

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA PALMA FORRAGEIRA:
DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS COM BASE NO POTENCIAL
MATRICIAL DA ÁGUA NO SOLO**

Allan Radax Freitas Campos

**CRUZ DAS ALMAS - BA
2018**

MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA PALMA FORRAGEIRA: DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS COM BASE NO POTENCIAL MATRICIAL DA ÁGUA NO SOLO

Allan Radax Freitas Campos

Engenheiro Agrônomo

Universidade Federal da Paraíba, 2013

Mestre em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Campina Grande, 2015

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola (Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos)

Orientador: Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz

Coorientador: Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro

CRUZ DAS ALMAS - BA

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

C198m	<p>Campos, Allan Radax Freitas. Manejo de irrigação na palma forrageira: definição de critérios com base no potencial matricial da água no solo / Allan Radax Freitas Campos._ Cruz das Almas, BA, 2018. 102f.; il.</p> <p>Orientador: Vital Pedro da Silva Paz. Coorientador: Alisson Jadavi Pereira da Silva.</p> <p>Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.</p> <p>1.Irrigação – Manejo. 2.Plantas forrageiras – Cultivo. 3.Regões Áridas – Avaliação. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.</p> <p>CDD: 631.432</p>
-------	--

Ficha elaborada pela Biblioteca Universitária de Cruz das Almas – UFRB.
Responsável pela Elaboração – Antonio Marcos Sarmiento das Chagas (Bibliotecário – CRB5 / 1615).
Os dados para catalogação foram enviados pelo usuário via formulário eletrônico.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
DOUTORADO**

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA PALMA FORRAGEIRA: DEFINIÇÃO
DE CRITÉRIOS COM BASE NO POTENCIAL MATRICIAL DA ÁGUA
NO SOLO**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese de
Allan Radax Freitas Campos

Aprovada em: 05 de Novembro de 2018

Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva
Instituto Federal Baiano / IFBaiano
(Orientador)

Prof. Dr. Lucas Melo Vellame
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB
(Examinador interno)

Prof. Dr. Delfran Batista dos Santos
Instituto Federal Baiano / IFBaiano
(Examinador externo)

Prof. Dr. Aureo Silva de Oliveira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / UFRB
(Examinador interno)

Prof. Dr. Alexsandro dos Santos Brito
Instituto Federal Baiano / IFBaiano
(Examinador externo)

DEDICATÓRIA

A Minha Vó Quitéria Laurinete (in memorian)

Meu Vô Francisco das Chagas Albuquerque Leitão (in memorian)

José Willames Neves Júnior (in memorian)

Minha Homenagem

Dedico

Ao meus pais Francisco Antônio Costa Campos e Audilene Alves de Freitas Campos que deram todo amor, carinho, compreensão e suporte para vencer todas as batalhas da minha vida e por terem abdicado de muitas coisas para que esse nosso sonho se tornasse realidade.

Amo muito vocês!!!

Ofereço

Ao meu irmão Andson Freitas Campos pela amizade, compreensão e cumplicidade e grande ajuda todos esses anos.

Às minhas tias Jacinta, Siruca e Lúcia que sempre estiveram presentes em toda a minha caminhada.

À minha Vó Josefa Guilhermina por todo o seu amor e carinho comigo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que nunca me abandonou mesmo nos momentos mais difíceis sendo meu amparo e refúgio, me dando forças para essa longa jornada.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, em especial à Coordenação de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade da realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento da bolsa de estudos.

Ao CNPq pelo custeio do experimento por meio do processo 464024/2014-5, "Núcleo de pesquisa e extensão em desenvolvimento territorial do Piemonte da Diamantina-BA"

Ao meu pai Francisco Antônio e minha mãe Audilene, por todo amor e dedicação que sempre tiveram comigo. Homem e mulher pelo qual tenho maior orgulho de chamar de pai e mãe, meu eterno agradecimento pelos momentos em que estiveram ao meu lado, apoiando-me e fazendo acreditar que nada é impossível, pessoas que sigo como exemplo, dedicados, amigos, batalhadores, que abriram mão de muitas coisas para me proporcionar a realização dos meus sonhos.

Ao orientador, Prof. Dr. Vital Pedro da Silva Paz, pela sua colaboração e orientação para realização desse trabalho e durante o curso do doutorado.

Ao orientador, professor Prof. Dr. Alisson Jadavi Pereira da Silva, pelos ensinamentos, dedicação, paciência, amizade, orientação e disposição durante todo o doutorado.

Ao orientador, professor Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro, pela sua disposição, colaboração e orientação desse trabalho.

Ao IF Baiano *Campus* Senhor do Bonfim pela infraestrutura e dependências cedidas para realização da pesquisa.

A todos os meus amigos e colegas do programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRB em especial a Francisco Aiderson, Evellyn Freire, Thais, Monikuelly e Regiana.

A todos os estagiários e também amigos que auxiliaram no desenvolvimento da pesquisa destacando: Jilcelio Nunes, Mônica Gomes, Joel Antônio, Marcus e Fernanda.

A todos os professores pertencentes ao corpo docente do Pós-graduação em Engenharia Agrícola-UFRB pelos ensinamentos.

Aos examinadores por se disporem a contribuir com a melhoria deste trabalho.

EPÍGRAFE

*Eu sou voz, melodia, sou paixão
De um povo que canta sua gente
Um vaqueiro que faz o seu repente
Aboiando as coisas do sertão
Minha vida foi dentro de um curral
Desde novo sentado numa sela
No domingo ia à missa na capela
Implorar para Deus chuva mandar*

*O que eu quero na vida é ser feliz
Como quem já cumpriu sua missão
Receber qualquer um de braço aberto
Dedilhar minha vida nos meus versos
Terminar os meus dias no sertão
Eu sou verso, poema, sou canção
Sou nordestinamente brasileiro.*

(Niedson Lua)

MANEJO DE IRRIGAÇÃO NA PALMA FORRAGEIRA: DEFINIÇÃO DE CRITÉRIOS COM BASE NO POTENCIAL MATRICIAL DA ÁGUA NO SOLO

RESUMO: O uso da irrigação na palma forrageira está sendo difundida entre os produtores da região semiárida brasileira, surgindo a necessidade de adequar critérios de manejo de irrigação para a cultura. Neste trabalho, foram estudados os efeitos de estratégias de manejo de irrigação, baseada em diferentes limites críticos de potencial da água no solo ao crescimento, produtividade, evapotranspiração, eficiência do uso da água e qualidade químico-bromatológica de cinco cultivares de palma forrageira em clima semiárido. O estudo foi conduzido na área experimental do Instituto Federal Baiano, *Campus* Senhor do Bonfim, situado nas coordenadas 10°27'46"S, 40°11'27"W, região semiárida do estado da Bahia. O estudo consistiu da realização de cinco experimentos simultâneos, seguindo delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Em todos os experimentos, as fontes de variação e variáveis respostas foram as mesmas, variando-se apenas a cultivar a ser avaliada, quais sejam: 1- Orelha de Elefante, 2- IPA-Sertânia, 3-Doce, 4-Gigante e 5- Orelha de Onça. Os tratamentos construíram, para cada experimento, em critérios de manejo de irrigação, por meio da variação de limites superiores de potencial matricial: -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm e -3,00 atm, além de um tratamento testemunha, cultivado em condições de sequeiro. O presente estudo indica que o manejo de irrigação da palma forrageira pode ser realizado com base em limites críticos de potencial matricial não convencionais, uma vez que se verificou-se que mesmo quando a cultura é submetida a irrigação manejada com base em um limite crítico superior de - 3,00 atm, houve efeito positivo no crescimento e produtividade. A evapotranspiração real e a eficiência de uso da água de cultivares de palma forrageira varia em função do critério de manejo de irrigação adotado. As cultivares IPA Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de Onça tem melhor eficiência do uso da água quando manejada com base em limites superiores de potencial matricial entre -3,00 e -0,20 atm. A eficiência do uso da água da cultivar Orelha de Elefante foi mais elevada na faixa de -1,00 a -0,20 atm de potencial matricial. De particular interesse para alimentação animal foi a observação, neste projeto, de que o uso da irrigação eleva o teor de proteína bruta da palma forrageira. Independente dos valores de potencial matricial crítico na faixa de -0,20 e -3,00 atm, adotado no manejo via solo, o uso da irrigação promoverá melhorias na composição químico-bromatológica de cultivares de palma forrageira, não alterando a degradabilidade das cultivares, exceto para cultivar Orelha de Elefante.

Palavras-chave: produtividade; evapotranspiração; químico-bromatológica.

IRRIGATION MANAGEMENT IN THE FORRAGE CACTUS: DEFINITION OF CRITERIA BASED ON THE MATRIAL POTENTIAL OF WATER IN THE SOIL

ABSTRACT: The use of irrigation in the forage cactus is being diffused among the producers of the Brazilian semiarid region, appearing the need to adapt criteria of irrigation management for the crop. In this work, the effects of irrigation management strategies based on different critical limits of soil water potential on growth, productivity, evapotranspiration, water use efficiency and chemical and bromatological quality of five cultivars of forage cactus in semi-arid climate. The study was conducted in the experimental area of the Federal Institute of Bahia, Campus Senhor do Bonfim, located at the coordinates (10°27'46 "S, 40°11'27" W), the region semiarid state of Bahia. The study consisted of five simultaneous experiments, using data with four repetitions from a randomized complete block design. In all experiments, the sources of variation and response variables were the same, varying only the cultivar to be evaluated, called: 1- Orelha de Elefante, 2- IPA-Sertânia, 3-Doce, 4- Gigante e 5- Orelha de onça. For each experiment, different irrigation management criteria were established as soil treatments, based on the variation of upper limits of matric potential: -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm e -3,00 atm, in addition to a control treatment in rainfed conditions (SE), for comparative purposes. The present study indicates that irrigation management of forage cactus can be performed based on critical limits of unconventional matric potential. It was found that even when the crop is submitted to irrigation managed on the basis of a critical upper limit of - 3.0 atm, there will be a positive effect on growth and productivity. The actual evapotranspiration and water use efficiency of forage palm cultivars varies according to the adopted irrigation management court. The cultivars IPA Sertânia, Doce, Gigante and Orelha de Onça have better water use efficiency when handled based on upper limits of matrix potential between -3.00 and -0.22 atm. In the cultivar Orelha de Elefante, it was observed that the best interval is between -1.00 and -0.22 atm. Of particular interest for animal feeding was the observation, in this project, that the use of irrigation raises the crude protein content of forage cactus. Regardless of the critical potential values in the range of - 0.2 and -3 atm, adopted in soil management, the use of irrigation will promote improvements in the chemical-bromatological composition of forage palm cultivars, without altering the degradability of the cultivars, except for cultivate Orelha de Elefante.

Keywords: crop yield; evapotranspiration; chemical-bromatological.

SUMÁRIO

REVISÃO DE LITERATURA.....	11
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 Caracterização botânica e origem.....	16
2.2 Cultivares de palma forrageira.....	17
2.3 Usos e importância da palma forrageira.....	17
2.4 Importância da irrigação.....	19
2.5 Manejo de irrigação via solo.....	21
2.6 Eficiência do uso da água.....	22
2.7 Balanço de água no solo.....	23
2.8 Composição bromatológica.....	25
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
CAPÍTULO I - CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA SOB ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO....	34
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	36
INTRODUÇÃO.....	37
MATERIAL E MÉTODOS.....	39
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
CAPÍTULO II - EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA PALMA FORRAGEIRA SOB MANEJO DE IRRIGAÇÃO VIA SOLO E EM SEQUEIRO.....	60
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
INTRODUÇÃO.....	63
MATERIAL E MÉTODOS.....	64
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
CONCLUSÕES.....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
CAPÍTULO III BROMATOLOGIA E DEGRADABILIDADE DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA IRRIGADAS COM BASE EM DIFERENTES LIMITES DE POTENCIAIS MATRICIAIS.....	79
RESUMO.....	80

ABSTRACT.....	81
INTRODUÇÃO.....	82
MATERIAL E MÉTODOS.....	83
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
CONCLUSÕES.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100

REVISÃO DE LITERATURA

1. INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido brasileiro é composto por uma grande variabilidade climática. Trata-se de uma região em que os índices pluviométricos são baixos (chove em média de 350 a 700 mm/ano) e mal distribuídos. Associa-se a este padrão de precipitação, elevadas taxas de evapotranspiração, o que resulta em um alto déficit hídrico na maior parte do ano. Tais condições, demandam um planejamento estratégico na agricultura para que não ocorram perdas quantitativas e qualitativas na produção de massa verde das culturas, principalmente, no período de estiagem (Silva et al., 2015 a).

Uma das características marcante da região é a imprevisibilidade dos períodos chuvosos, tanto de forma temporal como espacial. Assim, a quantidade e a intensidade da precipitação varia no decorrer do ano e entre os anos, tornando-se difícil a tomada de decisão (Silva et al., 2013), sendo a prática da agricultura não irrigada limitada, pois a mesma convive com altos riscos, principalmente pela instabilidade climática (Dubeux Júnior et al., 2010).

Em locais inseridos no clima semiárido, uma cultura potencial, pouco estudada, mas que vem sendo adotada é a palma forrageira. A importância e a potencialidade da cultura foram reconhecidas pela Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento das regiões áridas e semiáridas, especialmente nos países em desenvolvimento, através da exploração econômica da cultura para segurança alimentar e práticas sustentáveis para o meio ambiente (Lopes, 2010).

A palma forrageira é uma cactácea de origem mexicana, rústica, tolerante e adaptada às condições de escassez hídrica. No semiárido brasileiro, essa cultura é utilizada principalmente como forragem para alimentação de ruminantes, sendo que esta planta é detentora de múltiplas utilidades: alimentação humana (hortaliça e fruta), como hospedeira da cochonilha do carmim para produção do corante, produção de biocombustíveis ou biogás, conservação e recuperação de solos, cercas vivas e paisagismo, componente de bebidas, remédios e cosméticos (Santos et al., 2013; Cushman et al., 2015).

A área plantada com palma forrageira ultrapassa 600 mil hectares no Nordeste, fazendo do Brasil um dos países com maior área cultivada do mundo (Santos et al., 2010; Marques et al., 2017). Em diversos casos representa a

principal fonte alimentar durante a estação seca, contribuindo de forma significativa no suprimento das necessidades de água pelos animais já que esta possui em média 90% de água na sua composição (Abidi et al. 2009).

Ao longo de sua evolução essa cultura adquiriu características morfofisiológicas as quais permitem uma alta eficiência do uso da água. A presença de grandes vacúolos, cutícula espessa, baixa frequência de abertura e baixa densidade estomática, células mucilaginosas, folhas modificadas, parênquima clorofiliano e do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), forma um sistema que restringe a perda de água da planta para a atmosfera (Nobel & Bobich, 2002; Cushman et al., 2015; Scalisi et al. 2016).

Apesar de toda adaptabilidade, o rendimento da palma forrageira pode ser comprometido por perdas excessivas de água para a atmosfera nos períodos de estiagem em que há ocorrência de alta evapotranspiração e déficit hídrico.

Com as reduções no conteúdo relativo de água na planta, há a diminuição da espessura do parênquima e do conteúdo de clorofila, fazendo com que o processo fotossintético seja prejudicado, resultando em oscilações no crescimento e na produtividade da cultura (Santos et al., 2013; Scalisis et al., 2016).

A utilização da irrigação suplementar na cultura da palma forrageira é uma prática recente que vem sendo utilizada de forma empírica por vários produtores da região semiárida brasileira, com o intuito de incrementar a produtividade e garantir a produção, no que diz respeito às relações hídricas.

Estudos referentes à irrigação na palma, com base em parâmetros climáticos, têm sido realizados e neles são observados ganhos na produtividade em condições de campo para diferentes regiões semiáridas, tanto para a produção de frutos (Consoli et al., 2013), quanto para produção de forragem (Flores-Hernández et al., 2004; Queiroz et al., 2015; Lima et al., 2016).

A obtenção de sucesso de qualquer sistema produtivo está diretamente ligada ao tipo de manejo empregado pelo produtor. Na irrigação, as formas de manejo comumente utilizadas são via clima e via solo. Baseado em medições do estado da água no solo (potencial matricial ou umidade), o manejo de irrigação via solo é atualmente estudado em diversas pesquisas com o principal objetivo de aperfeiçoamento dessa técnica (Létourneau et al., 2015; Contreras et al., 2017).

O manejo de irrigação geralmente faz uso da umidade na capacidade de campo como condição ótima de umidade para o desenvolvimento das plantas, de

acordo com esse conceito clássico são aplicadas lâminas de água a fim de que o solo retorne sua umidade para a capacidade de campo, correspondente ao potencial matricial de -0,33 atm, -0,1 atm e -0,06 atm para solos de textura argilosa, média e arenosa, respectivamente (Brito et al., 2011; Nolz et al., 2015; Jong van Lier, 2017).

Limites inferiores de potencial matricial para as culturas convencionais são citados na literatura na faixa entre -0,35 atm e -0,75 atm (Létourneau et al., 2015; Contreras et al., 2017; Wang et al., 2007), em que a permanência da energia de retenção da água no solo em tais valores ou abaixo resultam em danos quantitativos e qualitativos na produção.

Interpretações usuais para capacidade de campo e limites inferiores podem não ser aplicáveis à cultura da palma forrageira, já que não há necessidade da realização de irrigações que retornem o potencial matricial correspondente a capacidade de campo, visto que se trata de uma cultura com adaptações morfofisiológicas, tolerante ao déficit hídrico e capaz de absorver pequenas quantidades de água precipitada (Snyman, 2006; Cushman et al., 2015). Diante disto, o conhecimento de como a palma forrageira tem seu crescimento e produtividade afetados por diferentes potenciais matriciais é de grande importância para proposição de estratégias de manejo de irrigação, visando o melhor uso dos recursos hídricos.

Para o aumento da eficiência na aplicação de água e na produção pelo uso da irrigação faz-se necessário o entendimento do sistema solo-água-planta-atmosfera. Uma técnica bastante usada para esse propósito é o balanço hídrico que leva em consideração as entradas de água no sistema solo-planta bem como suas saídas (Moroke et al., 2011).

A relação solo-água-planta-atmosfera além de afetar o crescimento e a produtividade das plantas pode influenciar nas características bromatológicas. Na literatura há relatos de que a irrigação com lâminas reduzidas pode alterar (Yosef et al., 2009; Rostamza et al., 2011; Islam et al., 2012) ou não alterar (Simsek et al., 2011; Ul-Allah et al. 2014) o valor nutritivo de gramíneas forrageiras.

É de grande importância verificar quais alterações qualitativas que a utilização de diferentes estratégias de manejo de irrigação podem ocasionar na palma forrageira, sendo que a maneira correta para identificar os fatores responsáveis pela limitação de rendimento das culturas é a pesquisa, através da

avaliação do crescimento, desenvolvimento, produtividade e valor nutricional. Portanto, acredita-se que é possível por meio de resultados experimentais, oriundos da manutenção de potenciais de água no solo em diferentes cultivares de palma forrageira para a exploração da cultura e que proporcionem rendimentos satisfatórios.

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar o manejo de irrigação com base em diferentes limites superiores de potencial matricial no crescimento, produtividade, relações hídricas e qualidade bromatológica de cinco cultivares de palma forrageira cultivadas em clima semiárido. Os objetivos específicos foram: i) Avaliar o efeito de diferentes limites de potencial matricial nas características morfológicas e de rendimento para a obtenção de estratégias de manejo de irrigação via solo, adequada para a cultura da palma forrageira; ii) Determinar a evapotranspiração e indicadores de eficiência do uso da água para cinco cultivares de palma forrageira submetida a diferentes limites de potencial matricial do solo; iii) Avaliar a composição químico-bromatológica e a degradabilidade de cultivares de palma forrageira, submetidas ao manejo de irrigação baseado em diferentes valores limiares de potencial matricial.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização botânica e origem

A palma forrageira pertence à divisão Angiosperma, Classe Eudicotiledoneas, Ordem Caryophylliales e família Cactaceae. Nessa família, existem 178 gêneros, com mais de 2.000 espécies conhecidas (With et al., 2009). Nos gêneros *Opuntia* e *Nopalea* é que estão presentes as espécies de palma mais utilizadas como forragem.

É uma cactácea que possui adaptações morfofisiológicas para desenvolver-se em regiões áridas e semiáridas, apresentando tolerância a períodos longos de estiagem e alta eficiência no uso da água (Silva et al., 2015b), sendo uma alternativa viável para os produtores rurais, principalmente os da região do semiárido que ocupa grande parte do Nordeste brasileiro.

Estas plantas possuem um sistema radicular composto de raízes carnosas e superficiais, tendo a sua maior distribuição no plano horizontal e a sua distribuição dependente do tipo de solo e do manejo da cultura (Snyman, 2006).

As raízes responsáveis pela absorção da solução do solo chegam a atingir uma profundidade média de 30 cm (Sudzuki-Hills, 2001), com isso, a maior concentração das raízes absorventes finas está entre 10 e 20 cm de profundidade da superfície do solo, formando uma malha capaz de aproveitar precipitações leves que umedecem apenas a parte superficial do solo (Sampaio et al., 2005; Snyman, 2006).

O caule dessas plantas é formado por segmentos conhecidos como cladódios, que são suculentos com formato oblonga a estipulada-oblonga a depender da variedade, com comprimento variável de 30 a 40 cm podendo, em algumas cultivares, chegar a até 80 cm e com 15 a 30 cm de largura, com folhas modificadas (espinhos), para menor perda de água (Sampaio et al., 2005).

Em corte transversal do cladódio é possível observar a sua anatomia que é formada por: cutícula, epiderme, clorênquima (onde acumulam bastante água nos vacúolos das células desse tecido) e o parênquima. Como estratégia de sobrevivência quando estão em situação de estresse hídrico é utilizada a água armazenada no parênquima dos cladódios, sempre mantendo a hidratação do clorênquima para que seja possível a continuidade da fotossíntese (Nobel & Bobich, 2002; Santos et al., 2010; Scalisi et al., 2016).

As flores possuem coloração variando entre as tonalidades laranja e amarela, o fruto possui sabor doce, sendo suculento e comestível (cultivares Gigante e Orelha de Onça), apresentando até 10 cm de comprimento e 4 a 8 cm diâmetro, coloração variável, com diluições indo do vermelho até ao laranja, possuindo uma relação polpa/casca muito alta. As sementes são obovoladas e discóides com 3 a 4 mm de diâmetro (Scheinvar, 2001).

