplicação das cinco diferentes lâminas de água.

O fluxo de água no solo por drenagem profunda ou ascensão capilar foi estimado a partir da equação de Darcy-Buckingham (Equação 3).

$$Q_z = -K(\theta)\nabla H \quad (3)$$

em que,  $Q_z$  = fluxo de água no solo ( $\text{mm d}^{-1}$ ) na profundidade de controle;  $K(\theta)$  = condutividade hidráulica do solo ( $\text{mm d}^{-1}$ );  $\nabla H$  = gradiente do potencial total de água no solo ( $\text{mm}^{-1}$ ).

A condutividade hidráulica e o potencial total de água no solo foram estimados por meio de equações ajustadas, baseadas em dados obtidos pela aplicação do método do perfil instantâneo, conforme utilizado por Araújo Primo (2013). Assim, para a aplicação do método, inicialmente foi preparada uma área próxima à área experimental, plana e livre de vegetação, sendo inserida uma chapa galvanizada com medições de 1,0 m de altura, 2,0 m de largura, 2,0 m de comprimento e 2 mm de espessura, até a profundidade de 0,7 m. Dentro desta área, foram instalados 8 tensiômetros, um a cada 0,10 m de profundidade. A área foi inundada até o instante em que se verificou a estabilização das leituras dos tensiômetros, sendo em seguida coberta por uma lona plástica, com intuito de evitar a evaporação da água. As medidas tensiométricas, realizadas ao longo do tempo de redistribuição de água no perfil do solo, foram utilizadas para o cálculo do potencial total de água no solo ( $\psi_t$ ) (Equação 4) e condutividade hidráulica [ $K(\theta)$ ] (Equação 5).

$$\psi_t = \alpha \exp(-\beta\theta) \quad (4)$$

em que:  $\Psi_t$  = potencial total de água;  $\alpha$  e  $\beta$  = parâmetros de ajuste da equação;  $\theta$  = conteúdo de água ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ).

$$K(\theta) = K_o e^{y(\theta - \theta_o)} \quad (5)$$

em que:  $K(\theta)$  = condutividade hidráulica do solo;  $K_o$  = condutividade hidráulica no solo saturado;  $\theta_o$  = valor da umidade de saturação;  $y$  = coeficiente angular da reta  $\text{Ln}K$  em função de  $\theta$ .

A evapotranspiração da cultura foi determinada por resíduo, isolando os termos da Equação 2. O coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) foi obtido ao longo do ciclo da cultura com base na relação entre os valores de  $ET_c$  e  $ET_o$ .

Foram determinados indicadores de desempenho do uso da água para a palma forrageira, de acordo com a metodologia sugerida por Pereira et al. (2012) e Rodrigues & Pereira (2009), sendo utilizados os seguintes indicadores:

Fração do uso Consultivo (FC): representa a relação entre a quantidade de água que foi evapotranspirada pela cultura em relação à entrada de água no sistema, via precipitação e, ou, irrigação. Indica a quantidade de água que não está mais disponível no sistema solo-planta (Equação 6).

$$FC = \frac{ET}{(P + I)} \quad (6)$$

Produtividade de água da cultura ( $PA_c$ ) ou eficiência no uso de água (EUA), que, para o caso específico da palma possuem o mesmo significado, visto que toda a parte aérea da planta é utilizada para comercialização. Estes termos traduzem a relação entre a biomassa alcançada pela cultura (em termos de matéria verde ou madeira seca)

em função de determinada lâmina de água recebida (precipitação e irrigação) (Equação 7), ou em função da água evapotranspirada pela cultura (Equação 8).

$$EUA_{(P+I)} = \frac{Y_a}{(P+I)} \quad (7)$$

$$EUA_{(ET)} = \frac{Y_a}{(P+I \pm Q \pm \Delta H_z)} \quad (8)$$

Em que:  $Y_a$  representa a produtividade alcançada em cada tratamento (Kg), sendo que o denominador da Equação 8, é constituído pelos componentes do balanço de água no solo.

A produtividade econômica de água (PEA) representa, em termos monetários (US\$), o retorno financeiro alcançado, para um determinado rendimento máximo bruto. Este pode ser caracterizado pela venda de biomassa fresca em relação a cada  $m^3$  de água fornecida à cultura (Equação 9) ou em relação ao total evapotranspirado (Equação 10).

$$PEA_{(P+I)} = \frac{\text{Valor}(Y_a)}{(P+I)} \quad (9)$$

$$PEA_{(ET)} = \frac{\text{Valor}(Y_a)}{(P+I \pm Q \pm \Delta H_z)} \quad (10)$$

Finalmente, a produtividade econômica da terra (PET) representa o retorno financeiro (US\$) da produtividade por área cultivada. Para o caso da palma forrageira, o valor da PET pode ser determinada em termos de cladódios, destinados para semente, e rendimento de matéria verde, destinada para forragem (Equações 11 e 12, respectivamente).

$$PET_{(\text{Cladódio})} = NCTm(\text{IDCP}_{O1} + \text{IDCP}_{O2} + \text{IDCP}_{O3} \dots + \text{IDCP}_n) NP_{\text{final}} \text{ValorUS\$} \quad (11)$$

em que: NCTm é o número de cladódios totais médios por planta, IDCP é o índice de distribuição dos cladódios na planta, por ordem de inserção, expresso em percentagem, NP<sub>final</sub> é o estande final da área, sendo 15625 plantas por hectare, oriundo do espaçamento adotado. Neste trabalho, foram considerados aptos para “semente”, apenas aqueles de primeira e segunda ordem, representados pelo Índice de distribuição de cladódios na planta de primeira e segunda ordem (IDCP<sub>O1</sub> e IDCP<sub>O2</sub>), devido ao seu desenvolvimento mais completo,

$$PET_{(\text{Rendimento})} = \text{RendimentoMV}(\text{ValorUS\$}) \quad (12)$$

Os valores monetários utilizados foram de US\$ 0,07 e US\$ 45,5 para os cladódios (unidade) e rendimento de matéria verde (tonelada), nesta ordem. Estes valores foram informados pelo Instituto Agrônômico de Pernambuco e por agricultores locais, considerando o preço médio de mercado igual a 1,00 US\$, sendo a conversão de moedas de R\$ 2,20 / \$ 1,00. Os valores de PEA e PET foram determinados com base nas margens brutas da cultura e de água.

Para determinação do rendimento de matéria verde e seca, em junho de 2013, aos 380 DAC, foi realizada a colheita da palma na área experimental. Nesta área, retirando-se as bordaduras, foram colhidas 22 plantas por parcela, as quais foram pesadas e feita a contabilização do número total de cladódios, para determinação do NCTm. Foi analisada uma planta por parcela (20 plantas no total), para caracterização morfológica, de modo que os cladódios foram contabilizados e identificados de acordo com suas respectivas ordens de surgimento e realizadas as análises de suas dimensões lineares: comprimento (CC), largura (LC), espessura (EC) e perímetro (PC). Foram

obtidos os números de cladódios de cada ordem, para determinação do índice de distribuição dos cladódios na planta (IDCP), o qual fornece informações sobre o percentual de cladódios por ordem de surgimento. Os cladódios foram pesados e fragmentados em fatias, colocados em sacos de papel identificados e levados para estufa de circulação forçada a 65°C até alcançarem peso seco constante. Posteriormente, estes foram pesados em balança de precisão para obtenção da matéria seca da planta.

Os dados foram submetidos à análise de variância e, em seguida, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do programa “Genética Quantitativa e Estatística Experimental” – GENES.

### **Resultados e discussão**

Os valores médios diários dos elementos meteorológicos durante o segundo ciclo produtivo da palma forrageira (junho/2012 a junho/2013), são demonstrados na Figura 1. Nota-se que a precipitação pluviométrica apresentou distribuição distinta, diferenciando-se em dois principais períodos, um durante a primeira parte do experimento, até os 230 DAC (01/06/12 a 17/01/13), em que houve eventos de chuva isolados, totalizando 52 mm. A partir de meados de janeiro, ocorreu maior número de eventos de chuva (333 mm), compreendendo o período dos 230 a 340 DAC (17/01/13 a 11/05/13), que correspondem aos meses mais chuvosos para a região. Posteriormente, sucedeu um período com apenas 8 mm de chuva, que se estendeu até o final do ciclo. A normal climatológica de precipitação pluviométrica para a região Semiárida registra em torno de 400 a 800 mm, sendo para Serra Talhada de 820 mm (UFCG/DCA, 2014). No total, a precipitação acumulada para o ciclo da cultura (380 dias) foi de 393 mm. No início do ciclo da cultura, foram observados valores de temperatura do ar e radiação solar global mais reduzidos, com valores mais elevados

de umidade relativa e menor frequência dos eventos de chuva (Figura 1). No período transcorrido entre os 120 e 320 DAC (setembro/2012 a abril/2013), os maiores valores de radiação foram observados. A velocidade do vento apresentou valor médio em torno de  $2,76 \text{ m s}^{-1}$ , com maiores médias diárias no início do período experimental (até 08/11/12, 157 DAC). A combinação destes elementos meteorológicos promoveu modificações na ETo com ampla variação ao longo do tempo, desde valores próximos a  $2 \text{ mm dia}^{-1}$  até em torno de  $7,70 \text{ mm dia}^{-1}$ .

Os resultados dos componentes do balanço de água no solo, para cada tratamento durante o ciclo produtivo da cultura, são apresentados na Tabela 1. Dentre os componentes do balanço, o  $\Delta A$  foi o que apresentou efeito significativo, evidenciando que a variação no armazenamento de água no solo é maior quando houve aumento das lâminas de irrigação aplicadas ( $p < 0,05$ ) (Tabela 1). Isso indica que o sistema armazena a água excedente, quando aplicada acima da capacidade de utilização pela cultura, evitando perdas por drenagem.

Verificou-se para as lâminas de 976, 1048 e 1096 mm, uma tendência demonstrando que quanto maior os valores de  $\Delta A$ , maiores são os valores de ET. Para as lâminas 1152 mm e 1202 mm não foi verificado este comportamento. Deste modo, os valores de  $\Delta A$  aumentaram, no entanto, a ET foi menor, permitindo inferir que, para o clone OEM, mesmo havendo água disponível no solo, ela não é usada no processo de evapotranspiração. Leite (2009) informa que uma menor disponibilidade hídrica pode levar a deficiência hídrica nos tecidos vegetais, associados a outros fatores relacionados à absorção e transporte de água nas células. No entanto, a presença de água no sistema solo não necessariamente indica que esta se encontra disponível para a planta, uma vez que sua utilização depende das características de solo, demanda atmosférica e da capacidade da planta em remover a água presente no solo.

Desta forma, é possível afirmar que, nas condições testadas, a palma forrageira não utiliza toda a água recebida para o processo de ET, e que isso não foi suficiente para promover perdas por DP, mantendo, assim, a umidade no solo mais elevada nas lâminas superiores. Como a palma forrageira não tolera solos mal drenados e muito úmidos, isto pode ser uma justificativa para as menores produtividades observadas nestas lâminas. Han e Felker (1997), analisando a espécie *Opuntia ellisiana* L., em sequeiro na região Semiárida de Kingsville, Texas, EUA, durante o quarto ano produtivo, mostraram que a variação do armazenamento de água no solo entre 15 e 135 cm de profundidade, não foi superior a 15 mm e nem inferior a 10 mm, para a estação chuvosa e seca, respectivamente, com uma precipitação acumulada de 662 mm. Estes autores ainda justificam as pequenas variações na umidade no solo, ao escoamento superficial e evaporação do solo.

A fração de uso consultivo da água (FC) não apresentou diferença entre os tratamentos, com valor médio para o ciclo igual a 0,90 (Tabela 1); isso indica que, apenas 10% da quantidade de água aplicada no sistema (P+I) não foram utilizadas no processo de ET, sendo perdida por DP ou armazenada no solo. Na literatura, a FC também é conhecida como fração de redução de água, que permite verificar as mudanças no consumo de água, sendo os valores tidos como aceitáveis para regiões de clima Semiárido entre 0,6 e 1,1 (Bos et al., 2005; Silva et al., 2011b). O valor obtido neste trabalho encontra-se na faixa ideal admitida para a região. Silva et al. (2011b) encontraram o valor médio de 0,56 para a cana-de-açúcar, ciclo soca, nas condições climáticas Semiáridas do Submédio do vale do São Francisco.

Os valores médios obtidos para a  $ETo$ , ET e  $Kc$ , ao longo do ciclo da cultura, são apresentados na Figura 2. A evapotranspiração (ET) e o coeficiente de cultura ( $Kc$ )

da palma forrageira foram determinados para a lâmina de água de 1048 mm, que representou o ponto de inflexão da produtividade da cultura.

A ET observada aumentou nos períodos iniciais de crescimento da cultura até os 129 DAC (8/10/2012), alcançando um valor máximo de 3,25 mm dia<sup>-1</sup>, com comportamento semelhante ao da ETo (Figura 2). Após este período, é observada redução da ET, chegando a 2,79 mm dia<sup>-1</sup> aos 185 DAC (4/12/2012). Santana et al. (2013) determinaram a evapotranspiração da cultura do abacaxi nas condições edafoclimáticas de Uberaba-MG, utilizando o método do balanço de água no solo em dois sistemas de irrigação (tubo gotejadores superficiais e enterrados), encontrando ET na ordem de 3,37 e 2,88 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

A partir dos 185 DAC, observa-se uma redução da ET em decorrência da redução da ETo, mesmo com a ocorrência de eventos de chuva (364 mm). Após os 292 DAC (20/03/2013), foi constatado uma redução considerável da ETo, devido ao início da estação de outono, que promoveu menores valores de radiação e temperatura do ar. Porém, os valores de ET ainda se mantiveram maiores, devido ao estágio de desenvolvimento mais avançado da cultura.

Os valores de ET obtidos neste trabalho são superiores aos reportados por Han e Felker (1997), que, estudando a espécie *Opuntia ellisiana* L, sob condições de sequeiro do Kingsville, Texas, EUA, obtiveram uma ET média em torno de 1,53 mm dia<sup>-1</sup> e 1,73 mm dia<sup>-1</sup>, quando os valores acumulados de precipitação por ano foram de 883 mm e 662 mm, respectivamente. Consoli et al. (2013), sob condições do Mediterrâneo, Sicily, Itália, encontraram o valor médio de 2,5 mm dia<sup>-1</sup>, para a palma forrageira, *Opuntia ficus-indica*, quando esta recebeu 1329,1 mm de água.

Apesar de obter valores superiores aos demais relatos científicos para a palma forrageira, vale salientar que a ET média diária dessa espécie ainda é baixa, quando

comparada com outras culturas agrícolas. Campos et al. (2008) executaram pesquisas em Petrolina, PE, com um pomar de mangueira, variedade Tommy Atkins, cultivado em condições irrigadas. Os autores determinaram a Evapotranspiração do pomar pelo método do balanço de água no solo e encontraram valores oscilando entre 3,0 e 4,0 mm dia<sup>-1</sup> entre os tratamentos aplicados, sendo que o valor de 3,6 mm dia<sup>-1</sup> foi aquele obtido para o tratamento que apresentou maior produtividade, o qual é o recomendado para a região em estudo. Já para as condições climáticas de Barbalha, CE, Bezerra et al. (2010) determinaram a evapotranspiração do algodão, cultivar BRS-200 Marrom, irrigado por aspersores, que foi estimada pelo método da Razão de Bowen, e obtiveram valores de 3,8; 5,0; 5,9 e 5,4 mm dia<sup>-1</sup>, para as respectivas fases de desenvolvimento: emergência, crescimento vegetativo, desenvolvimento reprodutivo e período de maturação, com uma ET<sub>c</sub> acumulada para o ciclo de 543,3 mm.

O comportamento do K<sub>c</sub> acompanha similarmente a variação dos valores de ET, porém com menores amplitudes. Assim, como para a ET, os maiores valores de K<sub>c</sub> também foram observados no período transcorrido até os 129 DAC. Essas alterações do K<sub>c</sub> ao longo do ciclo, são, na sua maioria, devido aos ajustes fisiológicos da cultura ao ambiente de crescimento, manifestando a capacidade de adaptação de seus órgãos vegetativos às condições variáveis de solo e clima. O maior valor observado de K<sub>c</sub>, ocorreu no final do período experimental, proporcionado por um máximo crescimento vegetativo, devido à transição do primeiro para o segundo ano produtivo, uma vez que seus incrementos produtivos são maiores no segundo ano de produção, vista a estabilidade dos cladódios mais inferiores. Atrelado a esta característica, deve-se também adicionar os efeitos do ambiente, uma vez que, neste período, registrou-se eventos de chuvas, maiores valores de umidade relativa do ar, temperaturas médias mais amenas e menor demanda atmosférica.

Os efeitos integrados dos elementos meteorológicos e da disponibilidade hídrica sobre os cladódios podem ser evidenciadas com as variações na sua emissão, enrugamento, tamanho, hidratação de tecidos, entre outros. Segundo Leite (2009), a palma forrageira, após a absorção de água devido a seus atributos anatômicos, acumula esta nos vacúolos, o que favorece a manutenção de sua turgidez em períodos mais críticos. Em decorrência disso, menores amplitudes nos valores de  $K_c$  foram observados ao longo do ciclo produtivo.

Os dados referentes à eficiência do uso de água (EUA), em base verde (MV) e em base seca (MS), nas diferentes lâminas de água, considerando as entradas (P+I) e saída (ET) de água no sistema, são observados na Figura 3. Não houve diferença entre os tratamentos aplicados ( $p > 0,05$ ) (Figura 3).

A EUA foi maior quando se considerou a lâmina evapotranspirada, uma vez que a quantidade de água evapotranspirada foi menor que a recebida via precipitação pluviométrica ou que aplicada pela irrigação. Este comportamento foi semelhante aquele constatado por Sousa et al. (2000). Os valores médios da  $EUA_{(ET)}$  durante o período analisado foram iguais a  $14,02 \text{ Kg m}^{-3}$ , para MV, e de  $0,87 \text{ Kg m}^{-3}$ , quando se considerou a MS (Figura 3). Em relação a  $EUA_{(P+I)}$ , em base fresca foi obtido o valor de  $12,1 \text{ Kg m}^{-3}$ , e em base seca de  $0,75 \text{ Kg m}^{-3}$ .

Na literatura são poucos os trabalhos que relatam a EUA da palma forrageira, com destaque para aqueles obtidos por Consoli et al. (2013), os quais verificaram valores de EUA de  $4,6 \text{ Kg MS m}^{-3}$  e  $4,4 \text{ Kg MS m}^{-3}$ , para o ano de 2009 e 2010, quando a  $ET_c$  acumulada foi de 286 mm e 252 mm, nesta ordem. Han & Felker (1997) encontraram EUA equivalentes a  $2,54 \text{ Kg MS m}^{-3}$ , no terceiro ano produtivo da cultura, e na ordem de  $3,51 \text{ Kg MS m}^{-3}$  no quarto ano. Em ambos os trabalhos, verificase que foram alcançados valores de EUA superiores aos encontrados neste trabalho,

contudo, devem-se considerar as diferentes idades dos materiais utilizados, de modo que no presente experimento, a cultura foi conduzida por apenas um ano produtivo.

Os valores aqui obtidos para EUA, para matéria seca, estão mais próximos daqueles encontrados por Araújo Primo (2013), para três clones de palma forrageira no Semiárido Pernambucano, considerando um ciclo de dois anos. O autor obteve valores de  $EUA_{(P)}$  de  $0,81 \text{ Kg MS m}^{-3}$ , durante dois anos de ciclo e em condições de sequeiro, e de  $0,91 \text{ Kg MS m}^{-3}$  com base na ET. Em relação à base fresca, os valores encontrados por este autor foram inferiores aos do presente estudo, na ordem de  $8,68 \text{ kg MV m}^{-3}$ , com referência à precipitação pluvial e  $9,71 \text{ kg MV m}^{-3}$  com referência à ET. Ramos et al. (2011) determinaram a eficiência no uso da água proveniente da chuva para a palma forrageira, cv. Italiana, em Soledade, Mesorregião do Agreste paraibano, encontrando o valor de  $0,61 \text{ Kg MS m}^{-3}$  no sistema mais adensado de plantio ( $1,0 \times 0,5 \text{ m}$ ), quando comparado ao presente estudo.

Esses valores de EUA são inferiores ao de espécies C3 e C4. Parizi et al. (2009), avaliando a cultura do milho (planta C4), com manejo de água baseado na relação entre as lâminas de irrigação e percentagens da evaporação do tanque classe A, obtiveram valores médios de EUA de  $3,29 \text{ Kg MS m}^{-3}$ , em relação ao total de água aplicado, com menores valores observados para a lâmina de 120% ( $3,0 \text{ Kg MS m}^{-3}$ ). Coelho et al. (2006), realizando o manejo de irrigação de duas cultivares de banana (planta C3), na região Norte de Minas Gerais, concluíram que o regime de irrigação baseado na ETc, com os valores de Kc fixados em 1,1, é o mais indicado, uma vez que possibilitou a obtenção de valores de EUA de  $4,93 \text{ Kg MV m}^{-3}$ , para a cultivar Prata Anã, e de  $8,88 \text{ Kg MV m}^{-3}$ , para a cultivar Grande Naine, com lâmina aplicada de 802 mm e precipitação acumulada de 1015 mm.

Os indicadores de desempenho do uso de água ( $PEA_{(P+I)}$ ,  $PEA_{(ET)}$ ,  $PET_{\text{cladódio}}$  e  $PET_{\text{rendimento}}$ ), em relação às lâminas totais de água aplicadas (precipitação e irrigação), podem ser observados nas Figuras 4 e 5. Em relação aos valores obtidos para  $PEA$ , em termos de lâminas recebidas ( $P+I$ ) e de água evapotranspirada ( $ET$ ), admitindo os ganhos brutos com o rendimento total final para cada tratamento, observa-se que não houve diferenças entre as lâminas aplicadas (Figura 4). Os valores médios obtidos para a  $PEA_{(P+I)}$  e  $PEA_{(ET)}$  foram, respectivamente, 5,50 e 6,18 US\$  $m^{-3}$ . No primeiro caso, o retorno econômico bruto do produtor foi de 5,50 US\$ por cada  $m^3$  de água aplicada. Este indicador representa a eficiência da planta em capturar água e convertê-la em produção de fotoassimilados, fato que contribui para a redução dos custos com irrigação (Pereira et al., 2012).

Araújo Primo (2013), para a região Semiárida Pernambucana, encontrou  $PEA_{(P)}$  e  $PEA_{(ET)}$  de 3,54 e 3,95 R\$  $m^{-3}$  (equivalente a 1,61 e 1,80 US\$  $m^{-3}$ , assumindo 1,00 US\$ equivalente a R\$ 2,20), para uma precipitação acumulada de 1269,1 mm e evapotranspiração real acumulada de 1056,7 mm. Araya et al. (2011) obtiveram valores médios de  $PEA_{(I)}$  variando de 0,78 US\$  $m^{-3}$  a 1,01 US\$  $m^{-3}$  para o capim teff. Teixeira et al. (2007) determinaram valores médios de  $PEA_{(P+I)}$  e  $PEA_{(ETr)}$  equivalentes a 0,49 e 0,93 US\$  $m^{-3}$  para uva de vinho e de 2,77 e 6,51 US\$  $m^{-3}$  para uva de mesa.

Em termos de produtividade econômica da terra ( $PET$ ), adotando os preços pagos por unidade de cladódio e toneladas de MV, verificou-se efeito não significativo dos tratamentos (Figura 5). Na lâmina de 1048 mm, houve um aumento dos valores de  $PET_{\text{cladódio}}$ , em decorrência do maior número de cladódios de primeira e segunda ordem, observados nesta lâmina (Figura 5). Para a  $PET_{\text{cladódio}}$ , o valor médio foi de 13.340 US\$  $ha^{-1}$ . Por sua vez, em relação à  $PET_{\text{rendimento}}$ , o valor médio observado foi

igual a 6.000 US\$ ha<sup>-1</sup>. Essa diferença entre as PET, em torno de 7.340 US\$ ha<sup>-1</sup>, deve-se ao maior valor econômico de cladódios destinados para semente.

Pereira et al. (2012) determinaram a PEA e PET para as culturas do milho e do trigo, em duas condições climáticas (normais e com alta demanda atmosférica), na região do Sudeste de Portugal. Estes autores mostraram que, para a cultura do milho, que é fortemente influenciada pela disponibilidade hídrica, os valores de PEA e PET aumentam com o acréscimo da água. Já para o trigo, a PEA diminui quando aplicada irrigação suplementar às chuvas, uma vez que é uma cultura de inverno, sendo mais exigente em termos de valores de temperatura do ar.

Vale salientar que devido ao fato dos valores de PEA e PET serem determinados em função dos preços do produto, seu valor pode oscilar de acordo com a sua oferta e demanda, e ao longo do tempo (Araya et al., 2011), sendo estes indicadores, uma ferramenta de grande importância no planejamento agrícola e na tomada de decisão por parte do produtor.

### **Conclusões**

1. A evapotranspiração acumulada para o ciclo da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016 foi de 985,77 mm, com média de 2,69 mm dia<sup>-1</sup>, e valor de coeficiente de cultura médio de 0,52. Estes valores foram obtidos durante o segundo ciclo produtivo da cultura, nas condições de solo e clima em ambiente Semiárido do Brasil, sendo irrigada por gotejamento.
2. A Eficiência no uso de água pela palma forrageira diminui com o aumento das lâminas de água aplicadas (14,02 kg MV m<sup>-3</sup> e 0,87 kg MS m<sup>-3</sup>, para ET, e de 12,1 Kg MV m<sup>-3</sup> e 0,75 Kg MS m<sup>-3</sup>, para P+I);
3. O retorno econômico da palma forrageira irrigada no Semiárido brasileiro, representada pela Produtividade Econômica da Água (5,50 US\$ m<sup>-3</sup>, P+I, e de 6,18

US\$ m<sup>-3</sup>, ET), e da PET<sub>Cladódio</sub> e PET<sub>rendimento</sub> (13340 US\$ ha<sup>-1</sup>e 6000 US\$ ha<sup>-1</sup>) são superiores aos relatos científicos para outros cultivos.