A palma forrageira, tanto do gênero *Opuntia* como do gênero *Nopalea*, são originários do continente americano. Pesquisas mostram que a *Opuntia* é considerada a de maior importância tanto para o consumo humano quanto para o consumo animal e possui origem no México. Em todo o mundo já foram descritas mais de 300 espécies de cactáceas pertencentes aos gêneros, apresentando distribuição desde o Canadá até a Argentina, do nível do mar a 5100 m de altitude (Oliveira et al., 2010).

2.2. Cultivares de palma forrageira

De acordo com Santos et al. (2006), a palma foi introduzida no Brasil pelos portugueses durante o período de colonização. Inicialmente, seu uso foi para produção de corantes naturais, tendo em vista a mesma servir de hospedeiro para o inseto que é responsável pela produção do corante natural (cochonilha do carmim).

Seu cultivo no Brasil para finalidade forrageira teve início no século XX, principalmente, na região nordeste, onde após a seca de 1932, o Ministério da Viação deu início à implantação de diversas áreas de propagação, desde a Bahia até o Piauí, totalizando 222 campos dessa cactácea. Essa ação é considerada como o primeiro grande trabalho de difusão da palma no Nordeste brasileiro (Duque, 2004).

A palma forrageira adaptou-se bem nas condições climáticas da Região Semiárida brasileira, por ter o seu potencial produtivo em regiões cuja temperaturas máximas variam entre 28,5 e 31,5 °C e mínimas variando de 8,6 a 20,4 °C, a média oscila entre 16,1 e 25,4 °C. A amplitude térmica é satisfatória ficando entre 10,0 e 17,2 °C. A faixa ideal de precipitação se concentra entre 368,4 mm e 812,4 mm (Bezerra et al., 2014).

No Nordeste comercialmente utiliza-se cinco cultivares de palma forrageira, do gênero *Opuntia* e *Nopalea*, havendo diferenças quanto à produção, rusticidade, resistência a estiagens e a pragas entre esses gêneros (Farias et al., 2000).

No Estado da Bahia, há predominância de três cultivares: Gigante (*Opuntia ficus-índica* (L.) Mill.); Doce (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick.) também denominada de “miúda”, e a Orelha de Onça (*Opuntia sp.*) também conhecida como “redonda”. A cultivar com maior percentual de cultivo no estado é a Gigante (57%), seguida da cultivar Doce (23%), cultivar Redonda (18%) e outras cultivares (2%) a exemplo da “Baiana”, “Orelha de elefante” e “IPA Sertânia” (Almeida, 2011).

Nos Estados de Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará há uma grande preocupação com a Cochonilha-do-Carmim (*Dactylopius opuntiae* Cockerell, 1929), agricultores e órgãos de pesquisa que buscam a utilização de genótipos que sejam resistentes a essa praga que tem devastado em larga escala os palmais no semiárido (Vasconcelos et al., 2009).

A cultivar “Gigante” (*O. ficus-indica*) tem porte do tipo ereto com o seu caule pouco ramificado. Os cladódios são grandes, com peso de até 2 kg e comprimento máximo de 50 cm. Apresenta tolerância a longos períodos de estiagem e à cochonilha de escamas (Frota et al., 2015). Quando cultivada em condições ideais é altamente produtiva, entretanto, é suscetível à cochonilha do carmim (Lopes et al., 2010; Neves et al., 2010).

A Orelha de Onça (*O. ficus-indica*) possui cladódios com peso de até 1,8 kg, com a vantagem de ser tolerante a períodos de estiagem, porém também é suscetível à cochonilha do carmim (Lopes et al., 2010; Vasconcelos et al., 2009).

A espécie *Nopalea cochinillifera* possui porte relativamente menor que as das cultivares do gênero *Opuntia*, mas com caule bem mais ramificado, sendo mais nutritiva que as demais cultivares, por apresentar maiores teores de matéria seca e carboidrato (Vasconcelos et al., 2009). Possui um fator importante que é a resistência à cochonilha do carmim, entretanto, possui uma menor resistência a períodos de estiagem. É mais exigente em fertilidade, umidade e exige temperatura noturna mais amena quando comparada as outras cultivares (Albuquerque, 2000).

Em relação à produtividade de massa verde *in natura*, a palma doce apresenta resultados inferiores às cultivares gigante e redonda. No entanto, por ter uma maior produção de matéria seca, os resultados se equivalem (Santos et al., 2006).

A cultivar Orelha de Elefante (*O. stricta*) é caracterizada por alta taxa de emissão de cladódios primários (9 a 15) e apresentar um crescimento horizontal maior do que o crescimento vertical. Entretanto, apresentam espinhos, o que dificulta seu manejo como forrageira. Seus espinhos tem a função de reduzir a troca de calor com a atmosfera, reduzindo a temperatura dos cladódios durante o dia otimizando a tolerância a períodos secos, essa característica pode provocar problemas quanto ao seu uso na alimentação animal (Neves et al., 2010).

A literatura apresenta uma grande quantidade de cultivares de palma encontradas que ainda não tem sua exploração no estado da Bahia em larga escala, são elas: Orelha de Elefante Mexicana, Italiana, Mão de Moça (clone IPA Sertânia), Palma Azul, Moradella, Formosa, Gigantona e Língua de Vaca (Gava & Lopes, 2012).

2.3. Usos e importância da palma forrageira

Desde o período pré-hispânico que o homem mexicano faz uso da palma forrageira. A utilidade dessa cultura é ampla, sendo aproveitada na alimentação humana e animal, produção de energia, medicina, cosmética, química e indústria alimentícia. Há poucas plantas com a capacidade de ser explorada e bem distribuída em áreas áridas e semiáridas (Alves et al., 2016).

A utilização em maior escala da palma é como suporte forrageiro, principalmente, para animais ruminantes. Os cladódios são ricos em carboidratos solúveis, cálcio e fósforo, com alto teor de β -caroteno, médio teor de proteína bruta e pouca fibra (Abidi et al., 2009), resultando em alto conteúdo de energia digestível. A excelente palatabilidade, bons valores nutritivos e a possibilidade de misturar com outras forragens torna a palma uma cultura estratégica para produção animal em regiões áridas e semiáridas (Gusha et al., 2015).

Em países da América Latina, México, Itália e Israel a palma é cultivada em larga escala para a produção de frutas e brotos que são empregados na alimentação humana. Com importantes elementos nutricionais na sua composição, sendo rica em vitaminas A, do complexo B e C, minerais, como cálcio, magnésio, sódio e potássio, e 17 tipos de aminoácidos, superando alimentos como a couve, a beterraba e a banana (Barbera et al., 2001; Nunes, 2011).

A palma tem sido apresentada como matéria-prima potencial para a produção de bioenergia devido ao seu uso histórico na produção de etanol, contudo, estimativas mais precisas da demanda de água das lavouras e da quantidade de combustível que pode ser produzida por unidade de área terrestre (Chusman et al., 2015).

É notável a capacidade de contribuição positiva que essa cultura tem para com a viabilização econômica de pequenas, médias e grandes propriedades, das regiões semiáridas e áridas para com a alimentação dos rebanhos e suprimento de matéria prima para a indústria (Gusha et al., 2015).

2.4. Importância da irrigação

A água é um fator essencial e limitante para a produção das culturas agrícolas, em muitas situações para a garantia de produção em relação ao estado hídrico da cultura faz-se necessário o uso da irrigação, principalmente em regiões

com clima quente e seco, onde as altas taxas de evapotranspiração excedem a precipitação durante maior parte do ano, causando déficit hídrico (Feitosa et al., 2015).

O sucesso de implantação de programas de irrigação pode elevar a produtividade (Queiroz et al., 2015), com ganhos econômicos e possibilitando o produtor modernizar cada vez mais a sua propriedade.

Para obtenção de tal sucesso, a escolha correta dos métodos e sistema de irrigação a ser utilizado, como também do manejo da irrigação a ser seguido tem fundamental importância. A falta ou escolha equivocada do manejo de irrigação é o motivo de vários casos de insucesso na agricultura irrigada (Dantas Neto & Fernandes, 2006).

Por ser uma cultura com alta tolerância à seca, a partir de toda adaptabilidade morfofisiológica, em diversas regiões é cultivada sem o uso de irrigação. Entretanto, oscilações climáticas provocam grandes variações no crescimento e produtividade da palma forrageira (Santos et al., 2013; Pereira et al., 2017), em que, períodos de estiagem causam danos fisiológicos sobre a cultura, dentre eles a fotossíntese nos cladódios é reduzida, devido as reduções no conteúdo relativo de água, espessura do parênquima e conteúdo de clorofila (Scalasis et al., 2016).

Em países do mediterrâneo e no México é comum o uso de irrigação na palma durante os longos períodos de seca, para suprir a sua necessidade de água e garantir a produtividade e sobrevivência da cultura, que é destinada principalmente à produção de frutas e alimentos humanos (Flores-Hernández et al., 2004; Castillo et al., 2006; Consoli et al., 2013).

Em seu estudo referente à estimativa de evapotranspiração diária e do coeficiente de cultura, para um pomar de palma durante dois anos, Consoli et al. (2013), afirmam que estratégias de irrigação por déficit devem ser estudadas e aplicadas para a cultura.

Ao estudarem a influência da disponibilidade hídrica e da temperatura na dinâmica de encolhimento e amplificação do cladódio na palma forrageira Scalasis et al. (2016) concluíram que em condições severas de seca o conteúdo de água do solo está diretamente relacionado com a diminuição do crescimento dos cladódios, pois após 75 dias de seca, ocorre uma redução na espessura dos tecidos do parênquima e do clorênquima em 75,0% e 55,8%, respectivamente,

sugerindo uma regulação diferencial do crescimento do cladódio dependendo do estado da água da planta.

Ao avaliarem o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação (976, 1048, 1096, 1152 e 1202 mm), com base em percentagens da evapotranspiração de referência, sobre o desempenho produtivo de palma forrageira cultivada em ambiente semiárido Queiroz et al. (2015), verificaram que não houve diferenças no número de cladódios e na produtividade de biomassa verde e seca entre os tratamentos, revelando que o aumento da irrigação não contribuiu para aumentar o rendimento da cultura. Flores-Hernández et al. (2004) também com percentagens da evapotranspiração de referência, verificaram que a irrigação suplementar (740, 1060 e 1380 mm) não proporcionou incrementos na produção de cladódios e na produtividade de matéria seca.

As lâminas utilizadas nos dois estudos acima estão muito acima do que é recomendado em relação o zoneamento agroclimático da cultura da palma forrageira, por tal circunstâncias os estudos motivo pelo qual os estudos não mostraram diferença no uso da irrigação na palma forrageira

2.5. Manejo de irrigação via solo

A água é um fator limitante para a produção agrícola, sendo um recurso escasso em regiões áridas e semiáridas, como no Nordeste brasileiro. Programas de irrigação com adequado manejo têm primordial importância para a rentabilidade e aumento da eficiência do uso da água em sistemas agrícolas, incrementando a produção por unidade de água aplicada (Buttaro et al., 2015).

A irrigação deve ser controlada de tal forma que o estado da água no solo seja mantido dentro de uma determinada faixa que seja ideal para o desenvolvimento da planta (Nolz et al., 2016). Neste sentido, o estado da água no solo pode ser descrito tanto pelo teor de água no solo quanto pelo potencial matricial do solo ou por ambos.

O potencial matricial do solo, especialmente em áreas não salinas, é considerado um critério mais adequado para caracterizar a disponibilidade de água no solo do que o conteúdo gravimétrico ou volumétrico de água (Wang et al., 2007). Há várias pesquisas que se concentram na otimização do manejo da irrigação, com base principalmente no estado da água no solo (Contreras et al., 2017).

A determinação do limite apropriado para uma determinada cultura permanece um ponto fundamental para o gerenciamento eficiente da irrigação (Liu et al., 2012). No entanto, é crucial estabelecer um valor adequado de potencial matricial do solo para cada cultura e condições de crescimento para otimizar a eficiência da produção e do uso da água, como evidenciado em Buttar et al. (2015) e Létourneau et al. (2015).

Limites superiores e inferiores para o manejo de irrigação são geralmente definidos com base na água facilmente disponível, em que, o limite superior é o da capacidade de campo (CC), correspondem a um potencial matricial $-0,06$ atm e $-0,33$ atm (Jong van Lier, 2017), e o limite inferior entre $-0,35$ atm e $-0,75$ atm (Létourneau et al. 2015; Wang et al., 2007).

Uma vez que o limiar adequado para uma determinada cultura foi estabelecido, este pode ser usado em diferentes situações, independentemente do tipo de solo (Lemay et al., 2012). Porém, os dados de potencial matricial não fornecem informações sobre a quantidade de água que deve ser aplicada e para essa determinação é necessária uma compreensão das propriedades desse solo, considerando a curva de retenção de água do solo para que não ocorra excesso nem déficits nos eventos de irrigação (Contreras et al., 2017).

O conhecimento de como a palma forrageira responde a diferentes níveis de disponibilidade hídrica é considerado indispensável para o estabelecimento de estratégias de manejo, que visam um melhor aproveitamento das reservas de água no solo pela cultura. Informações como estas são fundamentais para o manejo de palma forrageira, em busca de um uso mais eficiente da água disponível, considerando que esta é uma forragem muito cultivada em áreas de baixa disponibilidade de água.

2.6. Eficiência do uso da água

Sabe-se que a palma forrageira tem uma capacidade extraordinária de armazenar água. Como outras plantas CAM, abre os estômatos durante o período escuro (Nobel & Bobich, 2002). À noite, o CO_2 é fixado e o oxaloacetato e o malato se acumulam no citosol para serem subseqüentemente movidos e armazenados nos vacúolos das células do clorênquima (Bispo et al., 2007). Durante o dia, o CO_2 é de fato liberado novamente (internamente) e a Rubisco agora pode funcionar da

mesma forma que no metabolismo C3, com a única exceção de que os estômatos estão fechados e impedem a fuga de CO₂ e vapor de água. O resultado é um expressivo aumento da eficiência do uso da água (Scalasis et al., 2016).

Para a análise de resposta dos cultivos submetidos a diferentes condições de disponibilidade hídrica pode-se fazer uso de uma gama de indicadores da eficiência do uso da água, que são capazes de relacionar a produção de biomassa fresca e seca com a quantidade de água aplicada e/ou evapotranspirada por determinada cultura (Souza, et al., 2011).

Os indicadores de uso da água pelas plantas que tem maior aplicação são eficiência do uso de água com base na biomassa verde (EUA_{MV}) e eficiência do uso de água com base na biomassa seca (EUA_{MS}). A eficiência do uso de água com base na biomassa refere-se à capacidade de converter a evapotranspirada ou recebida pela cultura em biomassa total acumulada, sendo um excelente indicador de análise da eficiência do uso da água (Aryay et al., 2011).

Silva et al. (2014) ao avaliarem cultivares de palma forrageira cultivadas em condições de sequeiro no semiárido brasileiro constataram que a Orelha de Elefante e a IPA Sertânia são cultivares que se destacaram em termos de eficiência do uso da água, considerando a produção de massa fresca. Em termos de massa seca, os clones apresentam a mesma eficiência de uso da água, tanto em termos de água precipitada quanto de evapotranspirada.

2.7. Balanço de água no solo

As informações relacionadas às respostas das culturas aos diferentes níveis de disponibilidade de água são importantes para a definição de estratégias de manejo para melhorar o uso da água pelas culturas (Silva et al., 2015a; Tari, 2016). O balanço de água no solo (BAS) é essencial para a tomada de decisões, embora, nenhum dos componentes da equação do balanço hídrico do solo seja facilmente mensurado com precisão (Libardi et al., 2015).

O BAS consiste, basicamente, em uma descrição de fluxos de entradas e saídas de massa de água no sistema solo-planta-atmosfera, cujo princípio baseia-se na primeira lei da termodinâmica. Os componentes do balanço incluem: precipitação, irrigação, evapotranspiração, drenagem, escoamento superficial, ascensão capilar e variação de armazenamento (Ghiberto et al., 2011).

A depender das condições de estudo alguns componentes do balanço podem ser desconsiderados como a ascensão capilar caso o lençol freático seja profundo, a percolação profunda quando se tem o monitoramento do estado hídrico do solo em camadas abaixo da estabelecida e escoamento superficial quando a superfície do terreno for plana e a intensidade da chuva ou irrigação seja menor que a velocidade básica de infiltração (Kresović et al., 2016; Lima et al., 2018).

A determinação de alguns componentes do BAS pode ser realizada a partir de sensores de umidade, dos quais destacam-se o tensiômetro (Moreira et al., 2014; Libardi et al., 2015) e a reflectometria no domínio do tempo, a qual tem sido bastante utilizada em pesquisas voltadas ao balanço hídrico (Silva et al., 2015a; Srivastava et al., 2018).

A partir do princípio de conservação de massa é possível utilizar o BAS para a obtenção da evapotranspiração da cultura (ET_c) quando as plantas estão sob condições ótimas de cultivo, enquanto sob condições de limitação hídrica ou manejo inadequado, a ET_c é denominada evapotranspiração real da cultura (Shukla et al., 2014; Silva et al., 2015a).

Em condições ótimas de cultivo, a ET é denominada evapotranspiração da cultura (ET_c) e sua razão com a evapotranspiração de referência (ET_o) representa o coeficiente de cultura (K_c), que varia de acordo com o sistema de cultivo, os aspectos morfofisiológicos das plantas e a demanda atmosférica local (Allen et al., 1998).

Estudos anteriores utilizaram o método do balanço de água no solo para quantificar a evapotranspiração da cactus *Opuntia ellisiana Griffiths* na região semiárida de Kingsville, Texas, EUA (Han & Felker, 1997). Lima et al. (2018) também utilizaram o BAS para quantificar as relações hídricas da palma forrageira em consócio com sorgo forrageiro.

O balanço balanço de água no solo cultivado com clones de palma forrageira foi realizado por Pereira et al. (2017), com aplicação de lâminas fixas de 7,5 mm, com irrigação a cada 7, 14 e 28 dias, concluindo que apesar do uso da irrigação, a ET e a precipitação foram os componentes mais importantes no balanço de água no solo cultivado com clones de palma forrageira.

O método micrometeorológico de vórtices turbulentos também foi adotado para determinar os fluxos de energia, ET e o coeficiente de cultura da palma

forageira *Opuntia ficus-indica*, cultivada para produção de frutas na Sicília, Itália, constatando um coeficiente de cultivo entre 0,3 e 0,5 (Consoli et al., 2013).

2.8 Composição bromatológica

A palma é uma forrageira com alto teor de carboidratos solúveis, podendo ser utilizado como alternativa suplementar na alimentação animal, devido aos altos valores de energia e elevada digestibilidade (Abidi et al., 2009). Entretanto, apresenta baixo teor de proteína bruta (PB) (Dubeux Júnior et al., 2010) e possui em média de 26% em fibra em detergente neutro, no entanto, este componente tem baixa efetividade no que se diz respeito ao estímulo da ruminação, tornando-se necessário sua associação com fontes que venham a corrigir a FDN efetiva, a fim de evitar distúrbios ruminais (Pinto et al., 2011).

O consumo de água coloidal, ou seja, a água que está presente nos alimentos, é de importância fundamental na utilização da palma forrageira haja vista, possuir cerca de 90% de água, impactando expressivamente no consumo de água “bebida”. Abidi et al. (2009) em experimento conduzido no Instituto Nacional de Pesquisa Agrícola da Tunísia, avaliando a suplementação de ovinos e caprinos com palma forrageira, quando avaliaram a ingestão de água total, observaram que quando os animais consumiram dietas que continham palma forrageira, diminuíram por volta de 1/3 seu consumo de água.

A composição bromatológica da palma forrageira dependerá de fatores como a variedade, idade da planta, adubação, dentre outros. Estudos evidenciam que para a palma forrageira diferentes densidades de plantio e doses de adubação (Silva et al., 2013 Cavalcante et al., 2014; Donato et al., 2014) tem efeito significativo nas características bromatológicas da cultura. Entretanto, não há informações referentes sobre quais características nutricionais são alteradas com manejo de irrigação na palma forrageira.

A utilização de déficit na irrigação para a produção do milho em condições semiáridas não modificou o valor nutritivo da forragem (Simsek et al. 2011). Ul-Allah et al. (2014) obtiveram resultando semelhantes onde os valores de proteína bruta e fibra em detergente neutro não indicaram nenhum efeito significativo com redução da lâmina de irrigação para várias gramíneas.

Yosef et al. (2009) relataram uma diminuição na proteína bruta e carboidratos solúveis em água com diminuição de lâminas de irrigação no sorgo forrageiro, enquanto outros relataram uma diminuição com o aumento das lâminas de irrigação no milho (Islam et al., 2012) e milheto (Rostamza et al., 2011).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIDI, S.; BEN SALEMA, H.; VASTAB, V.; PRIOLOB, A.; Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research*, v. 87, n. 1, p. 9–16, 2009.
- ALBUQUERQUE, S. G. de. Cultivo da palma forrageira no Sertão do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000. 6 p. il. (Embrapa Semiárido. Comunicado técnico, 91).
- 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. 95 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas – BA, 2011.
- ALVES, F. A. L.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A.; SANTOS, D. C. dos. Study of the variability, correlation and importance of chemical and nutritional characteristics in cactus pear (*Opuntia* and *Nopalea*). *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, n. 31, p. 2882-2892, 2016.
- ARYAYA, 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, n. 5, p. 775-783, 2011.
- BARBERA G. História e importância econômica e agroecológica. In: G Barbera (Ed.), *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. Roma: Food Agric. Organ. United Nations/Braz. Support Serv. Micro Small Enterprises of Paraíba. p. 1-11. 2001.
- BEZERRA, B. G.; ARAÚJO, J. S.; PEREIRA, D.D.; LAURENTINO, G. Q.; SILVA, L. L. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado

- da Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 7, p. 755-761, 2014.
- BISPO, S.V.; FERREIRA, M.A.; VÉRAS, 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 características de fermentação ruminal em ovinos. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 36, n. 6, p. 1902-1909, 2007.
- BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L. ; MOTA, J. C. A. ; MORAES, S. O. . Estimativa da capacidade de campo pela curva de retenção e pela densidade de fluxo de água. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 6, p. 1939-1948, 2011.
- BUTTARO, D.; SANTAMARIA, P.; SIGNORE, A.; CANTORE, V.; BOARI, F.; MONTESANO, F.F.; PARENTE, A. Irrigation management of greenhouse tomato and cucumber using tensiometer effects on yield, quality and water use. Agriculture and Agricultural Science Procedia. v. 4, p. 440-444, 2015.
- CASTILLO, I.O.; CUETO W. J. A.; SANTAMARÍA, J. C.; MURILLO, B. A.; TROYO, E. D. N, P and K Removal by Vegetable Cactus Pear Cultivated with Dairy Manure under Drip Irrigation. Acta Horticulturae. v.728, n. 27, p.193-198, 2006.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- 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, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.
- CONTRERAS, J. I.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; BAEZA, R. Irrigation management of greenhouse zucchini with different soil matric potential level. Agronomic and environmental effects. Agricultural Water Management, v. 183, p. 26-34, 2017.
- CUSHMAN, J. C.; DAVIS, S. C.; YANG, X.; BORLAND, A. M. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. Journal of Experimental Botany, v.66, n.14, p. 4177–4193 2015.
- DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D. Cultivo de pinhão-mansão irrigado com águas de qualidade inferior: exigências hídricas e produção de biodiesel. 2006. 37p. UFCG, Campina Grande, 2006.

- DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. *Revista Caatinga*, v. 27, n. 1, p. 163-172, 2014
- 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-20. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 1, p. 129 - 135, 2010.
- DUQUE, J. G. O Nordeste e as lavouras xerófilas. 4. ed. Fortaleza-CE: BNB, 2004.
- FARIAS, I.; LIRA, M.A.; SANTOS, D.C. et al. Manejo de colheita e espaçamento da palma-forrageira em consórcio com sorgo granífero, no Agreste Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 35, n. 2, p. 341-347, 2000.
- FEITOSA, S. O.; SILVA, S. L.; FEITOSA, H. O.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, E. O. Crescimento do feijão caupi irrigado com diferentes concentrações efluente tratado e água salina. *Revista Agropecuária Técnica*, v. 36, n. 1, p.146-155, 2015.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J. L.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.
- FROTA, M. N. L.; CARNEIRO, M. S. DE S.; CARVALHO, G. M. C.; ARAÚJO NETO, R. B. Palma forrageira na alimentação animal. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015. 47 p. (Documentos 233 / Embrapa Meio-Norte).
- GAVA, C. A. T.; LOPES, E. B. Produção de mudas de palma forrageira utilizando fragmentos de cladódios. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2012. (Embrapa Semiárido. Instruções Técnicas, 101).
- 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, n. 1, p. 1-7, 2011.
- GUSHA, J.; HALIMANI, T. E.; KATSANDEA, S.; ZVINOROVAP. I. The effect of *Opuntia ficus indica* and forage legumes based diets on goat productivity in smallholder sector in Zimbabwe. *Small Ruminant Research*, v. 125, p. 21-25, 2015.

- 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, n. 1, p. 133-148, 1997.
- ISLAM, M.; GARCIA, S.; HORADAGODA, A. Effects of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and in vitro gas production characteristics of whole crop maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, v. 172, n. 4, p. 125-135, 2012.
- JONG VAN LIER, Q. de. Field capacity, a valid upper limit of crop available water? *Agricultural Water Management*, v. 193, p. 214-220, 2017.
- KRESOVIĆ, B.; TAPANAROVA, A.; TOMIĆ, Z.; ŽIVOTIĆ, L.; VUJOVIĆ, D.; SREDOJEVIĆ, Z.; GAJIĆ, B. Grain yield and water use efficiency of maize as influenced by different irrigation regimes through sprinkler irrigation under temperate climate. *Agricultural Water Management*, v. 169, p. 34-43, 2016.
- LEMAY, I.; CARON, J.; DORAIS, M.; PEPIN, S. Defining irrigation set points based on substrate properties for variable irrigation and constant matric potential devices in greenhouse tomato. *HortScience*, v. 47, n. 8, p. 1141-1152, 2012.
- LÉTOURNEAU, G.; CARON, J.; ANDERSON, L.; CORMIER, J. Matric potential-based irrigation management offield-grown strawberry: Effects on yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, v. 161, p. 102-113, 2015.
- LIBARDI, P.L.; MOTA, J.C.A.; ASSIS JÚNIOR, R.N. de; BRITO, A. dos S.; AMARO FILHO, J. Water balance components in covered and uncovered soil growing irrigated muskmelon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 5, p. 1322-1334, 2015.
- LIMA, G. F. C.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, J. G. M.; AGUIAR, E. M. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under diferente cutting intensities. *Revista Caatinga*, v. 29, n. 2, p. 481-488, 2016.
- LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F. da; PEREIRA, P. de C.; MORAIS, J. E. F. de; ASSIS, M. C. S. Productive-economic benefitof forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 1, p. 291-201, 2018.
- LIU H, YANG H, ZHENG J, JIA D, WANG J, LI Y, HUANG G. Irrigation scheduling strategies based on soil matric potential on yield and fruit quality of mulched-

- drip irrigated chili pepper in Northwest China. *Agricultural Water Management*, v. 115, p. 232-241, 2012.
- LOPES, E. B.; BRITO, C. H. de ; ALBUQUERQUE, I. C. de; BATISTA, J. de L. Seleção de genótipos de palma forrageira (*Opuntia spp*) e (*Nopalea spp*) resistentes à cochonilha do Carmin (*Dactylopius opuntiae Cockerele*, 1929) na Paraíba, Brasil. *Engenharia Ambiental*, v. 7, n. 1, p. 204-215, 2010.
- MARQUES, O. F. C.; GOMES, L S. P.; MOURTHÉ M. H. F.; BRAZ T. G. S. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos *Caderno Ciência Agraria.*, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- MOREIRA, N. B.; LIBARDI, P. L.; SALVADOR, M. M. S.; SOUSA, H. H. F. Análise espaço-temporal de componentes do balanço hídrico em um Latossolo. *Revista Brasileira Ciência Solo*, v. 38, n. 1, p. 60-72, 2014.
- MOROKE, T.S.; SCHWARTZ, R.C.; BROWN, K. W.; JUO, A. S. R. Water use efficiency of dryland cowpea, sorghum and sunflower under reduced tillage. *Soil and Tillage Research*, v. 112, n. 1, p. 76-84, 2011.
- NEVES, A. L. A.; PEREIRA, L. G. R.; SANTOS, R. D. dos; VOLTOLINI, T. V.; ARAÚJO, G. G. L. de; MORAES, S. A. de; ARAGÃO, A. S. L. de; COSTA, C. T. F. Plantio e uso da palma forrageira na alimentação de bovinos no semiárido brasileiro. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010. 7 p. (Embrapa Gado de Leite. Comunicado Técnico, 62).
- NOBEL, P. S.; BOBICH, E. "Initial net CO₂ uptake responses and root growth for a CAM community placed in a closed environment." *Annals of Botany*, v. 90, n. 5, p. 593–598, 2002.
- NOLZ, R.; CEPUDER, P.; BALAS, J.; LOISKANDL, W. Soil water monitoring in a vineyard and assessment of unsaturated hydraulic parameters as thresholds for irrigation management. *Agricultural Water Management*, v.164, n. 2, p. 235-243, 2016.
- NUNES, C. dos S. Usos e aplicações da palma forrageira como uma grande fonte de economia para o semiárido nordestino. *Revista Verde*, v. 6, n. 1, p. 58-66, 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, n. 4, p. 27 – 37, 2010.

- PEREIRA P. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SILVA M. J. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. *Revista Caatinga*, v. 30, n. 3, p. 776-785, 2017.
- PINTO, T. F.; COSTA, R. G.; MEDEIROS, A. N.; MEDEIROS, G. R.; AZEVEDO, P. S.; OLIVEIRA, R. L.; TREVIÑO, I. H.; Use of cactus pear (*Opuntia ficus indica* Mill) replacing corn on carcass characteristics and non-carcass components in Santa Inês lambs. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 6, p. 1333-1338, 2011.
- QUEIROZ, M. G. de; Silva, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R. ; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.
- ROSTAMZA, M.; CHAICHI, M. R.; JAHANSOUZ, M. R.; A. ALIMADADI A. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 10, p. 1607-1614, 2011.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Fisiologia da palma. In. RÔMULO S. C.; MENEZES, S.; DIOGO, A. S., EVERARD, V. S. B. A palma no Nordeste do Brasil – conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed. Universitária da UFRPE, 2005. v. único, p. 105-128. 2005.
- SANTOS, D. C.; FARIAS, I.; LIRA, M. A.; LIMA, L. E. Evaluation of forage cactus pear varieties in the semi-arid region of Pernambuco, Brazil. *Acta Horticulturae*, v. 728, p. 173-175, 2006.
- SANTOS, D. C.; SILVA, M.C.; DUBEUX JÚNIOR, J.; LIRA, M.; SILVA, R. M. Estratégias para o uso de cactáceas em duas categorias semi-áridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 15, n. 2, p.111-121, 2013.
- SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B.; FERREIRA, M. A.; CUNHA, M. V. Palma forrageira , In: FONSECA, D. M.; Martuscello, J. A. Palntas forrageiras, Voçosa:UFV, p. 204-205, 2010.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P. & BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, v. 122, p. 158-167, 2016.

- SCHEINVAR, L. Taxonomia das Opuntias utilizadas. In: Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001, p. 20-27.
- SHUKLA, S.; SHRESTHA, N.K.; JABER, F.H.; SRIVASTAVA, S.; OBREZA, T.A.; BOMAN, B.J. Evapotranspiration and crop coefficient for watermelon grown under plastic mulched conditions in sub-tropical florida. *Agricultural Water Management*, v. 132, n. 1, p. 1-9, 2014.
- SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. *Scientia Agricola*, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015a.
- SILVA, J. A.; BONOMO, P.; DONATO, S. L. R.; PIRES, A. J. V.; SILVA, F. F.; DONATO, P.E. R. Composição bromatológica de palma forrageira cultivada em diferentes espaçamentos e adubações química. *Agrária*, v. 8, n. 1, p. 342-350, 2013.
- SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p.10-18, 2015b.
- SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M. C; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. *Revista Bragantia*, v.73, n. 2, p.184-191, 2014.
- SIMSEK, M.; CAN, A.; DENEK, N.; TONKAZ, T. The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 31, p. 5869-5877, 2011.
- SNYMAN, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South African Journal of Botany*, v. 72, n. 3, p. 434-441, 2006.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro *Bragantia*, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

- SRIVASTAVA, R. K.; PANDA, R. K.; CHAKRABORTY, A.; HALDER, D. Comparison of actual evapotranspiration of irrigated maize in a sub-humid region using four different canopy resistance based approaches. *Agricultural Water Management*, v. 202, p. 156-165, 2018.
- SUDZUKI-HILLS, F. Anatomia e fisiologia. In: *Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira*. Traduzido por SEBRAE/PB. João Pessoa: SEBRAE/PB, 2001. p. 28-34.
- TARI, A. F. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management*, v. 167, p. 1-10, 2016.
- UL-ALLAHA, S.; ALIKHAN, A.; FRICKE, T.; BUERKERT, A.; WACHENDORF, M. Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. *Field Crops Research*. v. 159, p.62-69, 2014.
- VASCONCELOS, A. G. V. de; LIRA, M. de A.; CAVALCANTI, V. L. B.; SANTOS, M. V. F. dos WILLADINO, L. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha do carmin (*Dactylopius* sp) *Revista Brasileira Zootecnia*, v. 38, n. 5, p. 827-831, 2009.
- WANG, F. X.; YAOHU, K.; LIU, S. P.; HOU, X. Y. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. v. 88, n. 3, p. 34-42, 2007.
- WITH, M. C.; FAY, M. F.; REVEAL, J. L. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APGIII. *Botanical Journal of the Linnean Society*, v. 161, p. 105-121, 2009.
- YOSEF, E.; CARMI, A.; NIKBACHAT, M.; ZENOU, A.; UMIEL, N.; MIRON J. Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and digestibility by sheep of their silages. *Animal Feed Science and Technology*, v. 152 , n. 1, p. 1-11, 2009.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA SOB ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO

CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA SOB ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO

RESUMO: Com a recente adoção do uso da irrigação na palma forrageira, surge a necessidade de adequar critérios de manejo de irrigação para a cultura. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar critérios de manejo de irrigação via solo nas características morfológicas e no rendimento de cultivares de palma forrageira. Foram realizados cinco experimentos simultâneos, seguindo o delineamento em blocos casualizados, com as cultivares Orelha de Elefante, IPA-Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de Onça. Para cada cultivar foi avaliado o efeito do manejo de irrigação com base em limites superiores de potencial matricial: -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm; -3,00 atm e uma condição de cultivo em sequeiro. A palma forrageira responde positivamente em ganhos de crescimento com o manejo de irrigação utilizando limites de potencial matricial igual ou superior a -3,00 atm, com acréscimo máximo de até 0,295 m² de área cladódios. O manejo de irrigação para a palma forrageira pode ser baseado em um limite superior de potencial matricial de -1,00 atm nas cultivares Orelha de Elefante, Doce e Gigante. Para as cultivares IPA Sertânia e Orelha de onça pode-se utiliza o valor e -3,00 atm.

Palavras-chave: potencial matricial; solo; rendimento

GROWTH AND PRODUCTIVITY OF FORAGE CACTUS CULTIVARS UNDER IRRIGATION MANAGEMENT STRATEGIES

ABSTRACT: With the recent adoption of the use of irrigation in forage cactus, the need arises to adapt irrigation management criteria for the crop. The present work had as objective to evaluate soil irrigation management criteria on the morphological characteristics and yield of forage palm cultivars. Five simultaneous experiments were conducted, using the randomized block design, with the cultivars Orelha de Elefante, IPA-Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de Onça. For each cultivar the effect of irrigation management was evaluated based on upper limits of matric potential: -0.20 atm; -0.33 atm; -1.00 atm; -3.00 atm and a dry growing condition. The forage cactus responds positively to growth gains with irrigation management using limits of matric potential equal to or greater than -3.00 atm, with a maximum increase of up to 0.295 m² of cladodes area. Irrigation management for the forage cactus can be based on an upper limit of -1.00 atm matric potential in Orelha de Elefante, Doce and Gigante cultivars. For the cultivars IPA Sertânia and Orelha de Onça can be used the value e -3.00 atm.

Keywords: matric potential; soil; yield

INTRODUÇÃO

A região semiárida do Brasil é caracterizada por índices pluviométricos baixos e mal distribuídos. Tal característica dificulta a obtenção de produção com qualidade em cultivos agrícolas de sequeiro. Com isso, faz-se necessário a adoção de estratégias de manejo dos cultivos, como, por exemplo, o uso de espécies tolerantes ao déficit hídrico ou adoção da irrigação para suprir a demanda de água das culturas no período de estiagem (Queiroz et al., 2016; Silva et al., 2015b). Atualmente, como resultado das mudanças climáticas, os períodos de estiagem têm ocorrido com maior amplitude, tornando necessário o uso da irrigação mesmo em espécies tolerantes ao estresse hídrico.

No Semiárido brasileiro existe uma intensa utilização da cultura da palma forrageira dos gêneros *Opuntia*, com as cultivares Gigante, Redonda e Orelha de Elefante Mexicana e as do gênero *Nopalea* com as cultivares Doce e IPA Sertânia, visando à produção de biomassa destinada a alimentação animal (Oliveira Júnior et al., 2009; Silva et al., 2014). A palma é considerada uma fonte energética de grande potencialidade para a nutrição de ruminantes (Tosto et al., 2007; Cavalcante et al., 2014).

A palma forrageira é tolerante a períodos de estiagem, por apresentar Metabolismo Ácido das Crassuláceas (CAM), realizando o fechamento dos estômatos durante o dia. Tal metabolismo permite o desenvolvimento em áreas com déficit hídrico (Consoli et al., 2013), sendo muito superior às plantas de metabolismo C3 e C4 (Nobel & Bobich, 2002; Bispo et al., 2007; Cushman et al., 2015).

Mesmo com toda adaptabilidade morfológica e fisiológica aos ambientes áridos e semiáridos, variações nas condições climáticas acarretam grandes flutuações no crescimento e na produtividade da palma forrageira (Santos et al., 2013).

Os períodos de estiagem implicam em distúrbios fisiológicas sobre a palma, dentre elas a redução da fotossíntese nos cladódios, devido a diminuição no conteúdo de água, espessura do parênquima e conteúdo de clorofila (Scalasis et al., 2016). De acordo com Flores-Hernández et al. (2004), para evitar tais flutuações é necessário fazer uso da irrigação para suprir a demanda hídrica da cultura, nos períodos de estiagem prolongada.

No cultivo da palma forrageira é recente à adoção da prática de irrigação para ganhos ou manutenção da produtividade na região do Semiárido brasileiro, apesar da obtenção de registros bem sucedidos (Queiroz et al., 2015; Lima et al., 2016) e em outros países (Flores-Hernández et al., 2004). No entanto, as informações desta natureza ainda são raras para auxiliar na compreensão das suas respostas produtivas, visto que há variação de acordo com fases fenológicas, clima, solo e espécies (Consoli et al., 2013).

A adoção de uma prática de manejo de irrigação influencia diretamente o desempenho das culturas e pode levar a melhorias qualitativas e quantitativas na produção. Pesquisas recentes concentram-se na otimização do manejo da irrigação, com base principalmente em medições direta do estado da água do solo: umidade ou potencial matricial, pois tem a vantagem de ser relativamente fácil de mensurar e automatizar (Létourneau et al., 2015; Contreras et al., 2017).

A irrigação deve ser controlada de tal forma que o estado da água do solo seja mantido dentro de um limite superior e limite inferior de potencial matricial, que seja ideal para o desenvolvimento da planta (Nolz et al., 2015).

Para a maioria das culturas, limiares superior e inferior para a programação de irrigação são geralmente definidos com base na água facilmente disponível, em que, o limite superior é a da capacidade de campo (CC), normalmente com a tensão do potencial matricial entre $-0,06$ atm e $-0,33$ atm (Jong van Lier, 2017) e o limite inferior entre $-0,35$ atm e $-0,75$ atm (Létourneau et al., 2015; Contreras et al., 2017; Wang et al., 2007).

Para a palma forrageira não há na literatura referências sobre limites superior e inferior de potencial matricial que auxiliem os produtores no manejo de irrigação, tendo em vista que com todas as adaptações morfo-fisiológicas esta cultura possa ter pleno desenvolvimento e rendimento em limites diferentes dos recomendados para as demais culturas.

As perspectivas de um clima cada vez mais quente e seco levaram muitos pesquisadores a reavaliarem essa eficiente cultura para produção de biomassa, em terras semiáridas e áridas, e fonte de matéria-prima para diversos fins (Santos et al., 2013; Cushman et al., 2015).

Objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes limites de potencial matricial nas características morfológicas e de rendimento para a obtenção de

estratégias de manejo de irrigação via solo, adequada para a cultura da palma forrageira.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em campo na área Experimental do Instituto Federal Baiano (IF Baiano), *Campus* Senhor do Bonfim, situado nas coordenadas 10°26'38"S, 40°08'51"W e altitude de 520 m, semiárido do estado da Bahia, com precipitação anual média de 650 mm.

O estudo consistiu da realização de cinco experimentos simultâneos, seguindo delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Em todos os experimentos, as fontes de variação e variáveis respostas foram as mesmas, variando-se apenas a cultivar a ser avaliada, quais sejam: 1 - Orelha de Elefante Mexicana (OE), da espécie *Opuntia stricta*; 2 - IPA-Sertânia (IPA), 3 - Doce (DC) ambas *Nopalea cochenillifera* Salm Dyck; 4 - Gigante (GG) e 5- Orelha de Onça (OO), ambas *Opuntia ficus-indica* L. (Mill.). Não foi objetivo do estudo comparar as cultivares entre si, mas avaliar se o manejo da irrigação via solo, baseado em diferentes limites de potencial matricial (Ψ_m) afeta o crescimento e produtividade das cultivares.

Para cada experimento foi estabelecido como tratamentos critérios de manejo da irrigação com os limites superiores de potencial matricial (Ψ_m) de -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm e -3,00 atm, além de um tratamento testemunha em condições de sequeiro (SE), para fins comparativos.

A preparação da área consistiu em aração e gradagem de forma mecanizada. Posteriormente, realizou-se a calagem a partir das informações obtidas por meio da análise química de solo (Tabela 1). Foi aplicado 50-60-50 kg ha⁻¹ de N-P-K, respectivamente, via adubação mineral na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, conforme recomendado por Albuquerque et al. (2000) e Dubeux Junior et al. (2006).

Tabela 1. Atributos químicos do solo utilizado para o estudo com cultivares de palma forrageira, Senhor do Bonfim-BA

pH	P	K	Ca+Mg	Al	H+Al	Na	SB	CTC	V	M.O
1:2,5	mg/dm ³			cmol _c /dm ³					%	g/kg
5,41	20	60	2,40	1,90	2,40	0,15	2,70	5,10	52,94	1,07

O solo da área é classificado como Latosolo Vermelho Amarelo conforme o INEMA (2012), e a seguinte características texturais: 22,3% de argila, 7,9% de silte e 69,8% de areia, classificado quanto a textura como Franco argilo arenoso.

Para o monitoramento do potencial matricial e conteúdo de água no solo foram construídas sondas de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) conforme Silva et al. (2015a). As sondas foram calibradas em amostras de solos deformadas retiradas na área experimental.

O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira com mesh de 2 mm, e posteriormente colocado em três tubos de PVC, acomodando-o de forma homogênea aproximando-o da densidade do solo no campo. Em seguida o solo foi saturado durante 24 horas e as sondas TDR foram instaladas. As leituras de massa do conjunto tubo – sonda – solo – tela foram obtidas por peso com balança, registrando-se a umidade gravimétrica. Imediatamente após uma medida de massa determinava-se a constante dielétrica com a TDR. A princípio, as leituras ocorreram em intervalos de cinco minutos. Com a redução na percolação, as leituras passaram a ocorrer em maiores intervalos de tempo. Quando a umidade do solo atingiu valores tais que o peso do conjunto tubo-sonda-solo-tela se tornou pouco variável, procedeu-se secamento do solo em estufa. A relação entre os valores de umidade obtidos e a constante dielétrica gerou a equação 1:

$$\theta = 0,00005Ka^3 - 0,0026Ka^2 + 0,0504Ka - 0,2604 \quad R^2 = 0,9951 \quad (1)$$

Em que:

θ - conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m⁻³);

Ka - constante dielétrica do solo, adimensional.

As sondas foram instaladas no campo em profundidades de 0,15 e 0,45 m e na distância de 0,20 m da planta.

Para a obtenção de dados físico-hídricos do solo foram coletadas amostras indeformadas de solo na área experimental, nas profundidades de 0,15 e 0,45 m,

em cinco pontos aleatórios, totalizando dez amostras. A retenção de água no solo foi determinada utilizando-se a câmara de pressão de Richards, para obtenção dos pares de valores ' $\Psi_m \times \theta$ ' (Tabela 2).

Tabela 2. Retenção de água no solo utilizado no estudo com cultivares de palma forrageira, Senhor do Bonfim-BA

Camada de solo (m)	Retenção de água no solo ($m^3 m^{-3}$)				
	-0,10 atm	-0,33 atm	-1,00 atm.	-3,00 atm.	-15,00 atm
0,15	0,191	0,135	0,118	0,112	0,110
0,45	0,186	0,145	0,128	0,114	0,108

A curva de retenção foi elaborada por meio da proposição de Van Genutchen (1980), estimando-se os parâmetros α , m e n pela minimização dos quadrados dos desvios.

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot \left[\frac{1}{1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n} \right]^m \quad (2)$$

Em que:

θ - umidade volumétrica, ($m^3 m^{-3}$);

Ψ_m - potencial matricial (atm);

θ_s - umidade do solo saturado ($m^3 m^{-3}$);

θ_r - umidade residual do solo ($m^3 m^{-3}$);

α , m e n - parâmetros de ajustes ($m = 1 - 1/n$).

O potencial matricial foi obtido a partir dos conteúdos de umidade do solo com base no rearranjo da equação de Van Guenutchen (1980).

$$\Psi_m = \frac{\left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (3)$$

Em que:

Ψ_m - potencial matricial (atm);

θ_s - umidade do solo saturado ($m^3 m^{-3}$);

θ_r - umidade residual do solo ($m^3 m^{-3}$);

θ - umidade atual do solo ($m^3 m^{-3}$);

m , α e n - parâmetros adimensionais de ajuste ($m = 1 - 1/n$).

Para determinação das lâminas de irrigação realizou-se leituras de θ na zona radicular da cultura em frequência de três dias. Com base nos valores de θ calculava-se o volume de água necessário para retornar à umidade do solo aos valores de: 0,155; 0,137; 0,119 e 0,113 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, correspondentes aos valores de potencial matricial (Ψ_m) de -0,20; -0,33; -1,00 e -3,00 atm. A Tabela 3 apresenta as equações utilizadas para o cálculo da lâmina bruta de irrigação necessária.

Tabela 3. Equações para cálculo da lâmina de irrigação bruta para os tratamentos irrigados.

Ψ_m (atm)	Equação
-0,20	$LA = (0,153 - \theta_{\text{atual}}) \times Z$
-0,33	$LA = (0,137 - \theta_{\text{atual}}) \times Z$
-1,00	$LA = (0,119 - \theta_{\text{atual}}) \times Z$
-3,00	$LA = (0,113 - \theta_{\text{atual}}) \times Z$

θ_{atual} - umidade atual à base de volume ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) antes da irrigação e Z- camada do perfil do solo que se deseja umedecer (mm). Os valores 0,153; 0,137; 0,119 e 0,113 são conteúdos de água no solo ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) correspondentes aos potenciais matriciais (atm) de -0,20; -0,33; -1,00 e -3,00, respectivamente.

A irrigação foi realizada por gotejamento, com um emissor por planta, utilizando gotejadores online autocompensantes com vazão de $2,3 \text{ L h}^{-1}$. O sistema operou a uma pressão de 1,0 atm, resultando em um coeficiente médio de uniformidade de 92%.

O período experimental compreendeu o primeiro ciclo (agosto de 2016 a agosto de 2017) da palma forrageira, com duração de 365 dias. Durante este período foram monitoradas as variáveis meteorológicas (temperatura, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, radiação solar global) por meio de uma estação automática pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a cerca de 200 m da área de cultivo.

Mensalmente foram realizadas medições morfológicas em três plantas úteis selecionadas dentro de cada parcela experimental, totalizando 60 plantas úteis por experimento. As variáveis medidas em campo foram: comprimento dos cladódios (CC), largura dos cladódios (LC), espessura dos cladódios (EC), número de cladódios (NC), altura da planta (AP), largura da planta (LP) e número de ordem dos cladódios.

A área de cladódio (AC) para cada cultivar foi estimada de acordo com os modelos matemáticos propostos por Silva et al. (2014) para as cultivares OE, IPA e DC. Para as cultivares GG e OO foi utilizado o modelo proposto por Cortazar & Nobel (1991).

Em função do produto dos valores de área do cladódio e do número de cladódios por planta foi calculada a área de cladódios por planta através da equação (4)

$$ACP = AC . NC \quad (4)$$

Em que:

ACP - área de cladódios por planta (m²);

AC - área do cladódio (m²);

NC - número de cladódios.

A obtenção da produção da palma forrageira foi realizada após a colheita de todos os cladódios das plantas úteis no fim do período experimental (365 dias após o plantio), deixando em campo apenas o cladódio basal. Os cladódios foram cortados na junção entre eles de modo a não provocar danos no basal.

Após a colheita os cladódios foram pesados para determinação da produção de biomassa verde por planta (MVP). Pela relação entre MVP e o número de cladódio total de cada planta obteve-se a biomassa verde de cladódio (MVC). A produtividade de massa verde (MV ha⁻¹) foi calculada pelo produto entre a MVP e a quantidade de plantas por hectare de acordo com a densidade de plantio adotada de 2.000 plantas ha⁻¹ (1x0,5 m).

Após a obtenção da MVP os cladódios foram fatiados e coletadas amostras representativa de 1 kg por planta. As amostras foram submetidas a uma pré-secagem ao ar livre e em seguida levadas à estufa de circulação de ar forçada a 65°C para secagem definitiva até atingir peso constante e obtenção do teor de matéria seca.

Todas as variáveis foram submetidas a análise de variância, a comparação de médias foi realizada utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As lâminas brutas médias de irrigação aplicadas às plantas durante o período experimental foram 326 mm, 237 mm, 94 mm e 50 mm para o manejo de irrigação com limites superiores de Ψ_m equivalentes a -0,20 atm, -0,33 atm, -1,00 atm e -3,00 atm, respectivamente (Figura 1). Observa-se que todas as cultivares receberam lâminas de irrigação semelhantes em cada critério de manejo adotado, a maior diferença entre lâminas aplicadas foi de 16,2 mm entre as cultivares IPA Sertânia e Orelha de Onça, quando manejadas com o critério de -0,20 atm.

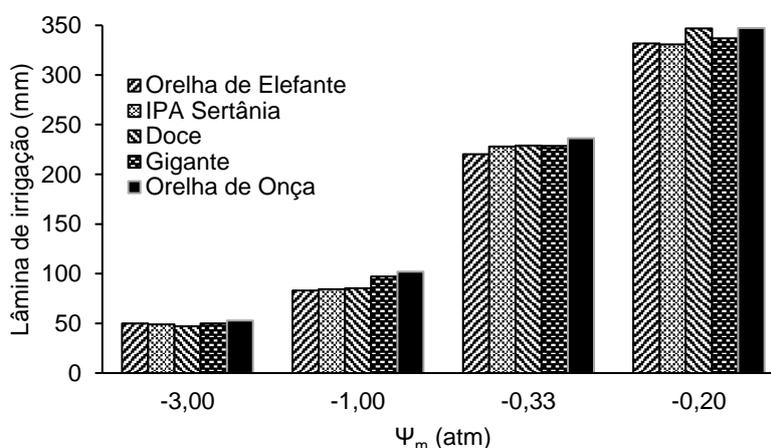


Figura 1 Lâmina de irrigação aplicada nos tratamentos irrigados durante todo o período experimental.

A precipitação pluviométrica acumulada durante o período experimental foi de 345 mm, com maior concentração nos três últimos meses. O suporte hídrico fornecido pela precipitação nos últimos meses foi suficiente para manter o Ψ_m acima dos limites superiores estabelecido de -3,00 atm e -1,00 atm (Figura 2), com redução da necessidade de irrigação para esse período.

Durante o período experimental os limites inferiores médios de Ψ_m foram -0,75 atm; -1,5 atm; -3,5 atm e -5,0 atm para cada condição de limite superior de Ψ_m estudada -0,2 atm; -0,33 atm; -1,0 atm e -3,0 atm respectivamente. Esses limites inferiores foram obtidos em campo durante o período de estiagem por meio das leituras do conteúdo de água no solo antes dos eventos de irrigações. Tais valores de limite inferior estão muito abaixo dos recomendados para outras culturas (Contreras et al., 2017; Jong van Lier, 2017; Nolz et al., 2015; Létourneau et al., 2015; Wang et al., 2007).

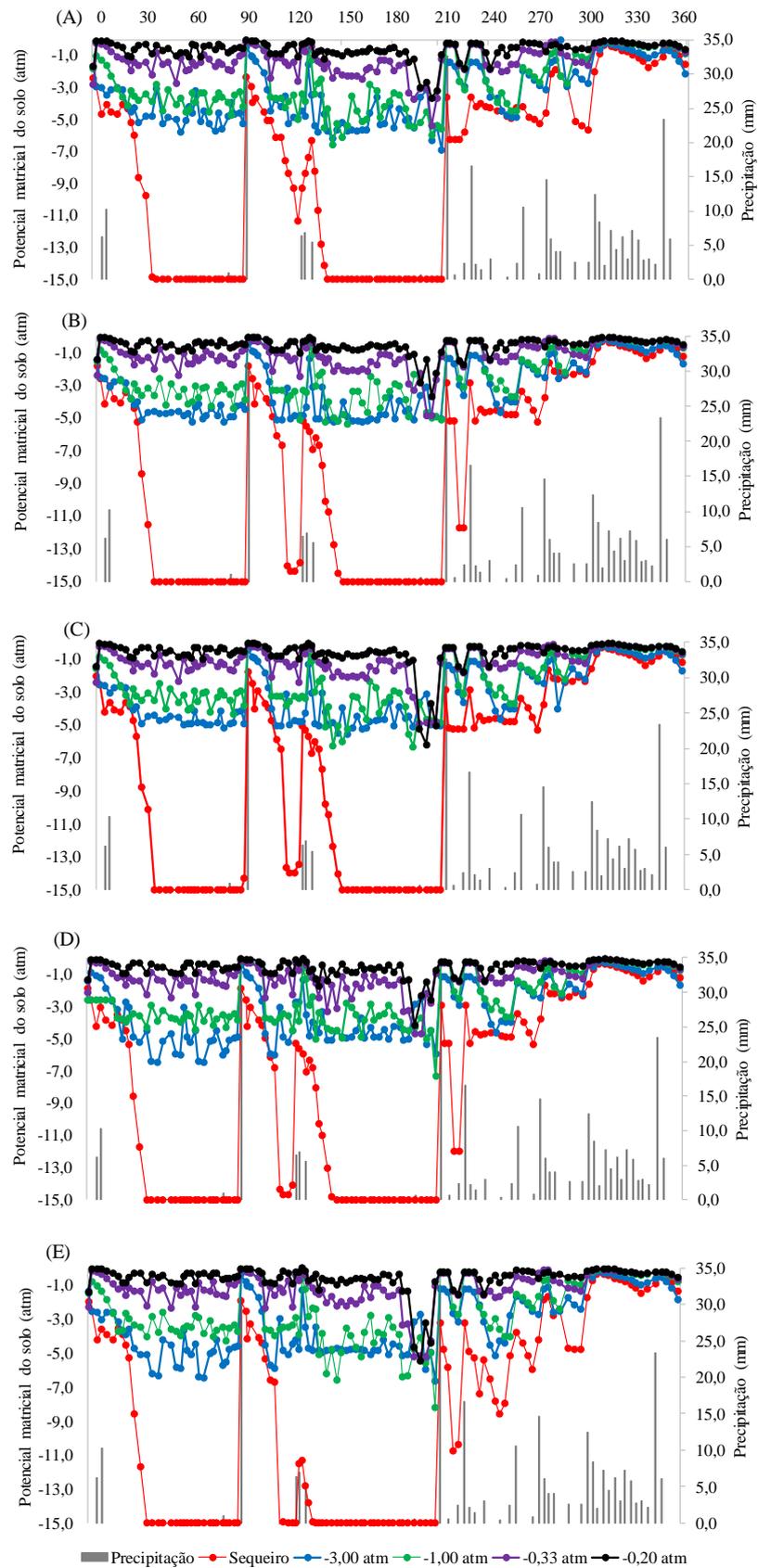


Figura 2. Potencial matricial da água no solo antes dos eventos de irrigação durante o período experimental para as cultivares Orelha de Elefante (A), IPA Sertânia (B), Doce (C), Gigante (D) e Orelha de Onça (E), no semiárido baiano.

O crescimento das cultivares de palma forrageira foi influenciado de forma significativa ($P < 0,05$) para as condições avaliadas (Tabela 3), exceto para as variáveis: AP CC2, LC2 e AC2 da cultivar Orelha de Elefante; LC1 e AC1 das cultivares Doce e Gigante. As médias das plantas submetidas aos limites de Ψ_m superaram as médias das plantas na condição de sequeiro para as demais cultivares. Tal resultado pode ser atribuído a ocorrência de dois períodos prolongados de ausência de chuva, o primeiro com duração de 63 dias e o segundo com duração de 85 dias (Figura 2). Nestes períodos, os valores de Ψ_m registrados na condição de sequeiro estiveram abaixo de $-10,00$ atm.

Tabela 3. Médias da altura (cm) e largura (cm) de plantas, do comprimento (cm), largura (cm) e área de cladódios primário e secundário da palma forrageira, submetidas a diferentes limites superiores de potencial matricial do solo e condição de sequeiro no semiárido baiano.

Potências ψ (atm)	AP (cm)	LP (cm)	CC1 (cm)	LC1 (cm)	AC1 (cm ²)	CC2 (cm)	LC2 (cm)	AC2 (cm ²)
ORELHA DE ELEFANTE								
Sequeiro	44,49 a	58,83 a	25,05 a	21,65 a	379,58 a	7,58 a	7,02 a	67,57
-3,00	48,12 a	70,58 b	27,84 ab	23,87 b	463,97 b	11,96 a	13,02 a	205,56
-1,00	49,96 a	72,16 b	28,41 ab	23,70 b	444,14 b	11,70 a	10,58 a	133,70
-0,33	55,66 a	75,66 b	28,71 b	23,36 b	475,23 b	16,75 a	15,41 a	264,26
-0,20	54,00 a	71,58 b	30,30 b	23,70 b	496,80 b	17,16 a	16,13 a	273,08
IPA SERTÂNIA								
Sequeiro	38,75 a	34,91 a	19,25 a	11,05 a	110,17 a	0,00 a	0,0 a	0,00a
-3,00	45,61 ab	62,91 b	28,61 b	14,11 a	160,38 b	11,26 b	5,56 b	44,28 b
-1,00	46,16 ab	64,58 b	28,51 b	13,78 a	148,59 b	13,30 bc	6,02 bc	53,52 b
-0,33	59,58 c	71,83 b	30,14 b	14,78 a	167,15 b	22,14 c	10,66 c	117,24 c
-0,20	52,58 bc	78,91 b	30,72 b	14,33 a	166,99 b	19,15 bc	9,40 c	96,58 bc
DOCE								
SE	33,16 a	44,25 a	17,23 a	9,09 a	115,24 a	11,23 a	5,75 a	66,54 a
-3,00	44,45 b	71,33 b	23,42 b	9,73 a	163,88 a	21,88 b	9,70 ab	153,30 b
-1,00	45,00 b	68,16 b	21,66 b	9,97 a	155,67 a	22,97 b	10,21 b	169,04 b
-0,33	48,50 b	74,91 b	22,74 b	9,91 a	162,79 a	21,50 b	10,23 b	158,51 b
-0,20	52,58 b	78,91 b	22,55 b	9,99 a	162,30 a	22,28 b	10,08 ab	161,95 b
GIGANTE								
Sequeiro	42,00a	49,29 a	22,13 a	12,78 a	195,94 a	13,74 a	8,78 a	95,31 a
-3,00	56,62 b	90,75 b	28,56 b	15,99 a	317,68 a	25,25 b	14,60 b	266,40 ab
-1,00	62,87 bc	92,58 b	27,77 b	14,90 a	288,00 a	27,12 b	15,62 b	295,84 b
-0,33	67,04 c	93,37 b	28,34 b	15,19 a	300,08 a	31,50 b	17,96 b	394,18 b
-0,20	70,62 c	101,41 b	28,44 b	14,93 a	299,45 a	32,43 b	18,13 b	408,78 b
ORELHA DE ONÇA								
Sequeiro	28,5 a	42,33 a	15,48 a	11,00 a	120,00 a	11,58 a	10,70 a	90,26 a
-3,00	45,00 b	68,66 b	23,95 b	19,72 b	327,68 b	20,34 b	16,72 b	240,83 b
-1,00	45,08 b	69,41 b	22,60 b	18,92 b	299,53 b	19,83 b	17,24 b	244,18 b
-0,33	47,25 b	76,25 b	25,92 b	18,14 b	327,43 b	24,56 b	18,69 b	318,35 b
-0,20	50,58 b	28,08 b	24,04 b	19,04 b	318,61 b	23,62 b	19,94 b	327,57 b

AP = Altura de Planta; LP = Largura de Planta; CC1 = Altura dos Cladódios Primários; LC1 = Largura dos Cladódios Primários; AC1 = Área dos Cladódios Primários; CC2 = Comprimento dos Cladódios Secundários; LC2 = Largura dos Cladódios Secundários; AC2 = Área dos Cladódios secundários. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apenas a cultivar Orelha de Elefante não apresentou diferença na altura das plantas avaliadas (Tabela 3). Este comportamento é devido às suas características

de crescimento específicas como maior brotação de cladódios primários. Segundo Amorim et al. (2017) tal cultivar apresenta a fenofase I mais longa.

De acordo com Scalisi et al. (2016) e Pimienta-Barrios et al. (2007) longos períodos de seca (dois a três meses), como os que ocorreram no presente trabalho (Figura 2), ocasionam vários efeitos fisiológicos negativos às plantas de palma forrageira tais com: redução da fotossíntese, da condutância estomática noturna, do acúmulo de ácido, do teor de água do parênquima e do clorênquima, resultando em reduções ou estagnação das medidas biométricas dos cladódios. Tais efeitos negativos nas medidas biométricas foram observados em todas as cultivares manejada em condição de sequeiro (Figura 3, 4 e 5).

A partir do sétimo mês de cultivo as plantas irrigadas passaram apresentar novos cladódios de maneira mais expressiva (Figura 3). As cultivares Orelha de Elefante, Doce e Orelha de Onça apresentaram maior incremento no número de cladódios a partir do nono mês (Figura 3 A e 3B). Queiroz et al. (2015) e Amorim et al. (2017) observaram que a cultivar OE possui a fenofase I mais longa visto que o número de cladódios primários emitidos por esta cultivar é superior as demais cultivares. As cultivares OE, IPA, DC, GG e OO, mesmo submetidas ao manejo da irrigação com limite superior de $\Psi_m = -3,00$ atm, apresentaram aumento do NCP quando comparadas à condição de sequeiro.

Na condição de sequeiro, embora todas as cultivares apresentaram um incremento no NCP com o início do período chuvoso, estas continuaram inferiores às cultivares irrigadas (Figura 3). As plantas submetidas ao manejo de irrigação com limite superior de $\Psi_m = -3,00$ atm superaram em 76, 200, 116, 142 e 102 % aquelas cultivadas em sequeiro, no último mês, para as cultivares OE, IPA, DC, GG e OO, respectivamente.

Os valores de NCP do presente trabalho são semelhantes aos encontrados por Queiroz et al. (2015) ao estudarem as características morfofisiológicas e a produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. Os autores observaram que o número de cladódios aumentou com o incremento na lâmina de irrigação, evidenciando a eficiência do uso de água pela cultura. Resposta semelhante foi obtida por Oliveira Júnior et al. (2009) e Ramos et al. (2011), ao analisarem o clone italiana do gênero *Opuntia* no Semiárido paraibano com valores médios de 10,5 cladódios aos 330 dias após plantio (DAP) e 11,5 cladódios, aos 445 DAP, respectivamente.

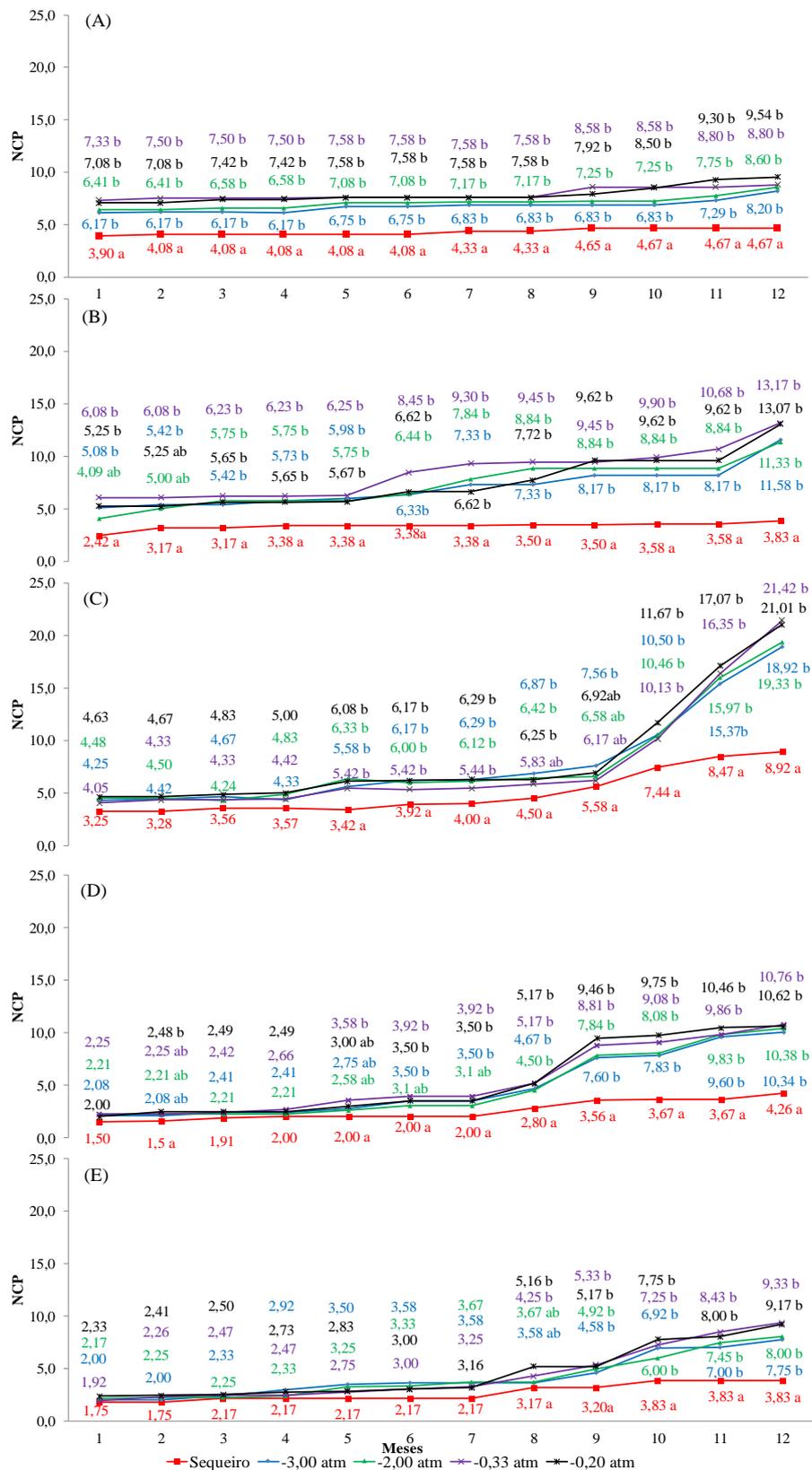


Figura 3. Valores médios do número de cladódios por planta, NCP, das cultivares Orelha de Elefante (A), IPA Sertânia (B), Doce (C), Gigante (D) e Orelha de Onça (E), durante o período experimental, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação em condições semiáridas.