### **Agradecimentos**

À Universidade Federal de Viçosa - DEA/UFV, curso de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, pela possibilidade de realização do curso. Ao CNPq e FACEPE pelo apoio financeiro ao projeto e as bolsas de pesquisa concedidas. Ao Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, pela concessão da área experimental. À Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST/UFRPE, pela disponibilização de sua Infraestrutura durante a realização dessa pesquisa. Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido - GAS.

### **Referências**

ALLEN, R. G. **REF-ET: Reference evapotranspiration calculator**, Version 2.1. Idaho: Idaho University, 2000. 82p.

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smuth, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56.

Andrade Júnior, A.S .; Silva, C. R.; Daniel, R. Calibração de um sensor capacitivo de umidade em Latossolo Amarelo na microrregião do Litoral Piauiense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.4, p.303-307, 2007.

Araújo Primo, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de Palma forrageira no Semiárido pernambucano**. 2013. 108f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada.

Araya, A.; Stroosnijder, L.; Girmay, G.; Keesstra, S. D. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.). **Agricultural Water Management**, v.98, p.775–783, 2011.

Bezerra, J. R. C.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B.; Dias, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.625–632, 2010.

Billesbach, D. P. Estimating uncertainties in individual eddy covariance flux measurements: a comparison of methods and a proposed new method. **Agricultural and Forest Meteorology** 151 (3), 394–405. 2011.

Bos, M. G.; Burton, M. A.; Molden, D. J. Performance indicators for irrigation and drainage, In: Irrigation and drainage performance assessment, practical guidelines. Cambridge: CABI Publishing, 2005. p.26-61.

Campos, J. H. B. C.; Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Borges, C. J. R.; Soares, J. M., Moura, M. S. B.; Silva, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.2, p.150–156, 2008.

Coelho, E. F.; Costa, E. L.; Ledo, C. A. S.; Silva, S. O. Produtividade e eficiência de uso de água das bananeiras ‘Prata Anã’ e ‘Grand Naine’ sob irrigação no terceiro ciclo no Norte de Minas Gerais. **Revista Irriga**, v.11, p.460-468, 2006.

Consoli, S.; Inglese, G.; Inglese, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**,

Submitted September 18, 2012; January 31, 2013; posted ahead of print February 2, 2013. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589

Dubeux Júnior, J. C. B.; Araújo Filho, J. T.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Pessoa, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira – Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.129-135, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1999. 412p.

Evett, S. R.; Schwartz, R. C.; Casanova, J. J.; Heng, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v.104, p.1-9. 2012.

Ghiberto, P. J.; Libardi, P. L.; Brito, A. S.; Trivelin, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, v.102, p.1-7. 2011.

Han, H.; Felker, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v.36, p.133-148, 1997.

Leite, M. L. M. V. **Avaliação de clones de Palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. 2009. 186p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Li, H.; Zheng, L.; Lei, Y.; Li, C.; Liu, C.; Liu, Z.; Zhang, S. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, v.95, p.1271–1278. 2008.

Parizi, A. R. C.; Robaina, A. D.; Gomes, A. C. S.; Soares, F. C.; Ramão, C. J.; Peiter, M. X.; Calegaro, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Revista Irriga**, v.14, p. 254-267, 2009.

Payero, J. O.; Irmak, S.; Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. **Irrigation Science**, v.26, p.191–202. 2008.

Payero, J. O.; Irmak, S.; Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural Water Management**, v.129, p.31– 43, 2013.

Pereira, L. S.; Cordery, I.; Iacovides, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, v.108, p.39–51, 2012.

Ramos, J. P. A. F.; Leite, M. L. M. V.; Oliveira Júnior, S.; Nascimento, J. P.; Santo, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, v.24, p.41-48, 2011.

Reichardt, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.

Rodrigues, G. C., Pereira, L. S. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. **Biosystems Engineering**, v.103, p.536–551, 2009.

Santana, M. J.; Souza, O. P.; Camargos, A. E. V.; Andrade, J. P. R.; Coeficientes de cultura do abacaxizeiro nas condições edafoclimáticas de Uberaba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.602-607, 2013.

SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.

Silva, C. R.; Andrade Júnior, A. S.; Alves Júnior, J.; Souza, A. B.; Melo, F. B.; Coelho Filho, M. A. Calibration of a capacitance probe in a paleudult. **Revista Scientia Agrícola (Piracicaba, Braz.)**, v.64, p.636-640, 2007.

Silva, A. C.; Lima, L. A.; Evangelista, A. W. P.; Martins, C. P. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1215–1221, 2011a.

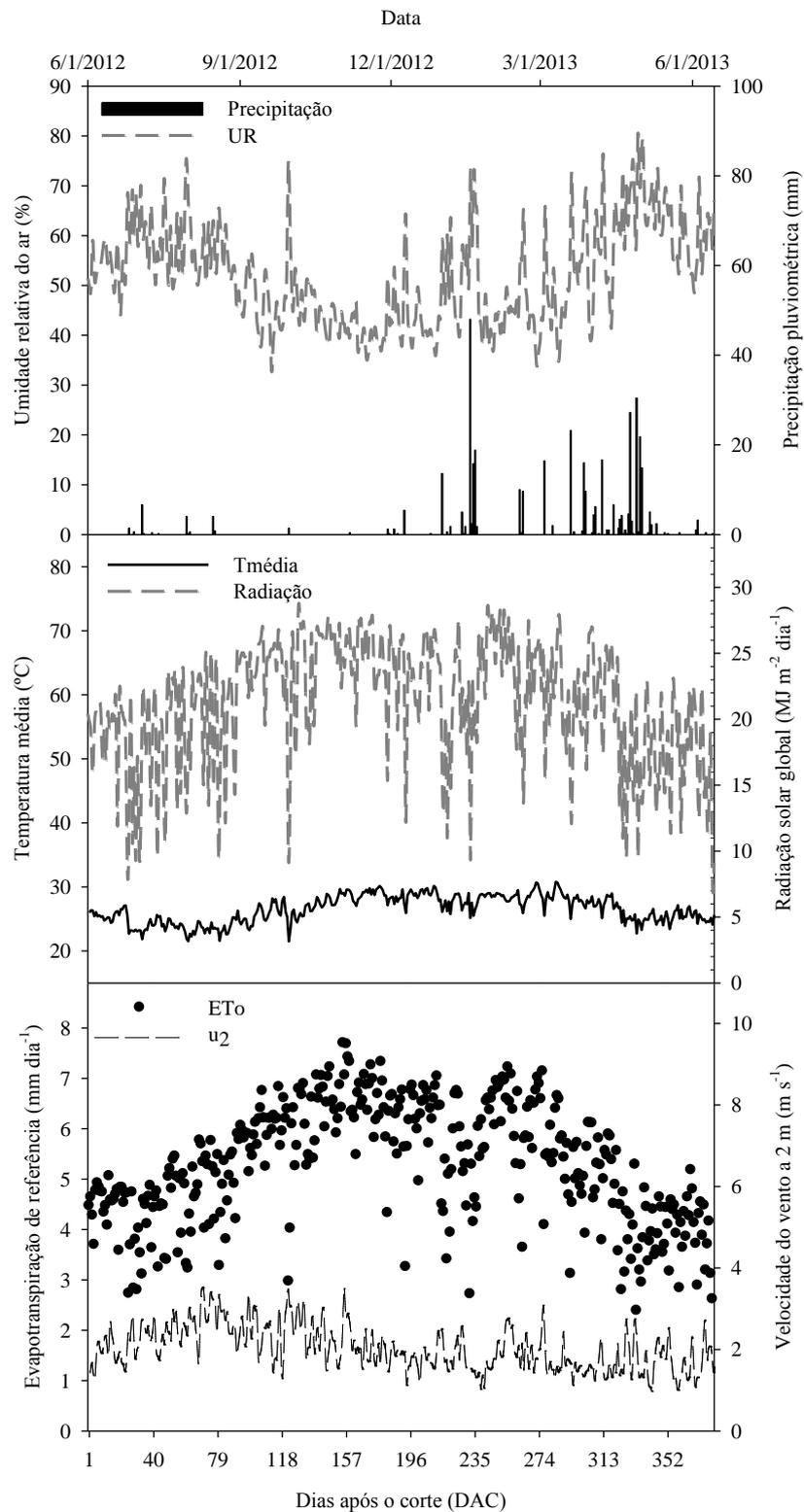
Silva, T.G. F.; Moura, M. S. B.; Zolnier, S.; Soares, J. M.; Vieira, V. J. S.; Gomes Júnior, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1257–1265, 2011b.

Sousa, V. F.; Coelho, E. F.; Andrade Júnior, A. S.; Folegatti, M. V.; Frizzzone, J. A. Eficiência do uso da água pelo Meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.4, p.183-188, 2000.

Teixeira, A. H. C.; Bastiaanssen, W. G. M.; Bassoi, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in Sao Francisco River basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 94, p.31-42, 2007.

UFCEG/DCA. Precipitação mensal - estado de Pernambuco (1911-1990). Disponível em <<http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/chuvape.htm>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

## Figuras e Tabelas

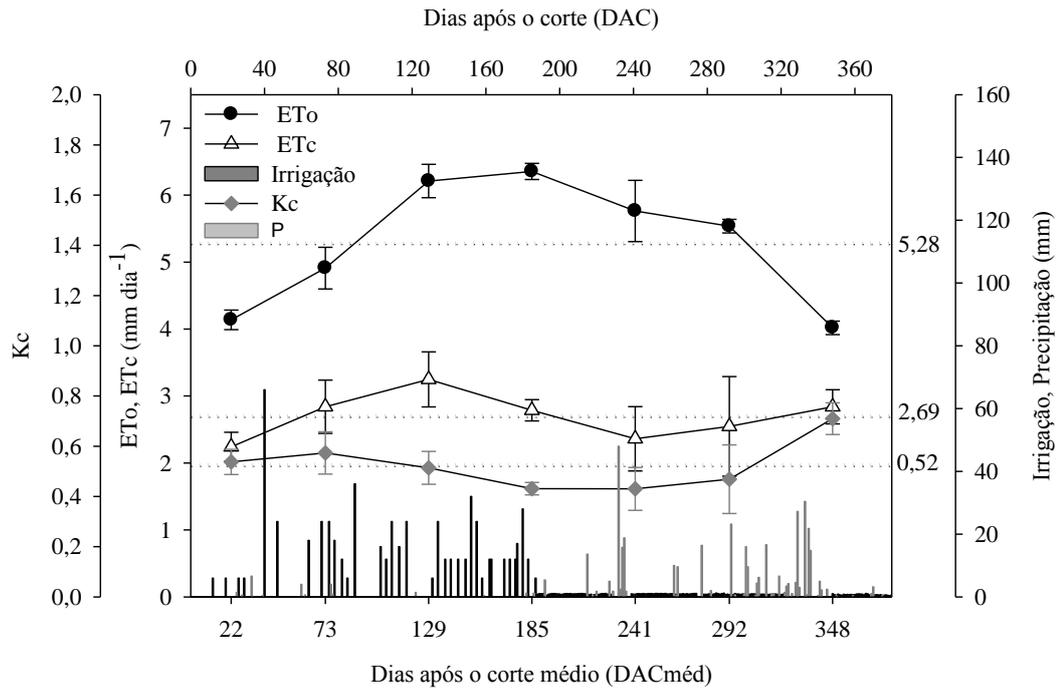


**Figura 1.** Elementos meteorológicos ao longo do período experimental do clone de Palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, irrigada, no segundo ano produtivo da cultura, em Serra Talhada - PE.

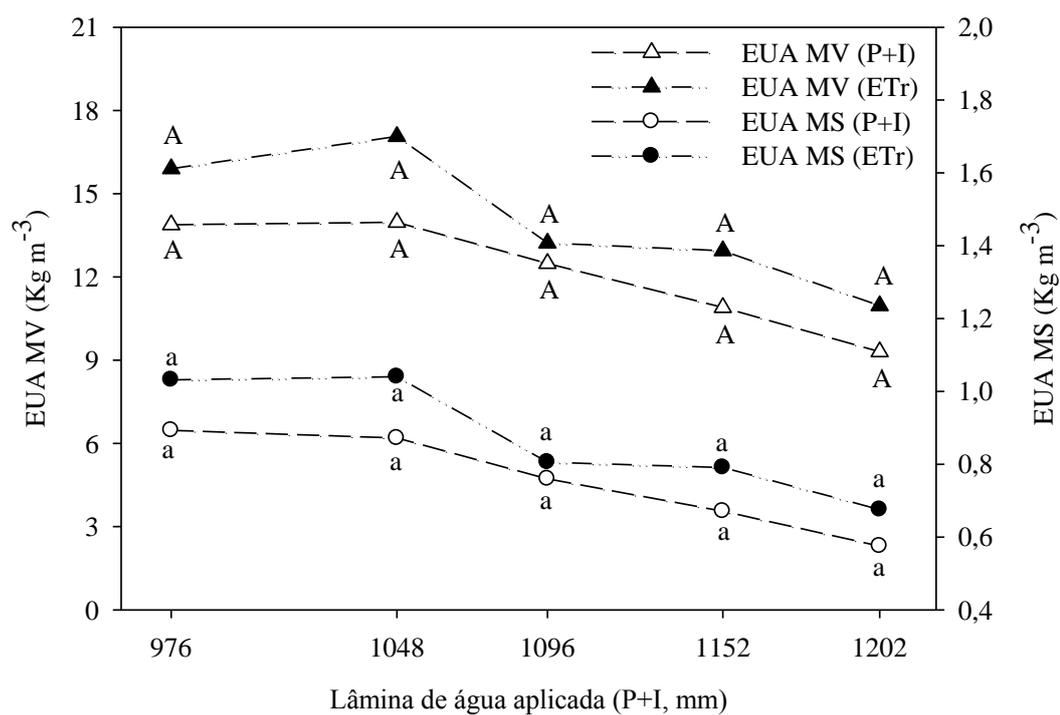
**Tabela 1** – Fração de uso Consultivo (FC), Componentes do balanço de água no solo acumulados (drenagem profunda - DP, ascensão capilar - AC, variação do armazenamento de água no solo -  $\Delta A$ , evapotranspiração real acumulada - ET) do clone de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana, submetida a diferentes lâminas de água aplicadas (P+I), nas condições Semiáridas brasileiras.

P+I mm	FC %	DP mm	AC mm	$\Delta A$ mm	ET mm
976	0,88 a	-103,97 a	0,00 a	16,37 c	855,26 a
1048	0,94 a	-37,80 a	0,00 a	23,19 bc	985,77 a
1096	0,95 a	-23,14 a	0,00 a	35,14 ab	1036,04 a
1152	0,87 a	-104,56 a	0,00 a	43,71 a	1000,58 a
1202	0,85 a	-121,83 a	0,00 a	49,79 a	1026,76 a
Média	0,90	-78,26	0,00	-	986,20

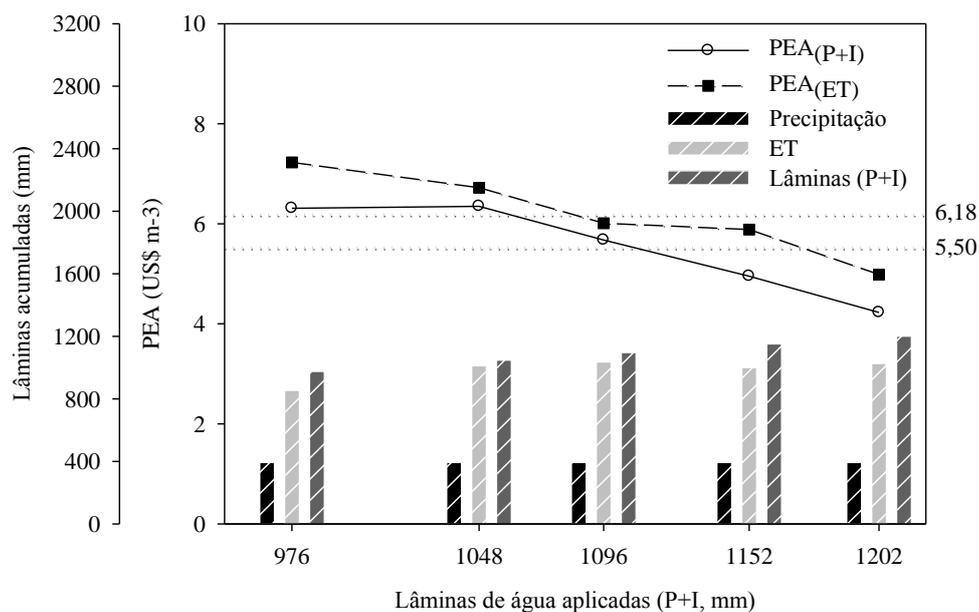
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si estatisticamente ( $P > 0,05$ ) pelo Teste de Tukey



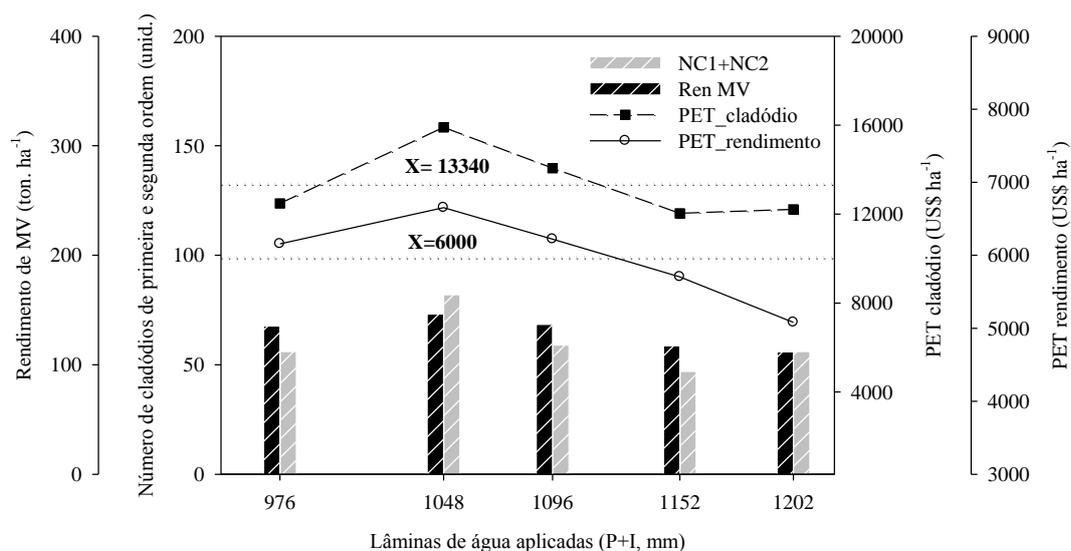
**Figura 2.** Valores médios da ETo, ETc e Kc do clone de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, ao longo do período experimental, submetida a diferentes lâminas de água no Semiárido brasileiro.



**Figura 3.** Eficiência do uso de água (Lâminas e ETr) do clone de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, aos 380 DAC, submetida a diferentes lâminas de água no Semiárido brasileiro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem (Tukey).



**Figura 4.** Produtividade econômica da água, considerando as entradas de água no sistema (P+I) e saídas (ET), em função de diferentes lâminas de água, em área cultivada com palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, aos 380 DAC, no Semiárido brasileiro.



**Figura 5.** Produtividade econômica da terra, em termos de cladódios semente e de rendimento de matéria verde para forragem, submetida a diferentes lâminas de água, em área cultivada com palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, aos 380 DAC, no Semiárido brasileiro.

## II CAPÍTULO

### PARÂMETROS PRODUTIVOS E AGROMETEOROLÓGICOS DE RESPOSTA HÍDRICA DA PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDA A DISTINTAS LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO SEMIÁRIDO

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de lâminas de água no desempenho produtivo e nos parâmetros agrometeorológicos de resposta hídrica da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016. O experimento foi conduzido de junho de 2012 a junho de 2013, durante o segundo ano produtivo da cultura, na estação experimental do IPA, Serra Talhada - PE. Aplicaram-se lâminas de água, contabilizadas ao final do ciclo em 976, 1048, 1096, 1152 e 1421 mm. Na ocasião da colheita, foram realizadas análises de dimensões lineares e de biomassa das plantas (i.e. altura e largura da planta; número de cladódios por planta; comprimento, largura, espessura, perímetro dos cladódios, etc). A evapotranspiração da cultura foi calculada pelo resíduo do balanço de água no solo. Verificou-se que as lâminas de água não influenciaram a maioria das variáveis de crescimento, assim como o desempenho produtivo, indicadores de resposta hídrica e morfológicos, e os índices morfofisiológicos ( $p > 0,05$ ). Todavia, os valores médios obtidos para os índices produtivos, a exemplo de biomassa verde e seca (131,16 e 8,18 ton. ha<sup>-1</sup>) e de variáveis de crescimento, como número de cladódios totais médios (14,13 unid.), mostraram-se superiores aos relatos de cultivos sob condições de sequeiro. Aos 380 DAC, verificou-se que os cladódios de primeira ordem são os mais representativos da planta, com valores de Índice de distribuição de cladódios e de área fotossintética de 48,50% e 48,65%, respectivamente. Em base anual, a faixa entre 1048 e 1096 mm de água fornecida à palma forrageira promove melhores respostas produtivas.

**Termos para indexação:** Índices morfofisiológicos, produtividade, *Opuntia stricta*, indicadores de resposta, evapotranspiração.

**PRODUCTIVE AND AGROMETEOROLOGICAL PARAMETERS OF  
WATER RESPONSE OF FORAGE CACTUS SUBJECTED TO DIFFERENT  
IRRIGATION LEVELS IN SEMIARID**

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the effect of water depth on productive performance and agrometeorological parameters of water response of forage cactus, cv. Orelha of Elefante Mexicana/IPA-200016. The experiment was conducted from June 2012 to June 2013 during the second productive year of the culture, the experimental station of the IPA, Serra Talhada - PE. Water depths were applied and recorded at the end of the cycle in 976, 1048, 1096, 1152 and 1421 mm. At harvest, it was carried out analysis of linear dimensions and plant biomass (i.e. number of cladodes per plant, length, width, thickness, cladodes perimeter, etc). The evapotranspiration was calculated by the residue of the soil water balance method. It was found that the water depth did not affect the majority of growth variables, as well as the productive performance, water response and morphological indicators, and Morphophysiological indices ( $p > 0.05$ ). However, the mean values obtained for the production indices, such as green and dry biomass (131.16 and 8.18 ton. ha<sup>-1</sup>) and growth variables such as average total cladodes number (14,13 unit.) showed to be superior to reports of crops under rainfed conditions. At 380 CAD, It is found that the first order cladodes are the most representative of the plant, with values of distribution index of cladodes and photosynthetic area of 48.50% and 48.65%, respectively. In annual basis, the range between 1048 and 1090 mm of water supplied to forage cactus promotes better production responses.

**Index terms:** Morphophysiological indices, productivity, *Opuntia ficus-indica*, response indicators, evapotranspiration.

## Introdução

Em ambiente Semiárido, as atividades agrícolas devem ser manejadas adequadamente, de maneira que o sistema de produção seja o mais sustentável possível. Para isso, é essencial o uso de espécies adaptadas às condições ambientais reinantes (Oliveira et al., 2010). A palma forrageira (*Opuntia sp.* e *Nopalea sp.*), por ser cactácea, possui mecanismos morfofisiológicos e anatômicos que lhes conferem boa adaptação às regiões áridas e semiáridas, com alta eficiência no uso de água, sendo tolerante a longas estiagens (Hernández et al., 2004; Dubeux Júnior et al., 2006; Bispo et al., 2007).

Pelo fato de possuir metabolismo ácido das crassuláceas e ser cultivada tradicionalmente em condições de sequeiro, muitas suposições surgem quanto a provável baixa exigência hídrica da palma forrageira. Atrelado a isso, pesquisas realizadas com esta cultura mostram que sua produtividade é inferior a outras plantas de potencial forrageiro, também utilizadas na região Nordeste, a exemplo do sorgo e do capim elefante (Oliveira, 2008). Porém, vale salientar que estas culturas não suportariam as condições adversas de clima e solo, as quais são toleráveis pela palma.

Tais considerações incentivam a realização de estudos sobre métodos que contribuam para o incremento da produtividade na cultura da palma forrageira. Dentre os diversos métodos, o uso da irrigação, como forma de suprir as exigências dessa cactácea forrageira, torna-se uma ferramenta de importância no contexto semiárido.

A resposta produtiva das culturas agrícolas é influenciada pelo suprimento hídrico, sendo uma informação indispensável para estudos econômicos da cultura, principalmente no tocante aos custos com o planejamento agrícola e a tomada de decisões, que contribuem para a maximização de lucros (Parizi et al., 2009; Costa et al., 2012). Assim, a análise do comportamento produtivo em culturas submetidas a

diferentes condições de suprimento hídrico possibilita obter informações a respeito da faixa ideal de água em que a produtividade é maximizada.

É importante salientar que a quantidade de água a ser aplicada pode ser determinada em função das condições meteorológicas e de características do solo (i.e. capacidade de água disponível). Esta metodologia, que busca definir a lâmina de água com base na evapotranspiração de referência, é utilizada em diversos trabalhos, a qual apresenta resultados satisfatórios no incremento da produção de culturas agrícolas (Meireles et al., 2009; Parizi et al., 2009; Costa et al., 2012).