As diferenças no contraste de médias de valores de área total dos cladódios foram significativas a partir do segundo mês de avaliação nas cinco cultivares avaliadas (Figura 4).

Comparando as médias de ACP (Figura 4), verificou-se que as plantas submetidas à irrigação apresentaram incremento de área de cladódio durante todo o ciclo, enquanto que as plantas cultivadas em sequeiro tiveram uma redução nos valores de ACP durante o período seco.

Durante o período de ausência de precipitação pluviométrica as diferenças entre as médias das variáveis resposta de crescimento só ocorreram entre os tratamentos irrigados e o de sequeiro, para todas as cultivares utilizadas. Os resultados do presente trabalho evidenciam que o manejo de irrigação da palma forrageira pode ser realizado com base em um limite superior de água no solo igual a $-3,00$ atm que não haverá prejuízo no crescimento da planta, comparado ao demais manejos de irrigação avaliados.

Mesmo com a retomada do crescimento das plantas em condições não irrigadas após o retorno das precipitações pluviais, ao analisar as diferenças no último mês de avaliação, as médias dos tratamentos irrigados superaram as médias das plantas cultivadas em condição de sequeiro. Portanto, verifica-se que a irrigação apresentou efeito sob o crescimento da palma forrageira. Não obstante, não há necessidade de se utilizar a capacidade de campo como limite superior no manejo de irrigação da palma forrageira.

A expansão da ACP ocorreu a partir do sétimo mês de cultivo para a plantas da cultivar Doce, e a partir do nono mês para a demais cultivares (Figura 4). Este é o período em que há mudança da fenofase das plantas de palma forrageira, tendo início a brotação e crescimento dos cladódios secundários e terciários, o que reflete em um grande incremento da ACP. Amorim et al. (2017) ao analisarem as fenofases e tempo de corte de palma forrageira sob sistemas de cultivo e irrigação, relatam que o período em que ocorre a mudança de fenofase encontra-se entre o sétimo e oitavo mês.

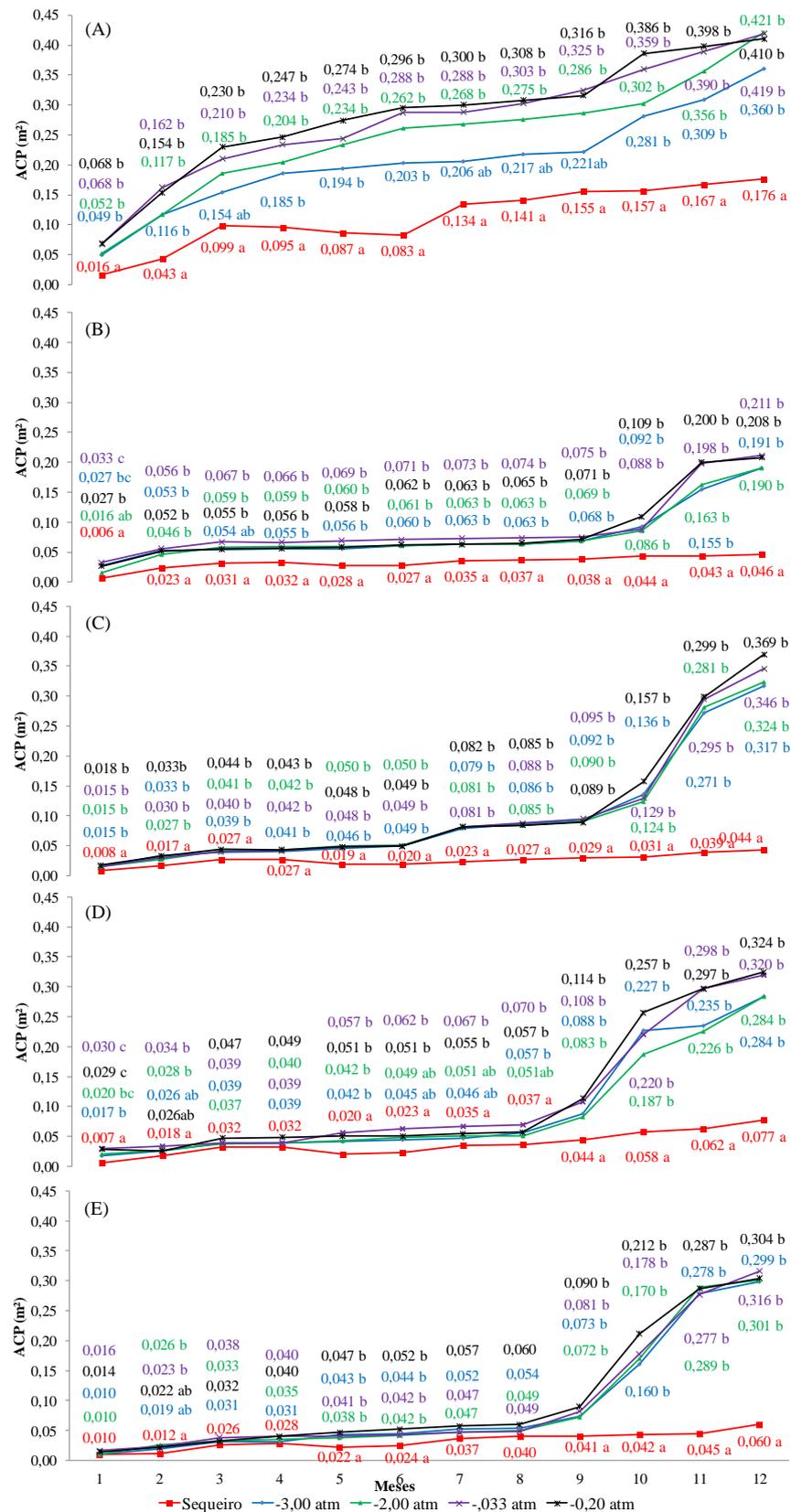


Figura 4. Valores médios da área de cladódios por planta, ACP- m², das cultivares Orelha de Elefante (A), IPA Sertânia (B), Doce (C), Gigante (D) e Orelha de Onça (E), durante o período experimental, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação em condições semiáridas.

Ao se analisar os dados de espessura dos cladódios (Figura 5), observa-se que as plantas irrigadas superaram de forma significativa ($P < 0,05$) as plantas não irrigadas. A turgidez da palma forrageira é mensurada pela espessura de seus cladódios, por estar diretamente relacionada ao estado hídrico da planta (Consoli et al., 2013; Silva et al., 2015b; Cushman et al., 2015). Não obstante, no presente estudo os diferentes critérios de manejo de irrigação não alteraram de forma significativa a espessura dos cladódios das cultivares estudadas.

As rápidas respostas da variável EC ao aumento do conteúdo de água no solo em condições de sequeiro podem ser observadas na Figura 5, quando ocorreram os primeiros eventos intensos de precipitação (Figura 2). Assim, as plantas cultivadas em sequeiro apresentaram incremento nos valores de EC nos períodos chuvosos.

De acordo com Scalisi et al. (2016) variações na EC está relacionado com o estado hídrico da cultura da palma forrageira e que a mesma tem a capacidade de se reidratar após longos períodos de seca, a partir do aumento do conteúdo da água no solo.

Apesar do aumento dos valores de EC com a chuva no sétimo mês, a palma forrageira Orelha de Elefante, Gigante e Orelha de Onça cultivada em condição de sequeiro continuaram apresentando valores inferiores aos observados na condição irrigada. Os valores médios da EC para as plantas irrigadas são próximos das respostas encontradas por Queiroz et al. (2015) e Pereira et al. (2015) com a utilização de irrigação por gotejamento em condições semiáridas.

A espessura dos cladódios (Figura 5) variou de acordo com o estado hídrico do solo (Figura 2). As variações foram decorrentes do processo de murchamento natural das plantas de palma forrageira não irrigadas, em que a espessura dos seus cladódios diminuiu devido as perdas de água para o meio. Mesmo sendo uma espécie com as características CAM, que fecha os estômatos durante o dia, evitando a perda de água, e abrem durante a noite, quando há um alto déficit de pressão de vapor d'água, pois as atividades fisiológicas entram em estado de latência quando atinge um estado hídrico crítico (Nobel & Bobich, 2002, Cushman et al., 2015).

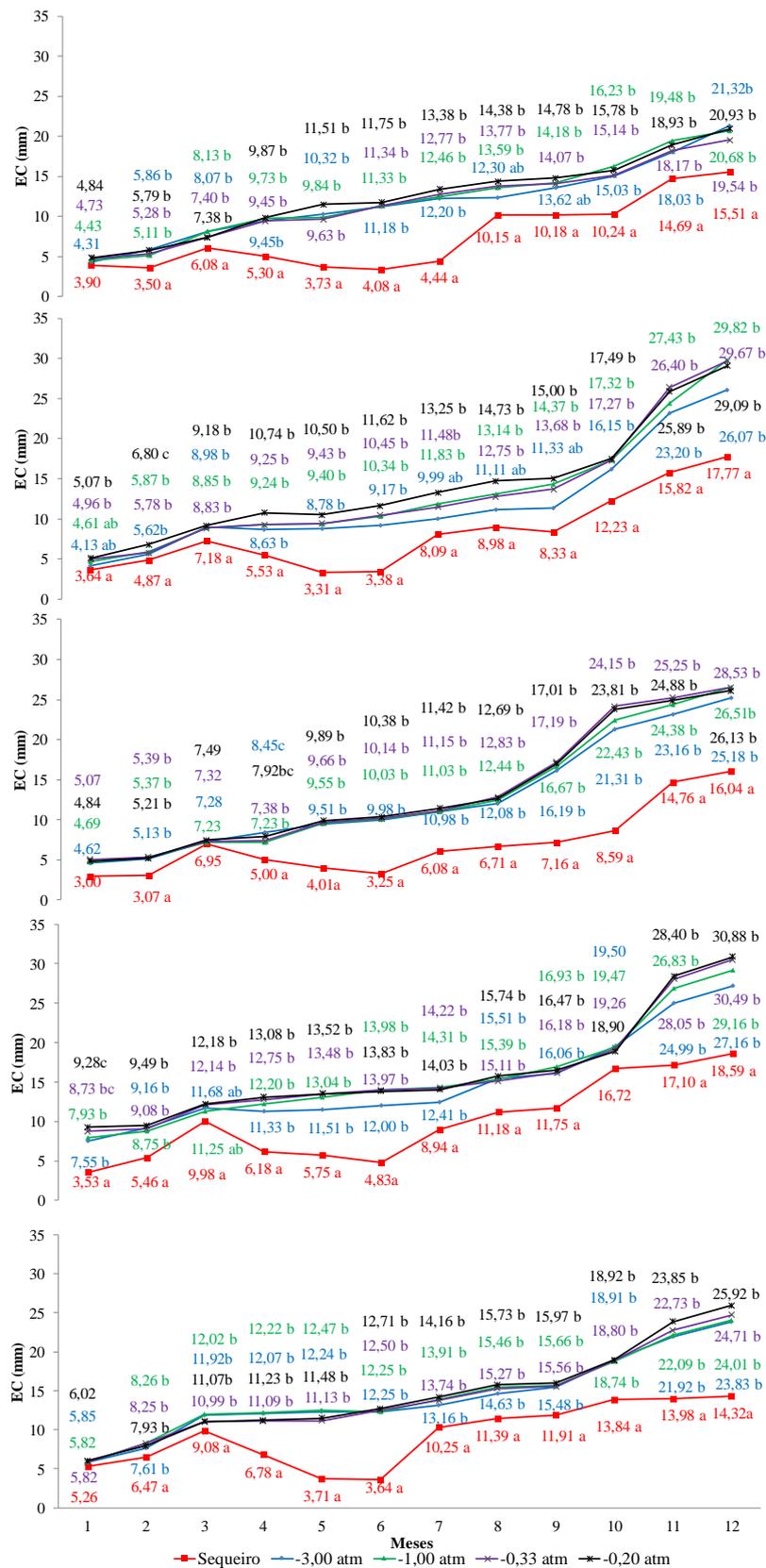


Figura 5 Valores médios da espessura do cladódio, EC- mm, das cultivares Orelha de Elefante (A), IPA Sertânia (B), Doce (C), Gigante (D) e Orelha de Onça (E), durante o período experimental, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação em condições semiáridas.

A cultivar orelha de onça apresentou uma maior diferença entre valores de EC no final do cultivo em função dos diferentes Ψ_m . Esta cultivar, quando não irrigada, apresenta a espessura do cladódio três vezes menor que as plantas irrigadas com limite superior de potencial matricial igual a -3,00 atm (Figura 5).

As médias dos parâmetros de crescimento encontrados no presente estudo para os limites superiores de Ψ_m com uso da irrigação (Figura 3, 4 e 5) estão acima daquelas verificadas por Flores-Hernández et al. (2004) e Queiroz et al. (2015), quando utilizaram porcentagens da evapotranspiração de referência com estratégia de manejo e com densidade de plantio de inferior à utilizada no presente estudo.

O déficit hídrico no solo prolongado ocasionou uma diminuição do crescimento do cladódio, mudança na coloração e enrugamento, em algumas plantas abscisão de cladódios ou mortalidade refletindo diretamente na produtividade da cultura. Tais sintomas foram observados visualmente no decorrer do estudo nas plantas cultivadas em condição de sequeiro.

Apesar da palma forrageira possuir metabolismo CAM, os sintomas citados anteriormente foram observados também por Nobel et al. (2002), Chusman (2015) e Scalisi et al. (2016), e acontecem provavelmente devido à translocação de água que pode ocorrer das células do parênquima e do clorênquima para a atmosfera.

As variáveis massa verde planta⁻¹, massa verde ha⁻¹, porcentagem de massa seca, massa seca planta⁻¹ e massa seca ha⁻¹ foram influenciadas significativamente pela presença de irrigação (Tabela 4). A variável massa verde cladódio⁻¹ apresentou diferença significativa apenas para as cultivares OE e GG, em que, as médias dos limites superiores testados superaram ($p < 0,05$) em 62% e 63% quando comparados às médias do SE, respectivamente.

As cultivares de palma submetidas a irrigação apresentaram maior acúmulo de massa verde por planta, conforme os valores obtidos (Tabela 4). As cultivares OE, DC e GG apresentaram maior acúmulo de massa verde quando irrigadas com os limites de Ψ_m entre -1,00 à -0,20 atm. As mesmas cultivares quando irrigadas com limites de Ψ_m -3,00 atm superaram em 156, 206 e 263 % as plantas cultivadas em sequeiro, respectivamente.

As cultivares IPA e OO quando manejada com o limite superior de Ψ_m a partir de -3,0 atm apresentaram produtividade média de massa verde ha⁻¹ de 254 e 181 Mg ha⁻¹ com acréscimo de 296 e 168 % de massa verde ha⁻¹, comparadas as plantas não irrigadas.

As cultivares OE, DC e GG tiveram melhor desempenho com o manejo de irrigação sob os Ψ_m entre -1,00 e -0,20 atm com média de 311, 161 e 338 Mg ha⁻¹ de massa verde respectivamente (Tabela 4). Entretanto, as plantas destas cultivares quando manejadas com limite superior de $\Psi_m = -3,00$ atm superaram de forma significativa as plantas cultivadas em condição de SE.

Os valores de MVP e MV ha⁻¹ encontrados no presente trabalho para a cultura da palma forrageira quando submetida a irrigação corroboram com os resultados encontrados por Rocha et al. (2017). Os autores avaliaram as características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira em diferentes intervalos de corte. Entretanto, os resultados da presente pesquisa superam os encontrados por Silva et al. (2015b) ao observarem os parâmetros produtivos de clones de palma forrageira (OE, IPA, DC), aos dois anos após o plantio, cultivados em condições de sequeiro.

O presente estudo indica que limites superiores de Ψ_m não convencionais que foram testados podem ser empregados como forma de manejo de irrigação, com efeito positivo nas variáveis de crescimento e produtividade para a cultura da palma forrageira.

As plantas de todas as cultivares quando manejadas com irrigação reduziram os teores de matéria seca, isso ocorreu pelo fato de que as plantas irrigadas estavam com maior grau de turgidez, sendo esses resultados semelhantes foram encontrados por Consoli et al. (2013) e Lima et al. (2016).

Os dados com base na massa seca são importantes para a palma forrageira por estes serem utilizados no procedimento de formulação de dietas animais.

A produção de massa seca ha⁻¹ seguiu comportamento semelhante da variável MV ha⁻¹, mesmo os tratamentos irrigados apresentando um menor teor de matéria seca, esses resultados para a produção de massa seca corroboram com os descritos na literatura.

Tabela 4. Médias da massa verde de cladódio (kg) e planta (kg planta⁻¹), produtividade de massa verde e massa seca (Mg ha⁻¹), teor de matéria seca (%) da palma forrageira (Orelha de Elefante, IPA Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de onça), submetidas a diferentes limites superiores de potenciais e condição de sequeiro no semiárido baiano .

Potências ψ (atm)	MVC (kg)	MVP (kg planta ⁻¹)	MV ha ⁻¹ (Mg)	% MS	MS ha ⁻¹ (Mg)
ORELHA DE ELEFANTE					
SE	1,033 a	4,787 a	95,741 a	9,97 b	9,545 a
-3,00	1,497 b	12,275 b	245,500 b	8,30 a	20,376 b
-1,00	1,740 b	14,964 c	299,280 c	8,22 a	24,600 c
-0,33	1,840 b	16,192 c	323,840 c	8,12 a	26,200 c
-0,20	1,637 b	15,632 c	312,640 c	8,05 a	25,167 c
IPA SERTÂNIA					
SE	0,840 a	3,217 a	64,340 a	9,70 b	6,240 a
-3,00	1,080 a	12,506 b	250,12 b	7,47 a	18,683 b
-1,00	1,075 a	12,179 b	243,580 b	7,99 a	19,462 b
-0,33	1,034 a	13,617 b	272,340 b	8,24 a	22,440 b
-0,20	0,902 a	12,447 b	248,940 b	8,25 a	20,537 b
DOCE					
SE	0,232 a	2,0694 a	41,388 a	9,73 b	4,200 a
-3,00	0,335 a	6,3382 b	126,760 b	8,60ab	10,901 b
-1,00	0,400 a	7,732 c	154,640 c	8,30 a	12,820 c
-0,33	0,377 a	8,075 c	161,500 c	8,40 a	13,566 c
-0,20	0,400 a	8,404 c	168,080 c	8,13 a	13,664 c
GIGANTE					
SE	0,970 a	4,1322 a	82,644 a	10,48 b	8,661 a
-3,00	1,497 b	15,029 b	300,580 b	8,52 a	25,609 b
-1,00	1,682 b	17,324 c	346,480 c	8,20 a	28,441 c
-0,33	1,590 b	17,108 c	342,168 c	8,30 a	28,399 c
-0,20	1,543 b	16,386 c	327,732 c	8,21 a	26,906 bc
ORELHA DE ONÇA					
SE	0,888 a	3,401 a	68,020 a	7,43 b	5,053 a
-3,00	1,072 a	8,308 b	166,160 b	6,20 a	10,301 b
-1,00	1,107 a	8,856 b	177,120 b	6,03 a	10,680 b
-0,33	1,175 a	1,962 b	219,240 b	6,20 a	13,592 b
-0,20	0,903 a	8,280 b	165,610 b	6,38 ab	10,565 b

MVC = massa verde de cladódio, MVP = massa verde por planta, MV ha⁻¹ = produtividade de massa verde, %MS = porcentagem de matéria seca, MS ha⁻¹ = produtividade de massa seca. Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O acúmulo de massa seca ha⁻¹ da palma forrageira das cultivares corroboram com o citado por Scalisi et al. (2016), que investigaram o efeito do déficit da água no solo e da temperatura sobre os mecanismos de crescimento de cladódios. Os autores observaram sob forte estresse hídrico, a taxa de crescimento de cladódios, teor relativo de água e fatores fisiológicos da palma forrageira foram prejudicados.

A irrigação na palma forrageira permite a não sazonalidade na produção de massa verde e seca, que é causada principalmente por reduções e ausência da precipitação durante os meses de estiagem, proporcionando a obtenção de massa

verde anual com resultados acima das colheitas bianuais obtidas por Silva et al. (2015b) e Cavalcante et al. (2014), em condições de sequeiro.

A redução do intervalo entre colheitas além de otimizar a produção, ajuda na conservação das características bromatológicas da cultura por reduzir a fração fibrosa e de lignina, mantendo a digestibilidade da forragem (Rocha et al. 2017).

CONCLUSÕES

A palma forrageira responde positivamente em ganhos de crescimento com o manejo de irrigação utilizando limites de potencial matricial igual ou superior a -3,00 atm, com acréscimo máximo de até 0,295 m² de área cladódios.