Parâmetros morfofisiológicos, indicadores morfológicos e indicadores de respostas da cultura ao suprimento hídrico podem ser utilizados, a fim de verificar as relações de causa e efeito existentes entre o ambiente e a cultura. Podem ser sugeridos índices de produtividade, com base em dados de medições lineares e de fitomassa das plantas, assim como taxas de incrementos produtivos baseadas na lâmina de água evapotranspirada, com o propósito de verificar o desempenho e o comportamento da cultura. Os índices morfofisiológicos fornecem informações do crescimento da planta, utilizando dados de matéria seca acumulada e da área foliar, obtidos em intervalos de tempo regulares (Barbieri Júnior, 2007; Garcia et al., 2007; Souza et al., 2007).

Estudos direcionados ao manejo sustentável da palma forrageira, no tocante ao uso de irrigação, ainda são incipientes no Semiárido brasileiro, de modo que pesquisas nessa área são necessárias para gerar conhecimentos e aperfeiçoar o uso da água no âmbito econômico, social e ambiental. Com isso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a resposta do crescimento, da produtividade e de parâmetros agrometeorológicos da palma forrageira, cv. Orelha de elefante mexicana/IPA 200016, submetida a distintas condições de disponibilidade de água na região Semiárida.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco, a qual está localizada no município de Serra Talhada (Lat. 7°59' S, Long. 38°15' O e Alt.431 m) e na região Semiárida brasileira. Foi analisado o clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, IPA-200016 (OEM), da espécie *Opuntia stricta*, em sistema de plantio exclusivo. A área foi implantada em março de 2011, com espaçamento de 1,6 x 0,40 m. Até o início do ciclo experimental, foi realizado apenas um corte, em maio de 2012 e, posteriormente, foi feito um segundo corte em junho de 2013, preservando-se apenas os cladódios basais das plantas. Assim, o período experimental compreendeu 380 dias (DAC) do segundo ciclo produtivo, iniciado após o primeiro corte, a partir do qual foi conduzido em condições de irrigação.

O delineamento experimental empregado foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (diferentes lâminas de água) e quatro repetições (blocos), compostos por cinco parcelas de quatro fileiras com quinze plantas, totalizando 60 plantas por parcela.

A aplicação das lâminas de água foi implementada a partir de um sistema de irrigação por gotejamento, com emissores espaçados a 0,40 m, sendo posicionados a uma distância de 0,25 m das plantas. O sistema operou a uma pressão de 1,0 atm, com a vazão de gotejamento de  $1,32 \pm 0,12$  L/h. No período compreendido entre 18 e 186 DAC, foram aplicadas lâminas de assentamento e uniformização do estabelecimento da cultura, devido a distribuição irregular das chuvas no início do ciclo. Após os 186 DAC, o manejo do sistema de irrigação foi conduzido no esquema de diferenciação de lâminas, com os tratamentos referindo-se aos níveis de suprimento de água equivalentes a 0%; 8,75%; 17,5%; 26,35% e 35% da evapotranspiração de referência. A estimativa da evapotranspiração foi obtida por meio da equação de Penman-

Monteith, parametrizada conforme o Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), usando dados meteorológicos coletados por uma plataforma de coleta de dados. A estação meteorológica estava localizada a aproximadamente 700 m da área experimental, e pertence ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os elementos meteorológicos registrados foram a radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), pressão atmosférica (hPa), temperatura média, máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e umidade relativa do ar (%). Adicionalmente, foram obtidos os dados de precipitação pluviométrica (mm).

Ao longo do período experimental, a evapotranspiração da cultura (ET) foi quantificada por meio do método do balanço de água no solo (BAS), considerando os fluxos horizontais e o escoamento superficial como inexistente e, ou, nulos. A medição do conteúdo de água no solo foi realizada por uma sonda capacitiva (Diviner 2000®, Sentek Pty Ltda., Austrália), calibrada localmente, onde em cada parcela foram instalados tubos de acesso na profundidade de 0,70 m. As leituras foram conduzidas três vezes por semana (segundas, quartas e sextas-feiras), sempre antes dos eventos de irrigação. Os fluxos de água descendentes ou ascendentes foram determinados utilizando a equação de Darcy-Buckingham, sendo a irrigação representada pelas lâminas de água aplicadas e os eventos de precipitação obtidos na estação meteorológica. Assim, a ET foi calculada por resíduo.

Na ocasião da colheita, foram desprezadas as fileiras das extremidades de cada parcela, bem como as duas primeiras e as duas últimas plantas das fileiras centrais, proporcionando assim, uma parcela útil foi constituída de 22 plantas. Todas as plantas da parcela útil foram pesadas e contabilizadas quanto ao número total de cladódios por planta. Foi escolhida uma planta representativa da parcela para a realização de análises biométricas e de biomassa. Nesta, ainda em campo, foi medida a altura (AP) (maior

distância vertical entre a superfície do solo e a extremidade superior do cladódio mais alto) e largura da planta (LP) (maior largura horizontal entre cladódios das extremidades), e identificados os cladódios quanto à ordem de surgimento na planta.

Em laboratório, foram avaliados os caracteres biométricos dos cladódios da planta amostrada, a partir da qual foi realizada a contagem do número de cladódios por ordem, a medição do comprimento (CC), largura (LC) e perímetro (PC) dos cladódios com fita métrica, e, por meio de um paquímetro, determinação da espessura (EC), sendo a medição realizada no terço médio. Em seguida, os cladódios foram pesados individualmente em uma balança de precisão (Modelo ARD110, Ohaus Corporation, USA), com  $\pm 0,01$ g de precisão, para obtenção do peso fresco (PFC). Finalmente, os cladódios foram fragmentados, acondicionados em sacos de papel, e mantidos em uma estufa de circulação forçada a  $65^{\circ}\text{C}$  até se obter peso seco constante.

A matéria seca total da planta foi determinada pela soma do peso individual de todos os cladódios. Posteriormente, foi calculada a porcentagem do conteúdo de matéria seca das plantas pela relação entre a matéria seca e verde. Os dados de rendimento foram extrapolados para toneladas por hectare, usando a matéria seca da planta, o peso verde da parcela experimental e o número de plantas por hectare. Foram utilizados modelos matemáticos pré-ajustados para determinação da área dos cladódios (AC) do clone Orelha de Elefante Mexicana. Em seguida, o índice de área do cladódio (IAC), em  $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ , foi obtido por meio do produto entre os valores médios de AC por ordem, e o número total de cladódios da planta por ordem, divididos pelo espaçamento adotado (1,6 X 0,4 m).

Com os dados biométricos, de biomassa e de evapotranspiração da cultura foi proposta a estimativa de indicadores de resposta hídrica, indicadores morfológicos e de índices morfofisiológicos da palma forrageira. Os indicadores de resposta hídrica

mostram a evolução do crescimento da cultura com base em seu consumo de água. Para isso, assumiu-se a relação entre os dados biométricos, na ocasião da colheita, e os valores acumulados de evapotranspiração ao longo do ciclo da cultura.

Os indicadores morfológicos, propostos nesse estudo especificamente para a palma forrageira, utilizaram os dados biométricos dos cladódios e das plantas, assim como os dados de biomassa. O índice de cobertura do solo (ICS) representa a área de ocupação da planta, considerando a largura da planta e o espaçamento entre linhas (Equação 1).

$$ICS = 100 \left[ \left( \frac{\pi L^2}{4} \right) / \left( \frac{\pi 160^2}{4} \right) \right] \quad (1)$$

em que: L é a largura da planta, em cm e 160 representa o espaçamento entre as plantas em cm.

O índice de volume de produção (IVP) representa o volume de área de planta por produção de biomassa seca, considerando as dimensões lineares AP e LP (Equação 2).

$$IVP = \left( \frac{AP \left( \frac{\pi L^2}{4} \right) / 100}{\frac{100 MS}{15625}} \right) \quad (2)$$

em que: AP é a altura da planta, MS a matéria seca e 15625 é a população da área oriunda do espaçamento adotado.

Para verificar a contribuição dos cladódios das diferentes ordens de surgimento no IAC total da planta, foi utilizado o índice de distribuição de área fotossintética (IDAF) (Equação 3).

$$IDAF = \frac{(AC_n / NC_n 10000) / (1,6 \times 0,4)}{100IAC} \quad (3)$$

em que:  $AC_n$  e  $NC_n$  são respectivamente a área e o número de cladódios da ordem  $n$  analisada,  $IAC$  é o índice de área do cladódio, sendo que a multiplicação por 100 é para o resultado ser apresentado em termos de percentagem.

Por último, o índice de distribuição de cladódios da planta (IDCP) indica, em termos relativos, a distribuição das ordens dos cladódios ao longo da estrutura da planta (Equação 4).

$$IDCP = 100 \left( \frac{NC_n}{1 + NC1 + NC2 + NC3} \right) \quad (4)$$

Complementarmente, com os valores da matéria seca total e do  $IAC$ , foram determinados índices morfofisiológicos, como a taxa de assimilação líquida ( $TAL$ ,  $g\ m^{-2}\ mês^{-1}$ ), taxa de crescimento absoluto ( $TCA$ ,  $g\ m^{-2}\ mês^{-1}$ ) e taxa de crescimento relativo ( $TCR$ ,  $g\ g^{-1}\ mês^{-1}$ ), assim como a área foliar específica ( $AFE$ ,  $cm^2\ g^{-1}$ ). No entanto, uma vez que a palma forrageira possui cladódios ao invés de folhas, a  $AFE$  será denominada área do cladódio específica ( $ACE$ ,  $cm^2\ g^{-1}$ ). A  $TAL$  representa o saldo líquido da fotossíntese, em termos de matéria seca, resultante do que é produzido pela fotossíntese e perdido pela respiração; a  $TCA$  representa o incremento de biomassa ao longo do tempo; a  $TCR$  mostra quanto de biomassa foi produzida por unidade de biomassa existente; e a  $ACE$  reflete a espessura do cladódio, de modo que, quanto maior a  $ACE$  menor a espessura do cladódio. Esses indicadores foram calculados sem incluir a biomassa no início do ciclo da cultura. Não se considerou o peso médio do

cladódio basal, uma vez que este não foi colhido e desta forma não contribui para os valores da biomassa final.

Para comparação estatística dos dados biométricos, de biomassa, e dos índices de resposta hídrica e dos indicadores morfofisiológicos, entre as diferentes condições de disponibilidade de água, inicialmente verificou-se se os dados seguiam distribuição normal, utilizando o teste de normalidade de Lilliefors, para então proceder à análise de variância e teste de média de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa “Genética Quantitativa e Estatística Experimental” – GENES.

### **Resultados e Discussão**

Durante o período de cultivo da palma forrageira, a temperatura do ar variou entre 16,7°C (mínima) e 38,0°C (máxima), com temperatura média do ar de 26,5°C. A quantidade de água recebida via precipitação pluviométrica foi de 393 mm, com evapotranspiração de referência acumulada de 2008 mm, e média em torno de 5,3 mm dia<sup>-1</sup>. As médias da umidade relativa do ar e velocidade do vento foram de 52% e 2,1 m s<sup>-1</sup>, respectivamente. Os valores observados dos elementos meteorológicos, durante o período experimental, estão acima dos limites críticos para o desenvolvimento da cultura, com a faixas da temperatura média do ar diurna/noturna variando de 25°C a 15°C, e umidade relativa do ar acima de 40% (Santos et al., 2006).

As lâminas acumuladas de precipitação e irrigação (entradas no sistema), além da demanda atmosférica ao longo do tempo, podem ser visualizadas na Figura 1. Observa-se que até os 186 DAC, todos os tratamentos receberam valores iguais de água, totalizando 607 mm. Posteriormente, a diferenciação de lâminas teve duração de 193 dias, o que equivale a 50,8% do período total, resultando, ao final do ciclo, lâminas de água recebidas pelo sistema (somadas precipitação e irrigação) iguais a 976 mm;

1048 mm; 1096 mm; 1152 mm e 1202 mm, com diferença entre a menor e maior lâmina fornecida de apenas 226 mm.

Como consequência, as lâminas de irrigação impostas não influenciaram a maioria das variáveis biométricas da palma forrageira ( $p > 0,05$ ), sendo significativas apenas para o número e peso dos cladódios de primeira ordem (NC1 e PFC1, respectivamente) ( $p < 0,05$ ). No NC1 (Tabela 1), a lâmina de 1048 mm resultou em maiores valores em relação aos demais tratamentos, porém não se diferenciando das lâminas de 1096, 1152 e 1202 mm. No entanto, verifica-se que as diferenças observadas para o número de emissão de cladódios de primeira ordem não comprometeram a emissão daqueles de ordens superiores, visto que não houve diferença para NC2 e NC3, o que implica dizer que, com aplicação de água, a palma prioriza a emissão de cladódios de ordens posteriores (2ª e 3ª ordem) para aumentar a produção e eficiência fotossintética.

Para a variável PFC1, observou-se que apenas a lâmina de 1096 mm foi superior às demais, isto indica que, nesta lâmina, mesmo não havendo diferenças estatísticas com as demais lâminas quanto ao NC1, nesta condição de disponibilidade hídrica os cladódios tendem a possuir mais massa verde e água, reflexo do menor número de cladódios nessa ordem e o favorecimento para o armazenamento de água nos vacúolos. As variáveis PC1 e AC1, assim como o PFC1, manifestarem-se superiores na lâmina de 1096 mm em relação às demais, provavelmente devido as mesmas considerações feitas em relação a PFC1.

As diferentes lâminas de irrigação também não apresentaram efeitos sobre a densidade final de plantas por hectare, o que está associado ao fato desse clone não apresentar dificuldades quanto ao seu estabelecimento. Este resultado é confirmado

por outros autores (Leite, 2009; Sales et al., 2009), desenvolvendo estudos em condições de sequeiro.

Na análise dos índices de resposta hídrica (Tabela 2), também não foram verificados efeitos das diferentes lâminas de água sobre a maioria das variáveis, com exceção do PFC1, sendo os maiores constatados para a lâmina de 1096 mm. Tais índices possibilitam verificar a evolução dos valores observados em relação ao consumo hídrico da cultura. Assim, analisando os valores médios desses índices para a AP, LP, NC1, NC2 e NC3, verifica-se que as evoluções hídricas da AP e da LP, mesmo não apresentando diferenças entre as lâminas, apresentaram uma tendência de decréscimo de suas taxas com aumento da lâmina de água aplicada, indicando que uma maior disponibilidade hídrica reduz a capacidade de utilização de água em crescimento. Em termos de número de cladódios emitidos, a palma responde mais rapidamente à emissão daqueles de primeira e segunda ordens, mostrando que, para as suas emissões, a eficiência no uso de água é superior, aumentando o crescimento e desenvolvimento da planta.

Tais resultados mostram uma tendência decrescente das variáveis analisadas em função do aumento do consumo da água pela planta, indicando que a cultura, mesmo utilizando menores quantidades de água no processo de evapotranspiração, pode proporcionar maiores taxas de crescimentos. Esta resposta pode estar relacionada a seu metabolismo, que promove maior eficiência na utilização de água para seus processos fisiológicos, sem comprometer o seu desenvolvimento.

Destaque também deve ser dado à capacidade de plasticidade fenotípica da palma forrageira (planta MAC). Entende-se por plasticidade fenotípica a capacidade de um indivíduo modificar sua fisiologia e morfologia em resposta a variações no seu habitat. Neste experimento, tal característica funcionou como plasticidade negativa, de

modo que o aumento da disponibilidade hídrica não contribuiu para aumentos nos valores observados, refletindo que a palma forrageira, em condições de excesso hídrico, tende a reduzir seu potencial de produção de fotoassimilados, sob lâminas superiores à faixa de 1048 e 1096 mm.

Em termos produtivos, verificou-se que não houve diferenças no número de cladódios, biomassa verde e seca anual entre os distintos tratamentos, revelando que o acréscimo de irrigação não contribuiu para aumentar o rendimento da cultura. Oliveira et al. (2010) informaram que regiões com regime pluviométrico acima de 1000 mm ano<sup>-1</sup> podem resultar em baixa produtividade da cultura, provavelmente devido ao excesso hídrico local. Todavia, Hernández et al. (2004) verificaram que a irrigação suplementar não proporcionou incrementos na produção de cladódios verdes e produtividade de matéria seca, assim como nos valores de IAC. Os autores realizaram o manejo de irrigação com base em percentuais de evaporação do Tanque Classe A, acumulada semanalmente, resultando em lâminas de 740, 1060 e 1380 mm anuais, em quatro clones de palma forrageira de diferentes espécies do gênero *Opuntia*. Oliveira Júnior et al. (2009) e Ramos et al. (2011), analisando o clone italiana do gênero *Opuntia* no Semiárido paraibano, encontraram o valor médio de 11,0 cladódios aos 330 dias após plantio (DAP) e 11,5 cladódios, aos 445 DAP, respectivamente.

Leite (2009) mostra que existe uma ampla variação do conteúdo de matéria seca da palma forrageira, em função do cultivar e do manejo adotado. A média dos parâmetros produtivos encontrados no presente estudo está acima daqueles verificados por outros autores (Hernández et al., 2004; Silva et al., 2010; Nascimento et al., 2011). Com esses resultados, os benefícios produtivos do aumento da lâmina de água para a palma forrageira são mais evidentes, supostamente, em regiões com níveis

pluviométricos bastante reduzidos, em comparação com regiões onde os valores de precipitação superam 740 mm (Hernández et al., 2004).

Os indicadores morfológicos também não foram afetados pelas diferentes lâminas, conforme mostrado na Tabela 3. O ICS de 32% indica que o manejo usado não promoveu a máxima ocupação da cultura na área experimental, provavelmente por causa do excesso de água que não favoreceu o máximo crescimento das plantas e a competição entre si, em decorrência do espaçamento adotado (1,6 x 0,4 m). O IDCP, que representa a distribuição das ordens dos cladódios na planta, mostrou que, aos 380 DAC, há maior ocorrência de cladódios primários, seguidos dos secundários, basais e terciários (Tabela 3). Aos 1000 DAP, Leite (2009) encontrou cladódios distribuídos até a quinta ordem para o clone Miúda, enquanto que, para as demais variedades, a frequência do número de cladódios foi maior na ordem secundária, seguida pela terciária. Ramos et al. (2011) observaram que, independente do espaçamento adotado, os cladódios de segunda ordem predominaram em relação às demais ordens de surgimento, visto que a idade das plantas era de 445 DAP. É importante ressaltar que à medida que a planta cresce, ela estabiliza a emissão daqueles de primeira ordem e prioriza a emissão dos cladódios de ordens superiores, sendo que, neste trabalho, as plantas ainda estavam iniciando a emissão dos cladódios de terceira ordem (Tabela 1).

O índice de distribuição de área fotossintética (IDAF) fornece informações a respeito da contribuição das diferentes ordens dos cladódios no IAC total da planta, responsável pela fotossíntese. Observa-se que os cladódios de primeira ordem são aqueles com maior disponibilidade de superfície assimiladora e, como tal, são os principais responsáveis pela sustentação da planta e distribuição de nutrientes e água para os demais órgãos. Em seguida, a maior partição do IAC ocorre nos cladódios de segunda ordem, terceira ordem e basais (Tabela 3). Devido aos cladódios de terceira

ordem se apresentarem novos e pequenos, com valores de área foliar baixos, a sua contribuição ao IAC ainda é pouco expressiva, pois possuem potencial fotossintético reduzido. Verifica-se ainda que, à medida que a planta emite novas ordens de cladódios, os valores de IDAF são menores nos cladódios basais e de ordens inferiores.

Índices morfofisiológicos são indicadores que estão associados à morfofisiologia da cultura, conforme observa-se nos valores médios da TAL, TCA, TCR e ACE para o ciclo do clone Orelha de Elefante Mexicana (Figura 3). Nesses índices morfofisiológicos, também não foram constatados efeitos significativos das lâminas.

A TAL é o índice que exprime a correlação entre a área foliar e a produção de matéria seca da planta, considerada como a fotossíntese líquida, e que apresentou relação inversa ao IAC da cultura, onde nas lâminas com maior IAC ocorreram os menores valores de TAL. O resultado está associado ao auto sombreamento da cultura, uma vez que os maiores números de cladódios da planta pertencem às ordens inferiores. Essa constatação também é confirmada em estudos para outras culturas, em que o auto sombreamento das folhas promove redução nos valores da TAL (Valmorbida et al., 2007), além do fato de cladódios jovens poderem contribuir menos para fotossíntese, quando comparados a cladódios mais velhos. Condições que favorecem o aumento do IAC, como adubação, incremento de lâminas de água, densidade de plantas na área, espaçamento, e entre outros, necessariamente também contribuem para menores valores de TAL, logo que a menor área foliar estará exposta à radiação solar (Hernández et al., 2004; Pereira, 2006; Barbieri Júnior et al., 2007; Costa et al., 2012). Hernández et al. (2004) verificaram valores médios de TAL na ordem de  $44,5 \text{ g m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , para quatro clones de palma forrageira, sendo este valor inferior ao obtido neste experimento.

A TCA apresentou valor médio de  $68,01 \text{ g m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$  (Figura 3) e, diferentemente da TAL, os maiores valores foram verificados nas lâminas que apresentaram maior IAC. Isso ocorre porque a TCA é obtida considerando o incremento de matéria seca da planta entre duas amostragens, e independe do tipo de material acumulado, podendo este contribuir ou não para fotossíntese. Um maior IAC indica mais cladódios por área de solo que, com o tempo, ocasiona autossombreamento e a planta continua a ter incremento de biomassa, porém, a quantidade de tecidos fotossintéticos reduz-se em comparação a formação de tecidos de sustentação. Almeida (2011), avaliando as cultivares gigante (*Opuntia sp.*) e doce (*Nopalea sp.*) nas condições climáticas de Rafael Jambeiro - BA, submetidas a diferentes adubações (orgânica, química e orgânica+química), verificou incrementos médios de TCA de até 97% para o terceiro sistema de adubação em relação à testemunha, com todos os tratamentos apresentando taxas lineares ao longo do ciclo (900 DAP). Silva (2009), estudando a cana-de-açúcar em condições irrigadas, encontrou valores de TCA substancialmente superiores, chegando a  $41,8 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  aos 200 DAC.

A TCR mostra a velocidade no acúmulo de biomassa em relação a uma quantidade de biomassa pré-existente, e seus valores tendem a ser maiores nos estágios iniciais da cultura, devido à maior alocação de fotoassimilados para a formação das folhas, em comparação às raízes. Fato confirmado por Almeida (2011) para a palma forrageira, que encontrou maiores valores de TCR oscilando entre  $0,032 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (adubação orgânica) até  $0,035 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (orgânica+química) aos 180 DAP. Estudos sobre o crescimento da palma forrageira, utilizando índices morfofisiológicos são escassos na literatura, sendo mais facilmente encontrados para outras culturas. Como exemplo, pode ser citado o estudo conduzido por Souza et al. (2007) para a cultura do abacaxi, com a utilização de irrigação suplementar. Esta, que também é uma planta

CAM, exibiu valores de TCR e TAL inicialmente elevados, os quais decresceram ao passar dos dias, provavelmente devido à translocação dos compostos foliares para outros órgãos da planta.

A ACE, assim como a TAL, também exprime uma relação entre a produção de matéria seca e o IAC. Entretanto, este índice quantifica a distribuição de matéria seca na superfície fotossintetizante e, na grande maioria dos casos, relaciona-se inversamente com a espessura dos cladódios. Em média, seu valor foi  $13,17 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ . Assim, quanto maior for a superfície específica, maior será o investindo em área foliar, sem custo adicionais de biomassa para formação de maior área foliar. Plantas de ciclo perene tendem a ter baixa TCR e AFE, com alta capacidade de acumulação de reservas. Maior superfície específica favorece uma interceptação mais adequada da radiação fotossinteticamente ativa.

### **Conclusões**

1. As lâminas de água aplicadas não promoveram alterações significativas no crescimento e na produtividade da palma forrageira. Entretanto, os resultados mostraram uma tendência de que lâminas na faixa entre 1048 a 1090 mm, em base anual, promovem melhores respostas da cultura;
2. Os valores médios do número de cladódios, biomassa verde e seca ( $14,13 \text{ unid.}$ ;  $131,16 \text{ ton. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  e  $8,18 \text{ ton. ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , nessa ordem) foram superiores aos observados na literatura em cultivos de sequeiro;
3. É possível utilizar os índices de resposta hídrica e indicadores morfológicos, propostos neste estudo, bem como índices morfofisiológicos, a fim de se verificar o desempenho da palma forrageira, de maneira relativamente simples e exploratória;
4. Os índices de resposta hídrica da cultura, assim como o ICS e IVP, apresentaram uma tendência de decréscimo com o aumento da lâmina aplicada; os cladódios de

primeira ordem são os mais distribuídos na planta (48,50%) e aqueles que mais contribuem para o IAC total da planta (48,65%).

### **Agradecimentos**

À Universidade Federal de Viçosa - DEA/UFV, curso de Pós-graduação em Meteorologia Agrícola, pela possibilidade de realização do curso. Ao CNPq e FACEPE pelo apoio financeiro ao projeto e as bolsas de pesquisa concedidas. Ao Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, pela concessão da área experimental. À Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UAST/UFRPE, pela disponibilização de sua Infraestrutura durante a realização dessa pesquisa. Ao Grupo de Agrometeorologia no Semiárido - GAS.

### **Referências**

Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smuth, M. **Crop Evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**, Rome: FAO, 1998, 301p. Irrigation and Drainage Paper 56.

Almeida, J. **A palma forrageira na região Semiárida do estado da Bahia: diagnóstico, crescimento e produtividade**. 2011. 97p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas.

Barbieri Júnior, D.; Braga, L. F.; Roque, C. G.; Sousa, M. P. Análise de crescimento de *hymenaea courbaril* l. sob efeito da inoculação micorrizica e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agro ambientais**, v.5, p.1-15, 2007.

Bispo, S. V.; Ferreira, M. A.; Veras, A. S. C.; Batista, A. M. V.; Pessoa, R. A. S.; Bleuel, M. P. Palma forrageira em substituição ao feno de capim-elefante. Efeito sobre

consumo, digestibilidade e característica de fermentação ruminal em ovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.1902-1909, 2007.