O manejo de irrigação para a palma forrageira pode ser baseado em um limite superior de potencial matricial de -1,00 atm nas cultivares Orelha de Elefante, Doce e Gigante. Para as cultivares IPA Sertânia e Orelha de onça pode-se utiliza o valor e -3,00 atm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, S. G. de. Cultivo da palma forrageira no Sertão do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000. 6 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado técnico, 91).
- AMORIM, D. M.; SILVA, T. G. F. da; PEREIRA, P. DE C.; SOUZA, L. S. B. de; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 47, n. 1, p. 62-71, 2017.
- BISPO, S. V.; FERREIRA, M. A.; VÉRAS, 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 características de fermentação ruminal em ovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 36, n. 6, p. 1902-1909, 2007.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. 'Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo', *Revista Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.

- 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*, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.
- CONTRERAS, J. I.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; BAEZA, R. Irrigation management of greenhouse zucchini with different soil matric potential level. Agronomic and environmental effects. *Agricultural Water Management*, v. 183, p. 26-34, 2017.
- CUSHMAN, J. C.; DAVIS, S. C.; YANG, X.; BORLAND, A. M. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. *Journal of Experimental Botany*, v. 66, n. 14, p. 4177–4193, 2015.
- DUBEUX JUNIOR, 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 Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J. L.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004.
- INEMA- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Solos estado da Bahia 2012. Salvador- BA. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/MTematico_solos.pdf>. Acesso: 05 mar. 2018.
- JONG VAN LIER, Q. de. Field capacity, a valid upper limit of crop available water?. *Agricultural Water Management*, v. 193, p. 214-220, 2017.
- LÉTOURNEAU, G.; CARON, J.; ANDERSON, L.; CORMIER, J. Matric potential-based irrigation management offield-grown strawberry: Effects on yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, v. 161, p. 102-113, 2015.
- LIMA, G. F. C.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, J. G. M.; AGUIAR, E. M. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under diferente cutting intensities. *Revista Caatinga*, v. 29, n. 2, p. 481-488, 2016.

- NOBEL, P. S.; BOBICH, E. Initial net CO₂ uptake responses and root growth for a CAM community placed in a closed environment. *Annals of Botany*, v. 90, n. 5, p. 593-598, 2002.
- NOLZ, R.; CEPUDER, P.; BALAS, J.; LOISKANDL, W. Soil water monitoring in a vineyard and assessment of unsaturated hydraulic parameters as thresholds for irrigation management. *Agricultural Water Management*, v. 164, p. 235-243, 2016.
- OLIVEIRA JÚNIOR, S.; BARREIRO NETO, M.; RAMOS, J. P. de F.; LEITE, M. L. de M. V.; BRITO, E. A. de; NASCIMENTO, J. P. do. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, v. 3, n. 1, p. 7-12, 2009.
- PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS, D. C. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015.
- PIMIENTA-BARRIOS, E.; CASTILLO-CRUZ, I.; ZAÑUDO-HERNÁNDEZ, J.; MÉNDEZ-MORÁN, L.; NOBEL, P.S. Effects of shade, drought and daughter cladodes on the CO₂ uptake by cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Annals Applied Biology*, v. 151, n. 2, p. 137-144, 2007.
- QUEIROZ, M. G. de; Silva, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015.
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; SOUZA, C. A. A.; CARVALHO, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. *Irriga, Edição Especial, Irrigação, Irrigação*, p. 141-154, 2016.
- RAMOS, J. P. R.; LEITE, M. L. M. V.; OLIVEIRA JÚNIOR, S.; NASCIMENTO, J. P.; SANTOS, E. M. Crescimento vegetativo de *opuntiaficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. *Revista Caatinga*, v. 24, n. 3, p. 41-48, 2011.
- ROCHA, R. S.; VOLTOLINI, T. V.; GAVA, C. A. T. Características produtivas e estruturais de genótipos de palma forrageira irrigada em diferentes intervalos de corte. *Archivos de zootecnia*, v. 66, n. 255, p. 363-371, 2017.
- SANTOS, D. C.; SILVA, M.C.; DUBEUX JÚNIOR, J.; LIRA, M.; SILVA, R. M. Estratégias para o uso de cactáceas em duas categorias semiáridas: novas

- cultivares e uso sustentável das espécies nativas. *Revista Científica de Produção Animal*, v. 15, n. 2, p. 111-121, 2013.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, v. 122, p. 158-167, 2016.
- SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. *Scientia Agricola*, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015a.
- SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. *Revista Caatinga*, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015b.
- SILVA, T. G. F.; MIRANDA, K. R. de; SANTOS, D. C. dos; QUEIROZ, M. G. de; SILVA, M. da C.; CRUZ NETO, J. F. da; ARAÚJO, J. E.M. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. *Agrária*, v. 9, n. 4, p. 633-641, 2014.
- SNYMAN, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. *South African Journal of Botany*, v. 72, n. 3, p.434-441, 2006.
- TOSTO, M. S. L.; ARAÚJO, G. G. L.; OLIVEIRA, R. L. Composição química e estimativa de energia da palma forrageira e do resíduo desidratado de vitivinícolas. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 8, n. 3, p. 239-149, 2007.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, p. 892-898, 1980.
- WANG, F. X.; YAOHU, K.; LIU, S. P.; HOU, X. Y. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. v. 88, n. 3, p. 34-42, 2007.

CAPÍTULO II
EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA PALMA
FORRAGEIRA SOB MANEJO DE IRRIGAÇÃO VIA SOLO E EM SEQUEIRO

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA DA PALMA FORRAGEIRA SOB MANEJO DE IRRIGAÇÃO VIA SOLO E EM SEQUEIRO

RESUMO: A definição de estratégias para o uso eficiente da água na irrigação depende de informações relacionadas às respostas das culturas a níveis de disponibilidade de água no solo. O objetivo do presente estudo foi determinar a evapotranspiração e indicadores de eficiência do uso da água de cinco cultivares de palma forrageira submetida a diferentes limites de potencial matricial do solo. As cultivares avaliadas foram: Orelha de Elefante, IPA Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de Onça. As cultivares foram submetidas a irrigações baseadas em diferentes limites superiores de potencial matricial de água no solo (-0,20; -0,33; -1,00 e -3,00 atm). Durante 365 dias, as cultivares de palma forrageira apresentaram uma evapotranspiração real acumulada média de 43, 69, 141, 265 e 373 mm equivalente a 0,12; 0,19; 0,39; 0,73 e 1,1 mm dia⁻¹ para a condição de sequeiro e irrigada com base nos limites superiores de potencial matricial (-3,00; -1,00; -0,33 e -0,20 atm), respectivamente. As cultivares IPA-Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de Onça têm melhor eficiência do uso da água quando a irrigação é manejada com base no limite superior de potencial matricial entre -3,00 e -0,20 atm, Já a cultivar Orelha de Elefante apresentou melhor eficiência de uso da água quando a irrigação foi manejada com potenciais matriciais variando entre -1,00 e -0,20 atm.

Palavras-chave: potencial matricial; evapotranspiração; *Opuntia*.

EVAPOTRANSPIRATION AND WATER USE EFFICIENCY OF THE PALMA FORRAGEIRA UNDER IRRIGATION MANAGEMENT ONLY AND IN DROUGHT

ABSTRACT: The definition of strategies for efficient use of water for irrigation depends on information related to crop responses to water availability levels in the soil. The objective of the present study was to determine the evapotranspiration and efficiency indicators of water usage of five forage cactus varieties submitted to different soil matric potential limits. The evaluated cultivars were: Orelha de Elefante, IPA Sertânia, Doce, Gigante and Orelha de de Onça. The cultivars were subjected to irrigation based on higher different limits of water matric potential in the soil (-0.20 atm; -0.33 atm, atm -1.00 and -3.00 atm). During 365 days, forage cactus cultivars had a mean accumulated evapotranspiration of 43, 69, 141, 265 and 373 mm, equivalent to 0.12; 0.19; 0.39; 0.73 and 1.1 mm day⁻¹ for the rainfed and irrigated conditions based on the upper limits of matrix potential (-3.00, -1.00, -0.33 and -0.20 atm), respectively. The cultivars IPA-Sertânia, Doce, Gigante and Orelha de Onça have better efficiency of the use of water when the irrigation is managed based on the higher limit of matrix potential between -3.00 and -0.22 atm. In contrast the cultivar Orelha de Elefante presented better water use efficiency when irrigation was managed with matrix potentials varying between -1.00 and -0.22 atm.

Key words: matric potential; evapotranspiration; *Opuntia*

INTRODUÇÃO

Apesar da importância da palma forrageira para a convivência com o semiárido, existe pouco registro de conhecimento sobre a interação desta cultura com o uso da irrigação.

A definição de estratégias de manejo de irrigação depende de informações relacionadas às respostas das culturas aos diferentes níveis de disponibilidade de água, visto que são importantes para melhorar o uso da água pelas culturas (Silva et al., 2015a; Tari, 2016).

Para determinar o uso da água pelas culturas, diversos métodos podem ser utilizados, sendo os de uso mais comum o balanço de água no solo e a lisimetria. O método do balanço de água no solo (BAS) trata-se da quantificação de entradas e saídas de água em um determinado volume de solo, delimitado pela superfície do solo até a profundidade efetiva do sistema radicular, durante um período de tempo (Contreras et al., 2017).

O balanço de água no solo fornece conhecimentos essenciais para práticas de manejo agrícola durante diferentes estágios fenológicos para a melhoria do rendimento das culturas (Ghiberto et al., 2011), enquanto a evapotranspiração fornece informações importantes para o manejo da água tanto em solo irrigado quanto em solo seco. Portanto, o balanço de água no solo é uma boa alternativa para determinação da evapotranspiração da palma forrageira no semiárido brasileiro, onde essa cultura é de grande importância econômica.

Estudos anteriores utilizaram o método do balanço de água no solo para quantificar a evapotranspiração do cacto *Opuntia ellisiana Griffiths* na região semiárida de Kingsville, Texas, EUA (Han & Felker, 1997). O método micrometeorológico de vórtices turbulentos também foi adotado para determinar os fluxos de energia, evapotranspiração e coeficiente de cultura de palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. cultivada para produção de frutas na Sicília, Itália (Consoli et al., 2013).

Valores de evapotranspiração de um cultivo podem ser utilizados para gerar indicadores da eficiência do uso da água, os quais são de extrema importância para o conhecimento de culturas viáveis para regiões com problemas referentes a escassez hídrica (Souza et al., 2011).

De acordo com Aryay et al. (2011) os indicadores mais expressivos são a eficiência do uso de água com base na biomassa (EUA) e a produtividade econômica da água (PEA). Tais indicadores foram empregues em poucos estudos voltados para a cultura da palma forrageira.

Silva et al. (2014) ao avaliarem cultivares de palma forrageira em condições de sequeiro constataram que a Orelha de Elefante e a IPA Sertânia são cultivares que se destacaram em termos de eficiência do uso da água, considerando a produção de massa fresca.

De acordo com Scalise et al. (2016), a água retida nos cladódios é um fator primordial para a manutenção do acúmulo de matéria seca da palma forrageira, o que resulta em altas eficiências no uso da água. Entretanto, informações referentes a evapotranspiração e indicadores de eficiência do uso da água pela palma forrageira em condições irrigadas ainda são escassas.

O objetivo do presente estudo foi determinar a evapotranspiração e indicadores de eficiência do uso da água para cinco cultivares de palma forrageira submetida a diferentes limites de potencial matricial do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido nas dependências do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Baiano- IF Baiano, nas condições edafoclimáticas da cidade de Senhor do Bonfim- Bahia, localizado nas coordenadas: latitude 10° 26' 38" S; longitude 40° 08' 51" W e altitude de 532 m. O período experimental foi de 15 de agosto de 2016 a 14 de agosto de 2017, referente ao primeiro ciclo da cultura.

Para realização do experimento delimitou-se uma área de 1200 m². Antes do plantio o solo foi descompactado por meio de gradagem e corrigido quanto a acidez com uso da calagem. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo conforme o INEMA (2012), e apresenta 22,3% de argila; 7,9% de silte e 69,8% de areia.

Foram coletadas amostras indeformadas de solo da área experimental para a obtenção de dados físico-hídricos do solo, nas profundidades de 0,15 e 0,45 m, em cinco pontos aleatórios, totalizando dez amostras. As médias referentes a retenção de água no solo da área experimental encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Retenção de água no solo utilizado no estudo com cultivares de palma forrageira, Senhor do Bonfim-BA.

Camada de solo (m)	Retenção de água (m ³ m ⁻³)				
	Ψ _m -0,10 atm	Ψ _m -0,33 atm	Ψ _m -1,00 atm.	Ψ _m -3,00 atm	Ψ _m -15,00 atm
0,15	0,191	0,135	0,118	0,112	0,110
0,45	0,186	0,145	0,128	0,114	0,108

Com os dados da Tabela 1, ajustou-se a equação 1, proposta por van Genuchten, (1980), obtendo-se os parâmetros “α, m e n” por meio da minimização da soma dos quadrados dos erros.

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \cdot \left[\frac{1}{1 + (\alpha \cdot |\Psi_m|)^n} \right]^m \quad (1)$$

Em que:

θ - umidade volumétrica, (m³ m⁻³);

ψ_m - potencial matricial (atm);

θ_s - umidade do solo saturado (m³ m⁻³);

θ_r - umidade residual do solo (m³ m⁻³);

α, m e n - parâmetros de ajustes (m= 1-1/n).

Os valores de θ obtidos por meio da TDR foram transformados em ψ_m, pela equação 2:

$$\Psi_m = \frac{\left[\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}}}{\alpha} \quad (2)$$

Em que:

Ψ_m - potencial matricial (atm);

θ_s - umidade do solo saturado (m³ m⁻³);

θ_r - umidade residual do solo (m³ m⁻³);

θ - umidade atual do solo (m³ m⁻³);

m, α e n - parâmetros adimensionais de ajuste (m=1- 1/n).

Foram plantadas cinco cultivares de palma forrageira com espaçamento entre fileiras de 1,0 m e entre plantas de 0,5 m, resultando em uma densidade de 20.000 plantas por ha. As cultivares utilizadas foram: 1- Orelha de Elefante mexicana (OE) pertencente a espécie *Opuntia stricta*; 2- IPA Sertânia (IPA), 3-

Doce (DC) sendo ambas pertencentes a espécie *Nopalea cochenillifera* Salm Dick ; 4- Gigante (GG) e 5- Orelha de Onça (OO) pertencentes a espécie *Opuntia ficus-indica* L.(Mill).

Os tratamentos para cada experimento foram baseados em estratégias de manejo de irrigação baseadas nos seguintes limites superiores de potencial matricial: -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm e -3,00 atm, além de um tratamento em condições de sequeiro (SE), para fins comparativos.

Para determinação das lâminas de irrigação realizou-se leituras de (θ) na zona radicular da cultura em frequência de três dias. Com base nos valores de (θ) calculava-se o volume de água necessário para retornar a umidade do solo aos valores de: 0,155; 0,137; 0,119 e 0,113 $m^3 m^{-3}$, correspondentes aos valores de potencial matricial (Ψ_m) de -0,20; -0,33; -1,00 e -3,00 atm.

O monitoramento da umidade do solo foi feito por meio de sondas de TDR instaladas a 0,15 m e 0,45 m de profundidade e a 0,20 m de distância da planta. As sondas foram construídas em laboratório, com as seguintes características: três hastes de aço inoxidável de 0,003 m de diâmetro com comprimento efetivo de 0,1 m, fora da resina e espaçadas entre si por 0,017 m; cabos coaxiais de 50 ohms; comprimento da camada de resina de poliéster no início das hastes de 0,05 m. Após construídas as sondas foram calibradas conforme (Silva et al., 2015). A equação resultante do processo de calibração é a equação 3:

$$\theta = 0,00005Ka^3 - 0,0026Ka^2 + 0,0504Ka - 0,2604 \quad R^2 = 0,99 \quad (3)$$

Em que:

θ - umidade volumétrica, ($m^3 m^3$);

Ka - constante dielétrica.

O método de irrigação utilizado foi o localizado com sistema por gotejamento, com um emissor por planta, os emissores foi do tipo autocompensante com a vazão de 2,3 L h⁻¹. O sistema operou a uma pressão de 1,00 atm, resultando em um coeficiente médio de uniformidade de 92%.

O balanço de água no solo foi realizado com base em processos de entrada e saída de água no solo, conforme a equação 4:

$$\Delta h = P + I + AC - D - ETr \pm R \quad (4)$$

Em que:

Δh - variação de armazenagem (mm);

- P - precipitação (mm);
 I - irrigação (mm);
 D - drenagem vertical (mm);
 AC - ascensão capilar (mm);
 ETr - evapotranspiração real (mm);
 R - deflúvio superficial (mm).

O componente R foi considerado nulo para o presente estudo, pois o emissor do sistema de irrigação utilizado tem baixa intensidade de aplicação e a área experimental apresenta menos de 2 % declividade. Durante o período de realização do balanço hídrico não se observou aumento de umidade na profundidade de 0,45 m, por este motivo descartou-se a possibilidade de haver drenagem e/ou ascensão capilar.

A variação de armazenagem de água no solo foi determinada com base em valores de umidade obtidos em tempos específicos:

$$\Delta h = (\theta_{t_2} - \theta_{t_1}) \cdot L \quad (5)$$

Em que:

Δh - valor da variação de armazenagem de água do solo (mm);

θ_{t_1} - valor de umidade obtido antes do início de uma irrigação I_i ($m^3 m^{-3}$);

θ_{t_2} - valor de umidade obtido antes da irrigação subsequente I_{i+1} ($m^3 m^{-3}$);

L - profundidade (0,25 m).

A profundidade de 0,25 m foi adotada com base em estudos (Snyman, 2006; Cushman et al., 2015) que demonstram a profundidade efetiva de raízes da palma forrageira.

Nos dias de ocorrência de precipitação não se realizou o balanço de água no solo.

As eficiências do uso da água (EUA) foi calculada com base na relação entre a produção de biomassa verde e seca com o volume de água precipitado e aplicada via irrigação para a cultura ($kg m^{-3}$) como também pela evapotranspiração real da cultura ($kg ha^{-1} mm^{-1}$) (Souza, et al., 2011; Geerts & Raes, 2009).

A eficiência de uso da água com base no volume de água aplicada na cultura ($EUA_{(I+P)}$) e a eficiência de uso de água com base na evapotranspiração real ($EUA_{(ETr)}$) se dá pelas seguintes equações:

$$EUA_{(I+P)} = \frac{Y}{\sum I + \sum(P)} \quad (6)$$

$$EUA_{(ETr)} = \frac{Y}{\sum ETr} \quad (7)$$

Em que:

Y - rendimento da cultura kg ha⁻¹;

I - irrigação (m³ ha⁻¹);

P - precipitação (m³ ha⁻¹);

ETr - evapotranspiração de referência (mm).

As variáveis referentes as eficiências do uso da água para a biomassa verde e seca com base na água aplicada e na evapotranspiração foram submetidos a análise de variância, a comparação de médias foi realizada utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração real acumulada para todas as cultivares submetidas às estratégias de manejo de irrigação e cultivo em sequeiro encontram-se na Figura 1. O uso da irrigação aumentou a evapotranspiração real (ETr) da palma forrageira em comparação ao cultivo de sequeiro. Entre as plantas irrigadas a ETr variou conforme o manejo de irrigação adotado. Em média, a ETr das cultivares estudadas foram elevadas em 26,7 mm, 99,03 mm; 223,12 mm e 331,61 mm quando irrigadas com base nos limites críticos superiores de -3,00 atm; -1,00 atm; -0,33 atm e -0,22 atm, respectivamente. Infere-se que o aumento do potencial matricial implica no aumento de água disponível para planta, conseqüentemente a palma forrageira passa a aumentar sua evapotranspiração.

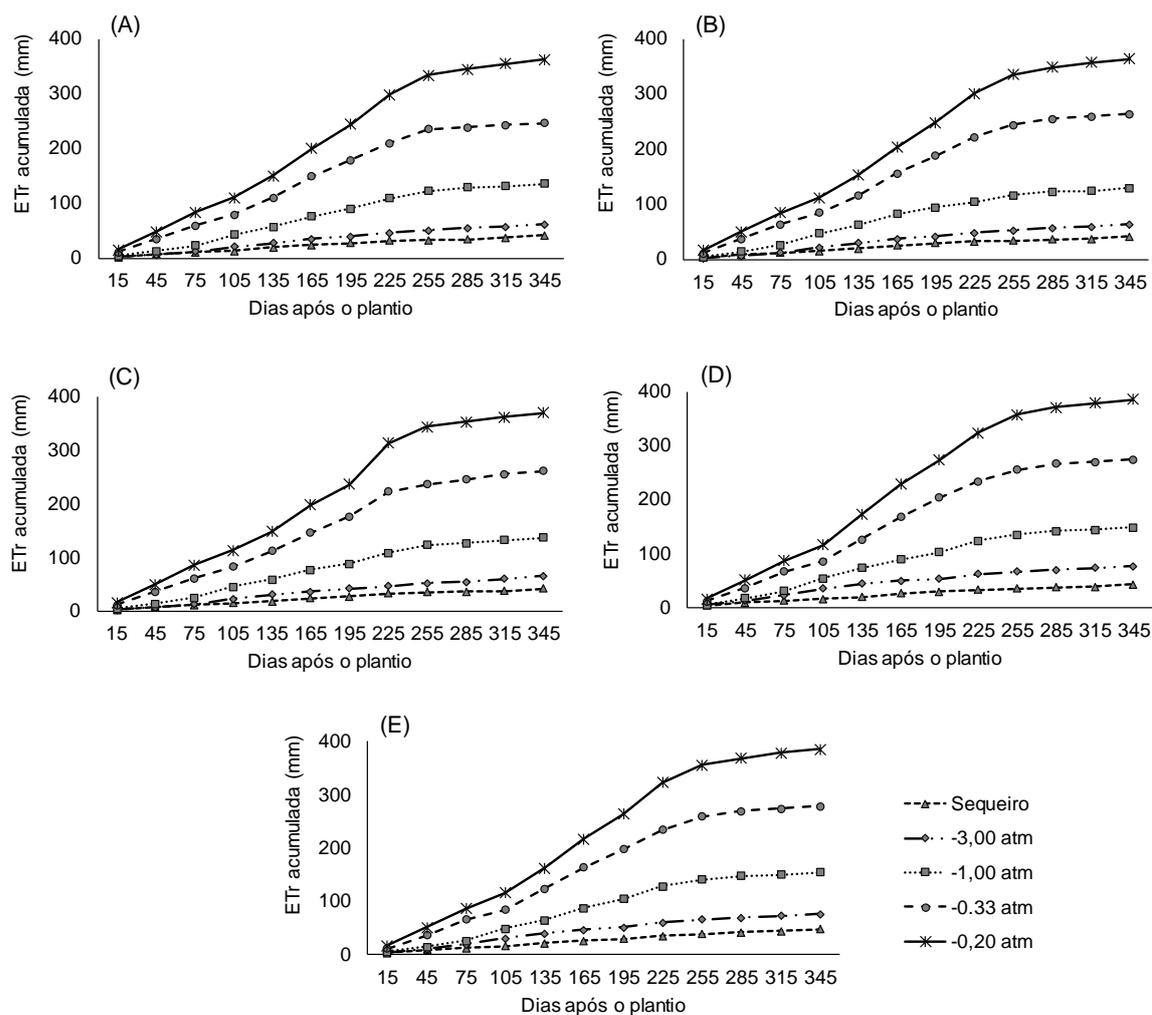


Figura 1. Evapotranspiração real acumulada durante o ciclo das cultivares Orelha de Elefante (A); IPA-Sertânia (B); Doce (C); Gigante (D) e Orelha de Onça (E).