Costa, F. S.; Suassuna, J. F.; Melo, A. S.; Brito, M. E. B.; Mesquita, E. F. crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, p.26-33, 2012.

Dubeux júnior, J. C. B.; Santos, M. V. F.; Lira, M. A.; Santos, D. C.; Farias, I.; LIMA, L. E.; Ferreira, R. L. C.; Productivity of *Opuntia ficus-indica* (L) Miller under different N and P fertilization and plant population in north- east Brasil. **Journal of Arid Enviroments**, v. 67, p. 357-372, 2006.

Garcia, G. O.; Ferreira, P. A.; Miranda, G. V.; Oliveira, F. G.; Santos, D. B. Índices fisiológicos, crescimento e produção do milho irrigado com água salina. **Revista Irriga**, v. 12, p. 307-325, 2007.

Hernández, A. F.; 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.

Leite, M. L. M. V. **Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. 2009. 186p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Meireles, R. C.; Silva, R. F. S.; Araújo, E. F.; Reis, L. S.; Lyra, G. B.; Marinho, A. B. Influência do nitrogênio e das lâminas de irrigação na qualidade fisiológica das sementes de mamoeiro. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, p.216-221, 2009.

Nascimento, J. P.; Souto, J. S.; Santos, E. S.; Damasceno, M. M.; Ramos, J. P. F.; Sales, A. T.; Leite, M. L. M. V. Caracterização morfométrica de *Opuntia ficus-indica* sob diferentes arranjos populacionais e fertilização fosfatada. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.5, p.21-26, 2011.

Oliveira, F. T. **Crescimento do sistema radicular da *Opuntia ficus indica* (L.) Mill (palma forrageira) em função de arranjos populacionais e adubação fosfatada.** 2008. 76f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Patos - PB, 2008.

Oliveira, F. T.; Souto, J. S.; Silva, R. P.; Andrade Filho, F. C.; Pereira Júnior, E.B. Palma forrageira: adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde**, v. 5, p. 27-37, 2010.

Oliveira Júnior, S.; Neto, M. B.; Ramos, J. P. F.; Leite, M. L. M. V.; Brito, E. A.; Nascimento, J. P. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.3, p.7-12, 2009.

Parizi, A. R. C.; Robaina, A. D.; Gomes, A. C. S.; Soares, F. C.; Ramão, C. J.; Peiter, M. X.; Calegari, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Revista Irriga**, v. 14, p. 254-267, 2009.

Pereira, J. B. A. **Avaliação do Crescimento, Necessidade Hídrica e Eficiência no Uso da Água pela Cultura do Pimentão (*Capsicum Annuum. L*), sob Manejo Orgânico nos Sistemas de Plantio com Preparo do Solo e Direto.** 2006. 112p.

Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ.

Ramos, J. P. F.; Leite, M. L. M. V.; Oliveira Júnior, S.; Nascimento, J. P.; Santos, E.M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 41-48, 2011.

Sales, A. T.; Andrade, A. P.; Leite, M. L. M. V.; Silva, D. S.; Viana, B. L.; Santos, E. G. Mortality index of forage cactus in the semiarid of Paraíba State - Brazil. **Acta Horticulturae**, v.811, p.401-406, 2009.

Santos, D. C.; Farias, I.; Lira, M. A.; Santos, M. V. F.; Arruda, G. P.; Coelho, R. S. B.; Dias, F. M.; Melo, J. N. **Manejo e utilização da palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) em Pernambuco**. Recife, PE: Empresa Pernambucana de Pesquisa Agropecuária, 2006 (IPA Documentos - No. 30).

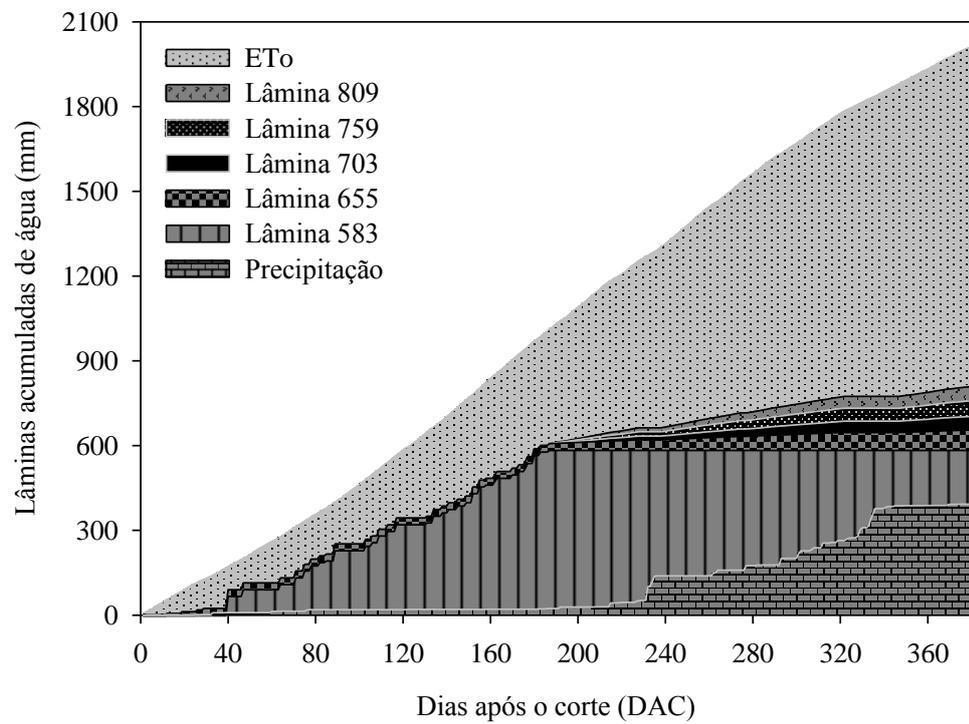
Silva, N. G. M.; Santos, M. V. F.; Dubeux Júnior, J. C. B.; Mello, A. C. L.; Silva, M. C. Relação de características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.2389-2397, 2010.

Silva, T. G. F. Análise de crescimento, interação biosfera-atmosfera e eficiência do uso de água da **cana-de-açúcar irrigada no submédio do vale do São Francisco**. 2009. 194p. Tese (Doutorado em Meteorologia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Souza, C. B.; Silva, B. B.; Azevedo, P. V. Crescimento e rendimento do abacaxizeiro nas condições climáticas dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.134-141, 2007.

Valmorbida, J.; Boaro, C. S. F. ; Scavroni, Joseane ; David, E. F. S. Crescimento de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes doses de potássio. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 9, p. 27-31, 2007.

## Figuras e Tabelas



**Figura 1.** Entradas (precipitação e irrigação) e demanda atmosférica (ETo) acumuladas, durante o segundo ciclo produtivo da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA 2000-16, nas condições Semiáridas brasileiras. ETo = Evapotranspiração de referência.

**Tabela 1.** Variáveis biométricas do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, sob diferentes lâminas de irrigação, no município de Serra Talhada, Semiárido brasileiro.

Variáveis biométricas	Unidades	976 (mm)	1048 (mm)	1096 (mm)	1152 (mm)	1202 (mm)	Média
NCT	unid.	14,7 a	15,8 a	14,4 a	12,9 a	12,8 a	14,1
AP	cm	74,0 a	72,3 a	79,3 a	73,0 a	67,0 a	73,1
LP	cm	104,0 a	96,3 a	85,0 a	78,0 a	79,8 a	88,6
NC1	unid.	6,3 b	10,8 a	7,0 ab	6,8 ab	7,5 ab	-
NC2	unid.	7,8 a	9,8 a	7,7 a	5,0 a	6,5 a	7,3
NC3	unid.	2,5 a	0,3 a	0,3 a	0,8 a	0,5 a	0,9
PFC1	g	656,0 b	581,9 b	858,0 a	572,7 b	622,7 b	-
CC1	cm	23,2 a	25,0 a	28,2 a	23,0 a	25,5 a	25,0
LC1	cm	20,7 a	20,6 a	23,6 a	20,6 a	21,4 a	21,4
EC1	mm	15,1 a	15,8 a	15,4 a	15,6 a	16,0	15,6
PC1	cm	68,1 ab	67,2 b	80,0 a	67,5 b	69,9 ab	-
PSC1	g	42,6 a	40,5 a	51,6 a	36,6 a	41,1 a	42,5
AC1	cm <sup>2</sup>	336,8 b	360,2 b	464,6 a	332,2 b	384,0 ab	-
PFC2	g	504,1 a	533,5 a	540,7 a	538,3 a	378,1 a	498,9
CC2	cm	27,1 a	28,8 a	29,6 a	26,4 a	21,0 a	26,6
LC2	cm	20,8 a	22,8 a	21,5 a	20,0 a	15,8 a	20,2
EC2	mm	9,8 a	10,3 a	10,9 a	11,8 a	9,6 a	10,4
PC2	cm	73,9 a	79,3 a	78,4 a	68,0 a	56,0 a	71,1
PSC2	g	33,5 a	35,7 a	33,3 a	35,3 a	25,0 a	32,6
AC2	cm <sup>2</sup>	405,7 a	461,0 a	448,4 a	391,7 a	312,5 a	403,9
PFC3	g	158,9 a	261,0 a	124,3 a	123,2 a	92,1 a	151,7
CC3	cm	11,6 a	8,6 a	10,0 a	7,8 a	5,7 a	8,7
LC3	cm	9,2 a	7,0 a	7,0 a	5,4 a	5,4 a	6,8
EC3	mm	4,7 a	3,8 a	3,3 a	2,5 a	2,6 a	3,4
PC3	cm	31,1 a	23,8 a	26,0 a	20,3 a	16,8 a	23,6
PSC3	g	11,6 a	16,3 a	7,8 a	7,2 a	5,5 a	9,7
AC3	cm <sup>2</sup>	152,6 a	167,4 a	122,4 a	118,4 a	85,1 a	129,2
IAC	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>	1,0 a	1,4 a	1,2 a	0,8 a	0,9 a	1,1

NTC = número total de cladódios médios por planta; AP = altura da planta; LP = largura da planta; NC1 = número de cladódios de primeira ordem; NC2 = número de cladódios de segunda ordem; NC3 = número de cladódios de terceira ordem; PFC1 = peso fresco dos cladódios de primeira ordem; CC1 = comprimento dos cladódios de primeira ordem; LC1 = largura dos cladódios de primeira ordem; EC1 = espessura dos cladódios de primeira ordem; PC1 = perímetro dos cladódios de primeira ordem; PSC1 = peso seco dos cladódios de primeira ordem; AC1 = área dos cladódios de primeira ordem; PFC2 = peso fresco dos cladódios de segunda ordem; CC2 = comprimento dos cladódios de segunda ordem; LC2 = largura dos cladódios de segunda ordem; EC2 = espessura dos cladódios de segunda ordem; PC2 = perímetro dos cladódios de segunda ordem; PSC2 = peso seco dos cladódios de segunda ordem; AC2 = área dos cladódios de segunda ordem; PFC3 = peso fresco dos cladódios de terceira ordem; CC3 = comprimento dos cladódios de terceira ordem; LC3 = largura dos cladódios de terceira ordem; EC3 = espessura dos cladódios de terceira ordem; PC3 = perímetro dos cladódios de terceira ordem; PSC3 = peso seco dos cladódios de terceira ordem; AC3 = área dos cladódios de terceira ordem; IAC = índice de área do cladódio.