O acréscimo da ETr com o aumento do potencial matricial, implica afirmar que a palma forrageira aumenta sua transpiração devido a maior disponibilidade de água. Apesar, a maior disponibilidade de água proporciona também aumento na evaporação. Scalisi et al. (2016) ao investigarem o efeito do déficit hídrico do solo e temperatura nos mecanismos diários de crescimento de cladódios em palma forrageira, observaram que a condutância estomática de das plantas irrigadas quadruplica, durante o período noturno, quando comparadas as plantas as cultivadas em condição de sequeiro.

Os valores de ETr acumulados das cultivares em cada estratégia de manejo de irrigação adotada, bem como na condição de sequeiro encontram-se apresentados na Figura 2. A evapotranspiração real da palma forrageira determinada pelo balanço de água no solo variou apenas em 5,72 mm entre as

cultivares submetidas ao cultivo de sequeiro. Já a evapotranspiração real das cultivares irrigadas com base no limite crítico superior de -3,00 atm variou em 14,07 mm. Nos casos em que as irrigações foram realizadas baseadas nos limites críticos superiores de -1,00 atm, -0,33 atm e -0,20 atm a evapotranspiração real das cultivares variaram em 25 mm, 32 mm e 24 mm, respectivamente. Na condição de cultivo de sequeiro, o maior valor de ETr foi determinado na cultivar orelha de onça, 47,23 mm (Figura 2A). Nesta condição de cultivo, as demais cultivares tiveram valores de ETr variando de 41,51 a 41,83 mm.

Na Figura 2B, é observado os valores do consumo hídrico das cultivares irrigadas com base em um potencial de -3,00 atm. Similar a condição de sequeiro, os maiores valores de ETr nesta condição foram estimados nas cultivares Gigante (78,51 mm) e Orelha de Onça (75,36 mm). A menor ETr foi calculada na cultivar orelha de elefante (61,29 mm).

Com o uso da estratégia de manejo que utiliza o potencial de -0,20 atm como limite crítico superior os menores valores de ETr acumulada foi obtido para as cultivares orelha de elefante (362,31 mm) e IPA Sertânia (363,44 mm), conforme (Figura 2E). A maior ETr estimada foi igual a 385,57 mm para cultivar Orelha de Onça.

Durante 365 dias de cultivo, as cultivares de palma forrageira apresentaram, em média, uma ETr acumulada média de 42,77; 68,67; 140,60; 264,7; 373,2 mm ano⁻¹. As médias diárias de ETr foram 0,12; 0,19; 0,39; 0,73 e 1,1 mm dia⁻¹ para a condição de cultivo SE e irrigada com base nos limites superiores de Ψ_m (-3,00; -1,00; -0,33 e -0,20 atm), respectivamente.

Os resultados obtidos na condição de cultivo irrigado baseado em um potencial de -0,20 atm são semelhantes aos obtidos por Pereira et al. (2017) ao realizarem o balanço de água no solo para a palma forrageira. Os autores estudaram o efeito de diferentes frequências de irrigação com lâmina fixa em três cultivares em condições semiáridas e constataram uma ETr acumulada de 377 mm, para um período de 252 dias, resultando em uma ETr diária média de 1,5 mm. Em condições semiáridas de Kingsville, Texas, USA, Han & Felker (1997) encontraram valor médio de ETr equivalente a 1,4 mm dia⁻¹, utilizando o balanço de água no solo.

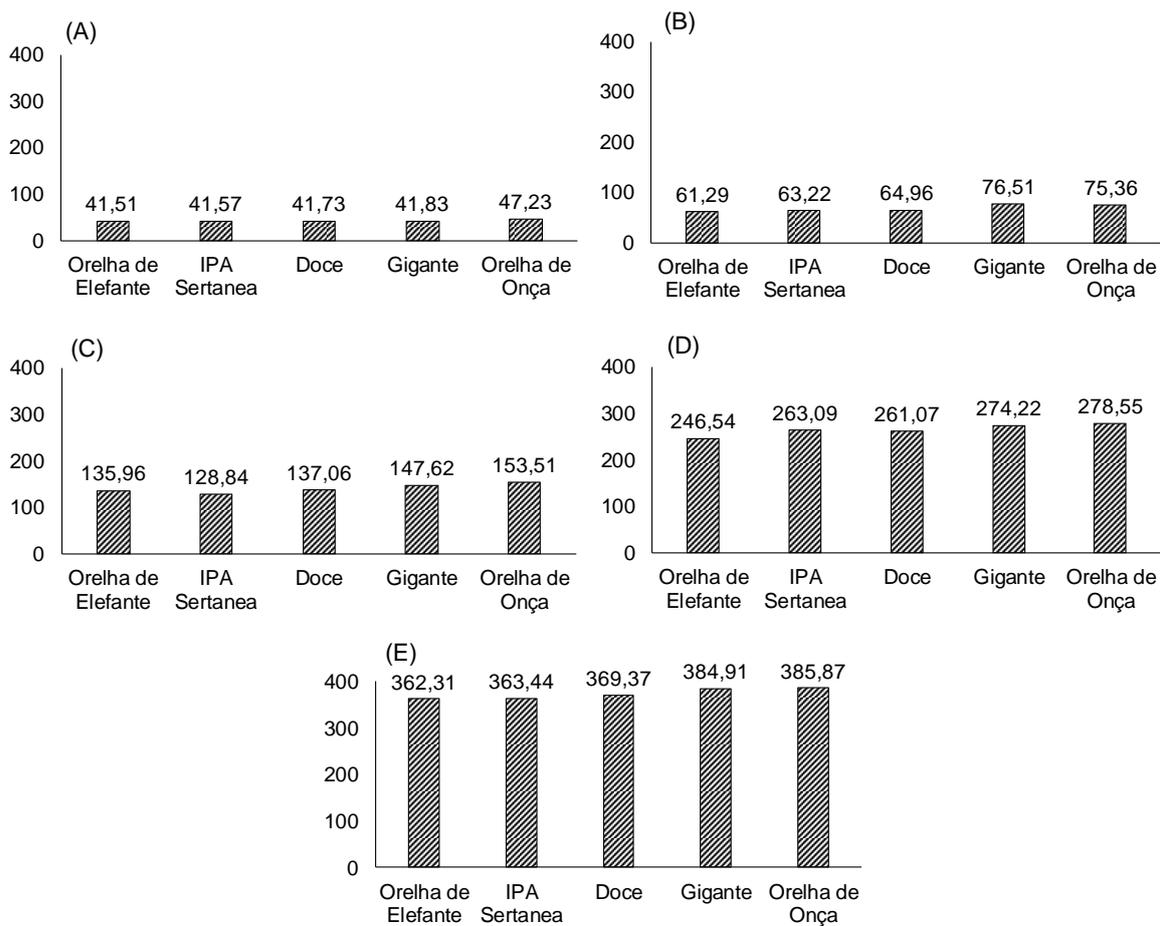


Figura 2. Evapotranspiração real acumulada das cultivares Orelha de elefante, IPA-Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de onça durante o período experimental em função dos manejos adotados: sequeiro (A) e submetida aos limites superiores de -3,00 atm (B); -1,00 atm (C); -0,33 atm (D) e -0,20 atm (E)

Consoli et al. (2013) por meio da covariância de vórtices turbulentos, na região mediterrânea da Sicília, Itália, encontraram uma ETr cumulativa para *Opuntia ficus - indica* L. (Mill.), quando cultivada para a finalidade de produção de frutos, na ordem 269 mm para o período de junho a setembro resultando em um ETr de 2,25 mm dia⁻¹, dados esses que estão acima dos encontrados no presente estudo, talvez pelo fato dos autores terem avaliados plantas de palma forrageira em fase de produção de frutos.

Na Tabela 2 são apresentados os indicadores de eficiência do uso de água com base na água aplicada (irrigação + precipitação) na produtividade de biomassa verde ($EUA_{(I+P)MV}$) e na biomassa seca ($EUA_{(I+P)MS}$), tendo como referência o acúmulo dos valores de irrigação e precipitação pluviométrica, para as cinco cultivares de palma forrageira submetidas ao manejo de irrigação com diferentes

limites superiores de potenciais matriciais. Houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados ($P < 0,05$).

O uso da irrigação elevou a eficiência do uso da água de todas as cultivares de palma forrageira avaliadas. As estratégias de manejo de irrigação influenciaram de forma significativa a EUA das plantas irrigadas. Todavia, somente para a cultivar Doce, não houve diferença estatística em função dos manejos de irrigação adotados. A eficiência de uso da água da cultivar doce irrigada foi de $40,9 \text{ kg m}^{-3}$, enquanto no cultivo de sequeiro a EUA desta cultivar foi $11,98 \text{ kg m}^{-3}$.

Para as cultivares GG e OO a aplicação de lâminas de águas calculadas com base nos limites críticos de potencial Ψ_m igual a $-0,20 \text{ atm}$ implicou em uma redução da $EUA_{(I+P)MV}$.

A produção média de biomassa verde por hectare para as cultivares IPA e OO foi de 254.000 e 181.000 kg quando manejada com o limite Ψ_m superior a partir de $-3,00 \text{ atm}$. As cultivares OE, DC e GG tiveram o maior desempenho com o manejo de irrigação utilizando os Ψ_m entre $-1,00$ e $-0,20 \text{ atm}$ com média de 311.000 , 161.000 e 338.000 kg de biomassa verde, respectivamente.

As plantas de palma forrageira irrigadas apresentaram em sua constituição aproximadamente 92% de água, que é armazenada principalmente no clorênquima e no parênquima (Scalasis et al., 2016), com isso, a palma além das características de planta forrageira assume também a função de armazenar e fornecer água para os animais quando fornecida *in natura*.

Abidi et al. (2009) relata que o fornecimento de dieta a base de palma forrageira contribui de forma significativa no suprimento das necessidades de água em caprinos, com redução de cerca de $1/3$ da água consumida nos bebedouros pelos animais.

O armazenamento médio de água na parte aérea vegetativa das plantas irrigadas foi de $286,12 \text{ m}^3$; $233,68 \text{ m}^3$; $148,12 \text{ m}^3$, $310,96 \text{ m}^3$ e $166,52 \text{ m}^3$, por hectare de plantio das cultivares OE, IPA, DC, GG e OO, respectivamente. Verifica-se que o volume total de água obtido na parte aérea da palma no momento da colheita corresponde a cerca de 35% do volume de água aplicada.

Han & Felker (1997) nas condições semiáridas de Kingsville, Texas, USA, usando microlisímetros para medições de evaporação direta do solo e dados meteorológicos complementares constataram que a *Opuntia ellisiana* armazenou

170 m³ de água para cada hectare cultivado, o que os autores chamam de água potável útil para o animal.

Ao considerar o volume de água útil armazenada na parte aérea da palma forrageira no momento da colheita, os valores de EUA obtidos elevam-se. Por exemplo, na irrigação da cultivar Gigante, baseada em um limite crítico superior de -3,00 atm foi aplicado e precipitado 3524 m³ de água por hectare. A produtividade desta cultivar foi 300.580 kg de biomassa verde. Sem considerar o volume útil armazenado na parte aérea vegetal a $EUA_{(I+P)MV}$ obtida foi de 85,29 kg m⁻³, enquanto considerando este volume armazenado a $EUA_{(I+P)MV}$ estimada passa para 92,51 kg m⁻³.

A estratégia de manejo de irrigação com limite superior de -3,00 atm pode ser utilizado para a obtenção de melhores valores de $EUA_{(I+P)MV}$ em todas cultivares, com exceção da cultivar Orelha de Elefante que obteve os melhores resultados entre -1,00 e -0,20 atm.

Os resultados referentes ao $EUA_{(I+P)MS}$ para as cultivares avaliadas, com exceção da OE, não apresentaram diferença em função dos critérios de manejo de irrigação via solo estudados. As médias de $EUA_{(I+P)MV}$ obtidas foram de 5,47 kg.m⁻³; 3,36 kg.m⁻³; 7,39 kg m⁻³ e 2,91 kg m⁻³, superando o tratamento em condições de sequeiro em 267 %, 253 %, 196 % e 99 % para as cultivares IPA, DC, GG e OO, respectivamente (Tabela 2).

A palma forrageira apresentou eficiência de uso de água maior do que a de muitas espécies forrageiras (incluindo C3 e C4), como cana-de açúcar 14kg m³ (Oliveira et al., 2011), aveia-preta 1,4kg m⁻³ (Salvador et al., 2014) e o trigo 1,3 kg m⁻³ (Tari et al., 2016). O elevada eficiência de uso da água da palma forrageira é produto do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) e de várias adaptações morfofisiológicas tais como: cutícula espessa, raízes laterais superficiais com capacidade de absorção de baixas precipitações, grandes vacúolos, baixa frequência de abertura e baixa densidade estomática, células mucilaginosas, folhas modificadas (Nobel & Bobich, 2002; Snyman, 2006; Cushman et al., 2015; Scalisi et al., 2016).

Han & Felker (1997) encontraram EUA equivalentes a 2,54 kg MS m⁻³ e 3,51 kg MS m⁻³ para o terceiro e quarto ano produtivo da cultura da palma *Opuntia ellisiana* L. com o método do balanço de água no solo nas condições semiáridas de Kingsville, Texas, USA.

Queiroz et al. (2016) determinaram a EUA da palma forrageira com o manejo de irrigação baseado em percentagens da evapotranspiração de referência sendo estas 0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% (lâminas acumuladas de 976 mm, 1048 mm, 1096 mm, 1152 mm e 1202 mm), estimaram valores máximos de 12,1 Kg m⁻³ para produtividade de biomassa verde e de 0,75 Kg m⁻³ para produtividade de biomassa seca. Esses valores estão muito abaixo dos encontrados no presente estudo como também dos citados na literatura (Han & Felker, 1997; Consoli et al. 2013) para a cultura, tal discrepância no valores estimados por Queiroz et al. (2016) devem estar relacionados com a aplicação de lâminas de irrigação muito elevada para a cultura e pelo fato dos autores terem aplicado uma lâmina de 607 mm durante os primeiros 186 dias de cultivo para todas as parcelas experimentais.

Há trabalhos na literatura que evidenciam a eficiência do uso da água da palma forrageira abordando somente valores de precipitação pluviométrica, os quais denominam de eficiência do uso da chuva (Silva et al., 2014; Dubeux Junior et al., 2006), que equivalem a $E_{(I+P)MV}$ e $EUA_{(I+P)MS}$ para a condição de sequeiro no presente estudo.

Tabela 2. Eficiência do uso da água com base na água recebida pela cultura na biomassa verde e seca para cinco cultivares de palma forrageira (Orelha de Elefante, IPA Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de onça), submetidas a diferentes limites superiores de potenciais e condição de sequeiro no Semiárido brasileiro.

Potências Ψ_m (atm)	Sequeiro	-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
ORELHA DE ELEFANTE					
$EUA_{(I+P)MV}$ (kg m ⁻³)	27,75 a	69,92 b	84,26 c	86,74 c	81,18 c
$EUA_{(I+P)MS}$ (kg m ⁻³)	2,77 a	5,80 b	6,92 c	7,01 c	6,54 bc
IPA SERTÂNIA					
$EUA_{(I+P)MV}$ (kg m ⁻³)	18,64 a	71,70 bc	68,08 bc	76,10 c	63,85 b
$EUA_{(I+P)MS}$ (kg m ⁻³)	1,49 a	5,30 b	5,44 b	5,87 b	5,28 b
DOCE					
$EUA_{(I+P)MV}$ (kg m ⁻³)	11,98 a	35,24 b	42,86 b	42,66 b	42,77 b
$EUA_{(I+P)MS}$ (kg m ⁻³)	0,95 a	2,92 b	3,51 b	3,49 b	3,52 b
GIGANTE					
$EUA_{(I+P)MV}$ (kg m ⁻³)	23,78 a	85,29 bc	96,06 c	90,27 c	83,35 b
$EUA_{(I+P)MS}$ (kg m ⁻³)	2,49 a	7,87 b	7,49 b	7,25 b	6,04 b
ORELHA DE ONÇA					
$EUA_{(I+P)MV}$ (kg m ⁻³)	19,72 a	47,16 bc	49,19 c	51,81 c	42,02 b
$EUA_{(I+P)MS}$ (kg m ⁻³)	1,46 a	2,92 b	2,97 b	3,08 b	2,68 b

$EUA_{(I+P)MV}$ = eficiência de uso da água com base no volume aplicada na cultura para a produtividade de biomassa verde, $EUA_{(I+P)MS}$ = eficiência de uso da água com base no volume aplicada na cultura para a produtividade de biomassa seca, Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A eficiência do uso da água quando estimada pela evapotranspiração real da palma forrageira (Tabela 3) foi maior do que quando estimada pela lâmina aplicada via precipitação pluviométrica e/ou a aplicada via irrigação. Este comportamento foi semelhante aquele constatado por Queiroz et al. (2016) para a palma forrageira, apesar de terem utilizado lâminas consideradas elevadas para a cultura da palma forrageira.

Os maiores valores estimados de EUA com base na evapotranspiração real cultivares foram para o limite de potencial matricial de -3,00 atm em relação a produtividade de biomassa verde e biomassa seca para todas as cultivares. Esses valores demonstram que a cultura quando manejada com potenciais matriciais elevados tem umas das suas principais vantagens para o seu cultivo em regiões semiáridas, eficiência do uso da água, reduzida. As cultivares com maior EUA com base na evapotranspiração real foram a Orelha de Elefante e a Gigante, ambas também apresentaram os maiores resultados quando realizada a EUA com base na lâmina precipitada e irrigada.

Tabela 3. Eficiência do uso da água com base na evapotranspiração real para a produtividade de biomassa verde e seca de cinco cultivares de palma forrageira (Orelha de Elefante, IPA Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de onça), submetidas a diferentes limites superiores de potenciais e condição de sequeiro no Semiárido brasileiro.

Potências Ψ_m (atm)	Sequeiro	-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
ORELHA DE ELEFANTE					
EUA _(ET_r) MV(kg m ⁻³)	224,62 b	400,27 c	220,12 b	131,37 a	86,33 a
EUA _(ET_r) MS (kg m ⁻³)	21,82 b	33,24 c	18,09 b	10,62 c	6,95 c
IPA SERTÂNIA					
EUA _(ET_r) MV(kg m ⁻³)	140,27 ab	386,79 c	190,96 b	110,73 a	68,14 a
EUA _(ET_r) MS (kg m ⁻³)	12,44 ab	23,26 b	14,94 ab	8,55 a	5,67 a
DOCE					
EUA _(ET_r) MV(kg m ⁻³)	99,01 b	190,09 c	112,04 b	61,82 ab	45,50 a
EUA _(ET_r) MS (kg m ⁻³)	9,17 a	15,84 b	7,86 a	5,06 a	3,74 a
GIGANTE					
EUA _(ET_r) MV(kg m ⁻³)	192,82 b	334,31 c	133,69 b	101,67 a	78,17 a
EUA _(ET_r) MS (kg m ⁻³)	19,28 b	28,41 c	13,42 b	8,52 a	6,41 a
ORELHA DE ONÇA					
EUA _(ET_r) MV(kg m ⁻³)	142,95 c	195,69 d	117,08 bc	75,158 b	40,96 a
EUA _(ET_r) MS (kg m ⁻³)	10,75 bc	13,60 c	7,02b	4,91ab	2,73a

EUA_(ET_r)MV= eficiência de uso da água com base no volume aplicada na cultura para a produtividade de biomassa verde, EUA_(ET_r)MS= eficiência de uso da água com base no volume aplicada na cultura para a produtividade de biomassa seca, Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

São poucos os relatos na literatura sobre trabalhos que analisaram a EUA com base na evapotranspiração da palma forrageira. Consoli et al. (2013), verificaram a eficiência do uso da água na ordem de 4,6 kg MS m⁻³ e 5,7 kg MS m⁻³ de biomassa seca para o ano de 2009 e 2010, quando a ETc acumulada foi de 286 mm e 252 mm, nesta ordem. Os dados encontrados pelos autores supracitados estão coerentes com os dados observados para a condição de manejo com limite entre -0,33 e 0,20 atm. no presente estudo.

CONCLUSÃO

A evapotranspiração real e a eficiência de uso da água de cultivares de palma forrageira variam em função de diferentes limites críticos superiores de potencial matricial adotados no manejo de irrigação via solo.

Para a cultura da palma forrageira o manejo de irrigação deve ser realizado com base no critério de limite superior de potencial matricial igual à -3,00 atm para a obtenção de maior eficiência do uso da água na produção de biomassa verde e seca, em que a eficiência do uso da água pela palma forrageira tende a diminuir conforme aumenta o limite superior de potencial matricial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIDI, S.; BEN SALEMA, H.; VASTAB, V.; PRIOLOB, A.; Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research*, v. 87, n. 1, p. 9–16, 2009.
- ARYAYA, 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, n. 5, p. 775-783, 2011.
- 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*, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.
- CONTRERAS, J. I.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; BAEZA, R. Irrigation management of greenhouse zucchini with different soil matric potential level.