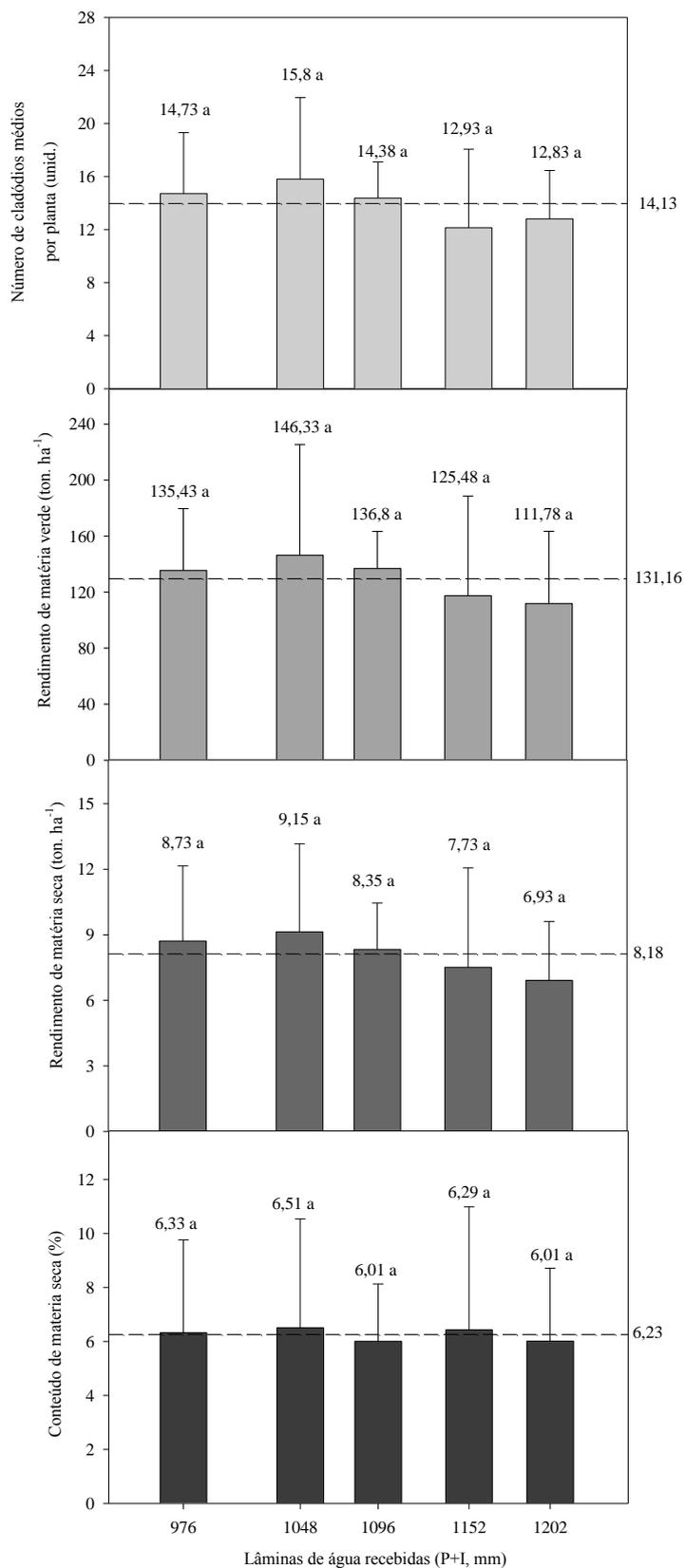
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na horizontal não diferem entre si estatisticamente ( $P > 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

**Tabela 2.** Índices de resposta hídrica de variáveis biométricas em função da evapotranspiração da palma forrageira, clone Orelha de Elefante Mexicana, sob diferentes lâminas de irrigação no município de Serra Talhada, Semiárido brasileiro.

Variáveis biométricas	Unidades	976 (mm)	1048 (mm)	1096 (mm)	1152 (mm)	1202 (mm)	Média
AP	mm mm <sup>-1</sup>	8,82 a	7,36 a	7,67 a	7,51 a	6,61 a	7,59
LP	mm mm <sup>-1</sup>	12,30 a	9,78 a	8,21 a	7,98 a	7,74 a	9,20
NC1	unid. mm <sup>-1</sup>	0,72 a	1,09 a	0,68 a	0,68 a	0,76 a	0,79
NC2	unid. mm <sup>-1</sup>	0,92 a	1,00 a	0,74 a	0,53 a	0,63 a	0,76
NC3	unid. mm <sup>-1</sup>	0,31 a	0,03 a	0,03 a	0,09 a	0,05 a	0,01
PFC1	g mm <sup>-1</sup>	0,78 ab	0,59 b	0,83 a	0,58 b	0,60 ab	-
CC1	mm mm <sup>-1</sup>	2,78 a	2,54 a	2,72 a	2,30 a	2,52 a	2,57
LC1	mm mm <sup>-1</sup>	2,46 a	2,09 a	2,28 a	2,08 a	2,10 a	2,20
EC1	mm mm <sup>-1</sup>	0,02 a	0,015 a	0,015 a	0,015 a	0,018 a	0,017
PC1	mm mm <sup>-1</sup>	8,12 a	6,80 a	7,72 a	6,80 a	6,87 a	7,26
PSC1	g mm <sup>-1</sup>	0,05 a	0,04 a	0,05 a	0,038 a	0,04 a	0,044
AC1	mm <sup>2</sup> mm <sup>-1</sup>	40,33 a	36,52 a	44,84 a	33,23 a	37,77 a	38,54
PFC2	g mm <sup>-1</sup>	0,61 a	0,54 a	0,52 a	0,57 a	0,36 a	0,52
CC2	mm mm <sup>-1</sup>	3,26 a	2,92 a	2,86 a	2,7 a	2,02 a	2,75
LC2	mm mm <sup>-1</sup>	2,5 a	2,31 a	2,08 a	2,06 a	1,49 a	2,09
EC2	mm mm <sup>-1</sup>	0,013 a	0,01 a	0,01 a	0,013 a	0,008 a	0,01
PC2	mm mm <sup>-1</sup>	8,89 a	8,01 a	7,57 a	6,97 a	5,34 a	7,36
PSC2	g mm <sup>-1</sup>	0,04 a	0,038 a	0,033 a	0,035 a	0,023 a	0,034
AC2	mm <sup>2</sup> mm <sup>-1</sup>	49,44 a	46,73 a	43,34 a	40,67 a	29,79 a	41,81
PFC3	g mm <sup>-1</sup>	0,19 a	0,27 a	0,12 a	0,14 a	0,08 a	0,16
CC3	mm mm <sup>-1</sup>	1,46 a	0,90 a	0,97 a	0,89 a	0,5 a	0,94
LC3	mm mm <sup>-1</sup>	1,17 a	0,73 a	0,68 a	0,62 a	0,47 a	0,73
EC3	mm mm <sup>-1</sup>	0,005 a	0,005 a	0,003 a	0,003 a	0,003 a	0,003
PC3	mm mm <sup>-1</sup>	3,93 a	2,47 a	2,52 a	2,31 a	1,48 a	2,54
PSC3	g mm <sup>-1</sup>	0,015 a	0,018 a	0,008 a	0,008 a	0,005 a	0,01
AC3	mm <sup>2</sup> mm <sup>-1</sup>	18,88 a	17,43 a	11,79 a	13,42 a	7,50 a	13,80

AP = altura da planta; LP = largura da planta; NC1 = número de cladódios de primeira ordem; NC2 = número de cladódios de segunda ordem; NC3 = número de cladódios de terceira ordem; PFC1 = peso fresco dos cladódios de primeira ordem; CC1 = comprimento dos cladódios de primeira ordem; LC1 = largura dos cladódios de primeira ordem; EC1 = espessura dos cladódios de primeira ordem; PC1 = perímetro dos cladódios de primeira ordem; PSC1 = peso seco dos cladódios de primeira ordem; AC1 = área dos cladódios de primeira ordem; PFC2 = peso fresco dos cladódios de segunda ordem; CC2 = comprimento dos cladódios de segunda ordem; LC2 = largura dos cladódios de segunda ordem; EC2 = espessura dos cladódios de segunda ordem; PC2 = perímetro dos cladódios de segunda ordem; PSC2 = peso seco dos cladódios de segunda ordem; AC2 = área dos cladódios de segunda ordem; PFC3 = peso fresco dos cladódios de terceira ordem; CC3 = comprimento dos cladódios de terceira ordem; LC3 = largura dos cladódios de terceira ordem; EC3 = espessura dos cladódios de terceira ordem; PC3 = perímetro dos cladódios de terceira ordem; PSC3 = peso seco dos cladódios de terceira ordem; AC3 = área dos cladódios de terceira ordem.

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na horizontal não diferem entre si estatisticamente ( $P > 0,05$ ) pelo Teste de Tukey.

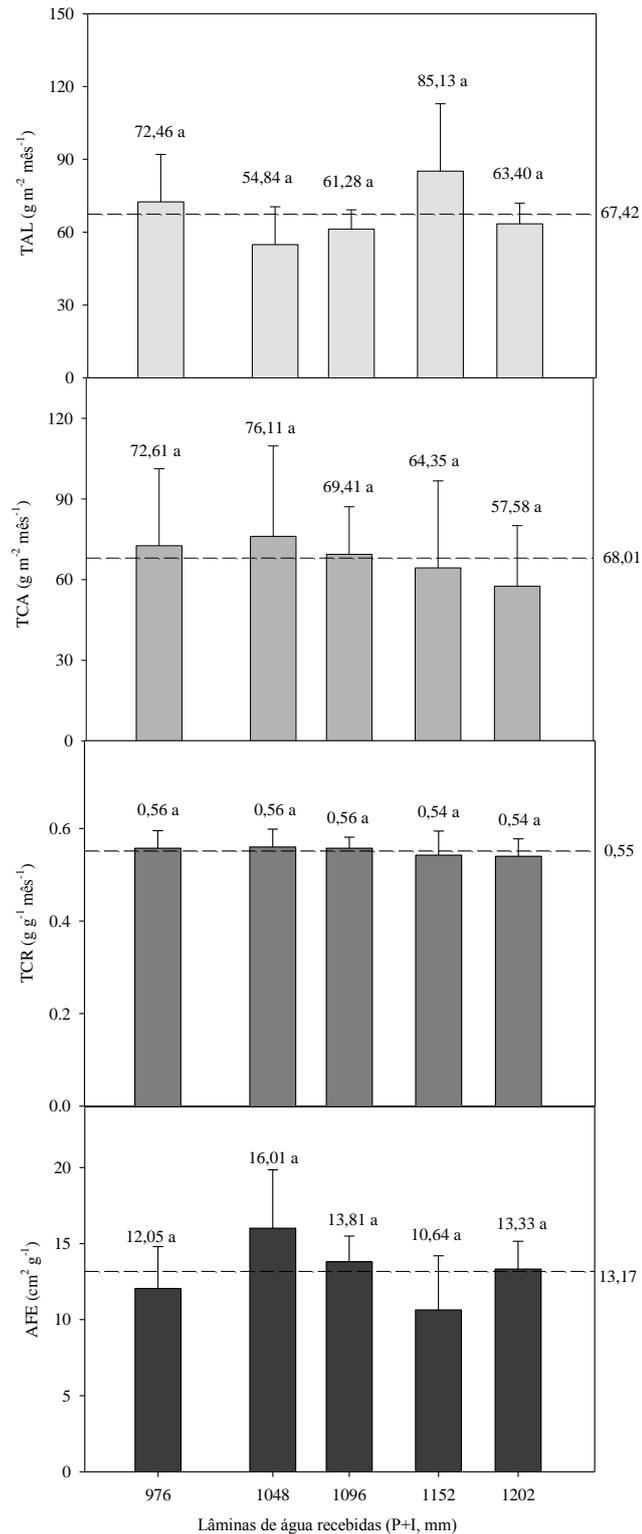


**Figura 2.** Parâmetros produtivos do clone de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA 2000-16, aos 380 DAC, sob diferentes lâminas de água no Semiárido brasileiro. Médias seguidas pela mesma letra não são significativas (Teste de Tukey). Barras verticais representam a média  $\pm$  erro padrão,  $P > 0,05$ .

**Tabela 3.** Indicadores morfológicos do clone de palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana, em Serra Talhada, Semiárido brasileiro.

Parâmetros	Unidades	976 (mm)	1048 (mm)	1096 (mm)	1152 (mm)	1202 (mm)	Média
ICS	%	43,70 a	36,91 a	28,32 a	25,96 a	25,76 a	32,13
IVP	m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup>	1,25 a	1,06 a	0,87 a	0,76 a	0,78 a	0,94
IDAF-O0	%	2,92 a	2,24 a	4,71 a	4,43 a	4,04 a	3,67
IDAF-O1	%	37,51 a	46,86 a	49,01 a	54,23 a	54,9 a	48,50
IDAF-O2	%	49,21 a	49,53 a	45,05 a	37,35 a	38,78 a	43,98
IDAF-O3	%	10,36 a	1,38 a	1,24 a	4,01 a	2,28 a	3,85
IDCP-O0	%	5,89 a	4,9 a	6,64 a	8,83 a	7,64 a	6,78
IDCP-O1	%	36,82 a	50,52 a	47,61 a	55,25 a	53,13 a	48,67
IDCP-O2	%	44,69 a	43,65 a	44,10 a	32,35 a	36,46 a	40,25
IDCP-O3	%	12,61 a	0,93 a	1,66 a	3,57 a	2,78 a	4,31

ICS = índice de cobertura do solo; IVP = índice de volume de produção IDAF-O0 = índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios basais; IDAF-O1 = índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios de primeira ordem; IDAF-O2 = índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios de segunda ordem; IDAF-O3 = índice de distribuição de área fotossintética dos cladódios de terceira ordem; IDCP-O0 = índice de distribuição dos cladódios basais da planta; IDCP-O1 = índice de distribuição dos cladódios de primeira ordem da planta; IDCP-O2 = índice de distribuição dos cladódios de segunda ordem da planta; IDCP-O3 = índice de distribuição dos cladódios de terceira ordem da planta. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na horizontal não diferem entre si estatisticamente (P>0,05) pelo Teste de Tukey



**Figura 3.** Índices morfofisiológicos do clone de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/PA 2000-16, aos 380 DAC, sob diferentes lâminas de água no Semiárido brasileiro. Médias seguidas pela mesma letra não são significativas (Teste de Tukey). Barras verticais representam a média  $\pm$  erro padrão,  $P > 0,05$ .