- Agronomic and environmental effects. *Agricultural Water Management*, v. 183, p. 26-34, 2017.
- CUSHMAN, J. C.; DAVIS, S. C.; YANG, X.; BORLAND, A. M. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and aridlands. *Journal of Experimental Botany*, v. 66 n. 4, p. 1-17 2015.
- DUBEUX JUNIOR, 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 Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, n. 3, p.357-372, 2006.
- GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 9, p. 1275-1284, 2009.
- 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, n. 1, 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.
- INEMA- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Solos estado da Bahia 2012. Salvador-BA. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/MTematico_solos.pdf>. Acesso: 03 fev. 2016.
- NOBEL, P. S.; BOBICH, E. "Initial net CO₂ uptake responses and root growth for a CAM community placed in a closed environment." *Annals of Botany*, v. 90, n. 5, p.593–598, 2002.
- OLIVEIRA, E. C. A.; FREIRE, F. J.; OLIVEIRA, A. C.; SIMÕES NETO, D. E.; ROCHA, A. T.; CARVALHO, L. A. Produtividade, eficiência de uso da água e qualidade tecnológica de cana-de-açúcar submetida a diferentes regimes hídricos. *Pesquisa agropecuária brasileira*. v. 46, n. 6, p. 617-625, 2011.
- PEREIRA, P. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S. SILVA, S.M.S.; SILVA M. J. Water balance in soil cultivated with forage cactus clones under irrigation. *Revista Caatinga*. v. 30, n. 3, p. 776-785, 2017.
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; SOUZA, C. A. A.; CARVALHO, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma

- forrageira cultivada em ambiente semiárido. Irriga, Edição Especial, Irrigação, Irrigação, p. 141-154, 2016.
- RAMOS, J. P. de F.; LEITE, M. L. de M. V.; OLIVEIRA JUNIOR, S. de; NASCIMENTO, J. P. do; SANTOS, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. Revista Caatinga, v. 24, n. 3, p. 41-48, 2011.
- SALAVADOR, M. M. S.; LIBARDI, P. L.; NEIVERTH, C. A. Demanda hídrica da aveia-preta: variabilidade espacial sob condições de sequeiro. Irriga, v. 19, n. 3, p. 500-511, 2014.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P. & BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. Environmental and Experimental Botany, v. 122, p.158-167, 2016.
- SILVA, A. J. P. da; COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A. Water extraction variability in the banana root zone affects the reliability of water balance. Scientia Agricola, v. 72, n. 1, p. 1-10, 2015.
- SILVA, T. G. F.; ARAUJO PRIMO, J. T.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; MOURA, M. S. B.; Santos, D. C.; Silva, M. C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. Bragantia, v. 73, n. 2, p. 184-191, 2014.
- SNYMAN, H. A. Root distribution with changes in distance and depth of two-year-old cactus pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta* plants. South African Journal of Botany, v. 72, n. 3, p. 434-441 2006.
- SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. Bragantia, v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011
- TARI, A. F. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. Agricultural Water Management, v. 167, n. 1, p. 1-10, 2016.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

CAPÍTULO III
BROMATOLOGIA E DEGRADABILIDADE DE CULTIVARES DE PALMA
FORRAGEIRA IRRIGADAS COM BASE EM DIFERENTES LIMITES DE
POTENCIAIS MATRICIAIS.

BROMATOLOGIA E DEGRADABILIDADE DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA IRRIGADAS COM BASE EM DIFERENTES LIMITES DE POTENCIAIS MATRICIAIS.

RESUMO: O uso da irrigação no cultivo da palma forrageira está se tornando comum no semiárido brasileiro. Entretanto, existem dúvidas sobre quais características nutricionais são alteradas pelo uso irrigação na palma forrageira. Deste modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a composição químico-bromatológica e a degradabilidade de cultivares de palma forrageira, submetidas ao manejo de irrigação baseado em diferentes valores limites de potencial matricial. Foram realizados cinco experimentos simultâneos, seguindo delineamento em blocos casualizados com quatro repetições, com as cultivares Orelha de Elefante Mexicana, IPA-Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de onça. Cada cultivar teve a irrigação manejada com base nos seguintes limites superiores de potencial matricial: -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm e -3,00 atm, além de um tratamento testemunha em condições de sequeiro. As variáveis avaliadas foram: teores de matéria seca, proteína bruta, matéria mineral, fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, celulose, hemicelulose, lignina e degradabilidade. Todas as cultivares submetidas a irrigação, independentemente do limite superior de potencial matricial adotado, tiveram aumento significativo no teor de proteína bruta com acréscimo acima de 61%. O uso da irrigação promove melhor composição químico-bromatológica das cultivares de Palma Forrageira estudadas, não alterando a degradabilidade das cultivares, exceto para a cultivar Orelha de Elefante.

Palavras-chave: proteína bruta; manejo, degradabilidade

BROMATOLOGY AND DEGRADABILITY OF IRRIGATED FORAGE CACTUS CULTIVARS BASED ON DIFFERENT MATRIC POTENTIAL LIMITS

ABSTRACT: The use of irrigation in the cultivation of forage cactus is becoming common in the Brazilian semiarid region. However, there are doubts about which nutritional characteristics are altered by the use of irrigation in forage cactus. Thus, the present study had as objective to evaluate the chemical-bromatological composition and the degradability of forage cactus cultivars, submitted to irrigation management based on different values of matric potential. Five simultaneous experiments were carried out, in a randomized block design with four repetition, with the cultivars Orelha de Elefante Mexicana, IPA-Sertânia, Doce, Gigante e Orelha de onça. Each cultivar had managed irrigation based on the following upper limits of matric potential: -0.20 atm; -0.33 atm; -1.00 atm and -3.00 atm, in addition to a control treatment under rainfed conditions. The variables evaluated were: dry matter, crude protein, mineral matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, cellulose, hemicellulose and lignin and degradability. All cultivars underwent irrigation irrespective of the upper limit of a matric potential with a significant increase in crude protein and an increase of 61%. The use of nutritional irrigation did not promote the degradation of crops, except for the cultivar Orelha de Elefante

Keywords: crude protein; management; degradability

INTRODUÇÃO

A palma forrageira, devido aos seus atributos morfofisiológicos, apresenta alta eficiência no uso da água (Consoli et al., 2013; Queiroz et al., 2016), com elevada produtividade e boa qualidade alimentícia para ruminantes. Tais características tornam a palma forrageira uma alternativa viável para as condições semiáridas (Queiroz et al., 2016), especialmente para a pecuária extensiva, na alimentação de bovinos, ovinos e caprinos em pequenas propriedades rurais na região semiárida brasileira.

Apesar de toda adaptação morfofisiológica, longos períodos de estresse hídrico podem ocasionar complicações fisiológicas sobre a palma (Scalasis et al., 2016). Além da redução da disponibilidade de forragem, outro agravante provocado por longos períodos de estiagem é a lignificação dos tecidos que compõem a planta por conta do processo de senescência, pelo qual os tecidos passam quando entram em estresse hídrico (Pimienta-Barrios et al., 2007; Oliveira et al., 2015).

A utilização da irrigação, em períodos de déficit hídrico, é citada em diversos estudos como estratégia para a garantia do aumento de produção da palma forrageira (Flores-Hernández et al., 2004; Queiroz et al. 2015; Lima et al. 2016), porém, escassos de influência da irrigação nas características bromatológicas desta cultura. Estudos evidenciam que diferentes densidades de plantio (Cavalcante et al., 2014) e doses de adubação (Silva et al., 2013; Donato et al., 2014) influenciam nas características bromatológicas da cultura.

A influência de irrigação nas características bromatológica de forrageiras tem sido estudada em culturas como o milho e sorgo. Na produção de milho em condições semiáridas, Simsek et al. (2011) observaram que o valor nutritivo permaneceu inalterado com a utilização de irrigação em condição de déficit hídrico. Ul-Allah et al. (2014) obtiveram resultados semelhantes, onde os valores de proteína bruta e fibra em detergente neutro não indicaram nenhum efeito significativo com redução da lâmina de irrigação para várias gramíneas.

Há estudos que relataram uma diminuição na proteína bruta e carboidratos solúveis em água com irrigação reduzida em sorgo forrageiro (Yosef et al., 2009), enquanto outros autores relataram uma diminuição no teor de proteína bruta com o aumento do nível de irrigação no milho (Islam et al., 2012) e milheto (Rostamza et al., 2011).

No uso da irrigação, o manejo adequado é essencial para o sucesso produtivo e otimização do uso da água. Os métodos de manejo de irrigação mais comuns baseiam-se em variáveis do clima e do solo. No caso do manejo de irrigação via solo, sua correta realização depende do conhecimento dos limites (superiores e inferiores) do estado de energia de água no solo que afetam o rendimento do cultivo. Geralmente, o limite superior é associado ao conceito de capacidade de campo (CC), assumindo-se valores entre $-0,06$ atm e $-0,33$ atm (Jong van Lier, 2017). Já os limites inferiores variam de acordo com a cultura (Létourneau et al., 2015; Contreras et al., 2017; Wang et al., 2007). Uma vez determinados os limites críticos adequados para uma cultura com base no estado de energia da água no solo, estes podem ser utilizados em diferentes situações, independentemente do tipo de solo (Lemay et al., 2012, Létourneau et al., 2015).

Há a necessidade de estudar os efeitos de diferentes limites críticos de água no solo ainda não foram estudados para a palma forrageira. A realização do manejo de irrigação baseado em diferentes limites críticos de água no solo pode alterar as características nutricionais da palma forrageira. Diante do exposto, este estudo objetivou avaliar a composição químico-bromatológica e a degradabilidade de cultivares de palma forrageira, submetidas ao manejo de irrigação baseado em diferentes valores limites de potencial matricial.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido sob condições de campo, na área Experimental do Instituto Federal Baiano (IF Baiano), *Campus* Senhor do Bonfim, situado nas coordenadas: $10^{\circ}26'38''$ S, $40^{\circ}08'51''$ W à altitude de 520 m. A precipitação anual média é de 650 mm, e o clima do local é caracterizado como semiárido.

Realizou-se cinco experimentos simultâneos, seguindo o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Cada experimento foi destinado à avaliação de cultivares de palma forrageira, a saber: 1 - Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*); 2 - IPA-Sertânia (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck), 3 - Doce (*Nopalea cochenillifera* Salm Dyck); 4 - Gigante (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) e 5 - Orelha de onça (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.), sendo uma cultivar avaliada em cada experimento. Não foi objetivo deste trabalho comparar as cultivares entre si.

Para cada experimento, estabeleceram-se como critérios de manejo da irrigação os limites superiores de potencial matricial (Ψ_m), -0,20 atm; -0,33 atm; -1,00 atm e -3,00 atm, além de um tratamento testemunha em condições de sequeiro (SE), para fins comparativos.

As fontes de variações e as variáveis respostas foram às mesmas para todos os experimentos, sendo utilizada uma área útil de 240 m², fazendo uso de uma densidade de 20.000 plantas por hectare, com espaçamento entre fileiras de 1,0 m e entre plantas de 0,5 m.

A preparação da área consistiu em aração e gradagem de forma mecanizada. Posteriormente, realizou-se a calagem a partir das informações obtidas por meio da análise química de solo (Tabela 1). Foi aplicado 50-60-50 kg ha⁻¹ de N-P-K, respectivamente, via adubação mineral na forma de ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, conforme recomendado por Albuquerque (2000) e Dubeux Junior et al. (2006).

Tabela 1. Atributos químicos do solo da área experimental, Senhor do Bonfim-Ba

pH	P	K	Ca+Mg	Al	H+Al	Na	SB	CTC	V	M.O
1:2,5	mg/dm ³			cmol _c /dm ³					%	g/kg
5,41	20,00	60,00	2,40	1,90	2,40	0,15	2,70	5,10	52,94	1,07

O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo conforme INEMA (2012), de textura areno-argilosa com as seguintes características texturais: 22,3% de argila; 7,9% de silte; e 69,8% de areia. Dados de retenção de água neste solo, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Retenção de água no solo da área experimental, Senhor do Bonfim-Ba

Camada de solo (m)	Dados da curva de retenção (m ³ m ⁻³)					Ds (Mg m ⁻³)
	-0,10 atm	-0,33 atm	-1,00 atm	-3,00 atm.	-15,00 atm	
0,15	0,191	0,135	0,118	0,112	0,110	1,59
0,45	0,186	0,145	0,128	0,114	0,108	1,61

O material vegetal para a implantação do experimento foi proveniente de palmais convencionais da região. Foram selecionados cladódios maduros, viçosos e livres de manchas e/ou da presença de sinais de pragas ou doenças.

Após a coleta no campo, o material foi transportado para um local coberto, onde permaneceu por 15 dias para a cicatrização, a fim de impedir a entrada de micro-organismos, evitando o apodrecimento dos cladódios inertes.

O sistema de irrigação adotado foi por gotejamento com um emissor por planta, sendo posicionados a uma distância de 0,10 m das plantas. Utilizou-se gotejadores do tipo online autocompensantes com vazão de 2,3 L h⁻¹. O sistema operou a uma pressão de 1,00 atm.

O manejo da irrigação foi realizado por meio do monitoramento da umidade do solo, com uso de Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR). Para isso, foram confeccionadas sondas com três hastes de aço inoxidável com comprimento útil de 0,1 m (parte sem a resina), sendo espaçadas a 0,017 m de distância, com cabos coaxiais de 50 ohm e 1,5 m de comprimento, conforme Silva et al. (2015).

Procedeu-se a calibração das sondas com base na associação de valores de constante dielétrica aparente (Ka), a valores de umidade volumétrica do solo (θ). A relação Ka x θ gerou a Equação 1:

$$\theta = 0,00005Ka^3 - 0,0026Ka^2 + 0,0504Ka - 0,2604 \quad R^2 = 0,9951 \quad (1)$$

As sondas foram instaladas em profundidades de 0,15 e 0,45 m a uma distância de 0,20 m da planta. Para determinação das lâminas de irrigação realizou-se leituras de (θ) na zona radicular da cultura em frequência de três dias. Com base nos valores de (θ) calculava-se o volume de água necessário para retornar a umidade do solo aos valores de: 0,155; 0,137; 0,119 e 0,113 m³ m⁻³, correspondentes aos valores de potencial matricial (Ψ_m) de -0,20; -0,33; -1,00 e -3,00 atm.

O período experimental teve duração de 365 dias (agosto/2016 a agosto/2017) que correspondeu ao primeiro ciclo da cultura. Ao final deste período, realizou-se a colheita das plantas úteis, sendo coletados todos os cladódios por meio do seccionamento nos entrenós, preservando somente o cladódio basal.

Foram coletadas amostras de plantas de cada tratamento, sendo essas identificadas, pesadas e pré-secas em estufa de ventilação forçada a 55°C, até atingir peso constante. Após a pré-secagem, as amostras foram moídas em moinho de faca tipo Willey com peneira de 1 mm e devidamente acondicionadas em recipientes plásticos, para posterior análise de composição químico-bromatológica.

Em laboratório, determinou-se os teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e matéria mineral (MM), de acordo com metodologia descrita por Silva & Queiroz (2002). Para estimar os valores da fibra em detergente neutro (FDN) e da fibra em detergente ácido (FDA), utilizou-se o método de Van Soest et al. (1991). Os níveis de lignina foram obtidos de acordo com a metodologia de Silva & Queiroz (2002), sendo o resíduo FDA (fibra em detergente ácido) tratado com ácido sulfúrico a 72%.

Para determinação da degradabilidade, avaliou-se o desaparecimento de partículas, utilizando-se cinco amostras por tratamento, com 1g para cada cultivar de palma forrageira. As mesmas foram acondicionadas em sacos de tecido-não-tecido (TNT), os quais foram incubados em bovinos da raça nelore dotados de fístula no rúmen, por um período de 288 horas (12 dias) em regime de pasto, de acordo com o Krämer et al. (2013). Esta etapa do estudo foi submetida e aprovada pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA/UFRB).

Após o período de incubação, os sacos foram retirados, lavados em água corrente até a completa clarificação e, logo em seguida, uma nova lavagem foi realizada em laboratório com água a 50°C e acetona, objetivando a descontaminação total de resíduos ruminais. Foi realizada uma pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C por 24 h e depois em estufa a 105°C por 6 horas. Os sacos foram então acondicionados em um dessecador e pesados em balança analítica após o resfriamento.

As variáveis foram submetidas à análise de variância e, posteriormente, a comparação de médias foi realizada utilizando-se o teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultivar Orelha de Elefante, nota-se que o uso da irrigação, independente dos limites críticos adotados, influenciou de forma negativa o teor de matéria seca (MS) da planta ($P < 0,05$). As plantas irrigadas apresentaram em média 7,51 % de MS, enquanto as não irrigadas apresentaram 9,28 % de MS (Tabela 3). Este resultado pode ser justificado pela maior disponibilidade de água no solo, o que possibilitou a maior absorção de água pela planta e, conseqüentemente, reduziu o teor de MS da mesma.

Apesar da redução no teor de MS (%), houve maior produtividade de biomassa seca (Mg ha^{-1}) obtida nas plantas irrigadas (ver Tabela 4 – capítulo I). Este comportamento se justifica pelo fato da Palma Forrageira ser uma planta de metabolismo CAM (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), as quais realizam o armazenamento de água e reduzem a fotorrespiração, no tempo, objetivando o uso mais eficiente da água na fotossíntese (Cushman et al., 2015; Scalisi et al., 2016).

Para o teor de matéria mineral (MM) houve efeito significativo do uso da irrigação ($P < 0,05$), com uma redução de 9,0 % da MM quando a Palma Forrageira cv Orelha de Elefante é cultivada em condições de sequeiro (Tabela 3).

O resultado obtido no presente estudo permite inferir que a disponibilidade de água no solo é importante para que as plantas possam absorver minerais. No caso da Palma Forrageira, verifica-se que esta absorção pode ocorrer mesmo quando a disponibilidade de água encontra-se associada a baixos valores de potencial matricial. Pois, mesmo quando a planta é irrigada com base em valores de potenciais matriciais de -3,0 atm o valor de MM aumenta de forma considerável.

O uso da irrigação, independente da estratégia de manejo adotada, proporcionou efeito positivo sobre o teor de proteína bruta (PB) da palma forrageira (Tabela 3). Houve acréscimo de 61,0 % no teor de PB nas plantas irrigadas, quando comparadas aquelas não irrigadas. Este fato é particularmente útil para fins de estratégia de alimentação de ruminantes, pois maiores teores de PB elevam a qualidade da composição químico-bromatológica da planta (Yosef et al., 2009).

Para a fração fibrosa da cultivar Orelha de Elefante observa-se que a fibra em detergente neutro (FDN) não foi influenciada pelos tratamentos ($P > 0,05$). O valor médio de FDN da cultivar Orelha de Elefante foi de 35% da MS. No entanto, o uso da irrigação com adoção de potenciais entre -1,0 atm e - 0,33 atm elevaram o teor da fibra em detergente ácido (FDA) desta cultivar, o que ocorreu também com os teores dos demais constituintes da fração fibrosa - Celulose (CEL), Hemicelulose (HEM) e Lignina (LIG). Quando o manejo de irrigação é baseado em limites de -1,0 atm e - 0,33 atm os valores médios de FDA, CEL, HEM e LIG são 20,87; 16,70; 41,53 e 3,68 %, respectivamente.

As plantas cultivadas em sequeiro apresentaram os mesmos valores médios de FDA, CEL, HEM e LIG das plantas irrigadas com base em um limite crítico superior de -0,2 atm. A irrigação colabora para a formação de novas células de crescimento, sendo estas com menor conteúdo celular, com um consequente

retardamento da maturação e, portanto, redução da fração fibrosa (Snaches et al., 2017; Mota et al., 2010)

Os resultados descritos anteriormente permitem inferir que apesar da Palma Forrageira cv. Orelha de Elefante ter reduzido o teor de MS com o uso da irrigação, a cultivar apresentou maior produtividade de MS, como pode ser comprovado na Tabela 4 do capítulo I para os manejos de irrigação adotados. Porém, para que esta produção seja possível, a planta necessita de maior quantidade de parede celular para sustentar tal produção, o que justifica a elevação nos teores dos constituintes fibrosos da planta obtidos no presente capítulo.

Para a degradabilidade *in situ* da MS (DISMS) da cultivar Orelha de Elefante, observa-se que, houve redução sobre o aproveitamento da forragem pelo animal, à medida que foi utilizado o manejo com potencial matricial de água no solo mais elevado, (Tabela 3), onde a elevação da água disponível no solo resultou em redução de 6,1% na DISMS quando comparado o manejo com -0,22 atm com o manejo com -3,0 atm.

A DISMS sofreu influência dos resultados obtidos para a fração fibrosa, pois é amplamente conhecido o efeito negativo e a proporcionalidade inversa dos constituintes fibrosos sobre a degradabilidade de plantas forrageiras, principalmente quando a planta apresenta aumento na produção de MS por unidade de área.

Tabela 3: Valores médios da composição químico-bromatológica da Palma Forrageira cv. Orelha de Elefante em função de limites superiores de potencial matricial no manejo da irrigação.

ORELHA DE ELEFANTE					
Item	Potências ψ_m (atm)				
	SE	-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
MS	9,28 b	7,67 a	7,59 a	7,44 a	7,35 a
MM ¹	13,96 a	15,46 b	15,06 b	15,30 b	15,07 b
PB ¹	3,25 a	5,02b	5,04 b	5,30 b	5,63 b
FDN ¹	32,5 ns	33,2 ns	36,01 ns	37,81 ns	35,28 ns
FDA ¹	9,83 a	12,22 a	23,11 b	18,63b	11,96 a
CEL ¹	7,94 a	9,52 ab	18,71 b	14,68 b	10,77 a
HEM ¹	22,67 a	20,98 a	39,22 b	43,84 b	23,32 ab
LIG ¹	1,88 a	2,69 ab	3,40 b	3,95 b	3,08 ab
DISMS	90,08 b	88,42 b	84,35 ab	85,51 ab	83,36 a

¹ = base na Matéria seca; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; HEM = Hemicelulose CEL = Celulose; LIG = Lignina; DISMS = degradabilidade *in situ* da MS; ns = Não significativo. Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para a cultivar IPA Sertânia, o potencial de água no solo teve influência sobre o teor de MS da planta ($P < 0,05$), com a redução nas plantas irrigadas em todos os potenciais estabelecidos, onde os limites superiores de potencial matricial reduziram em 24% no teor de MS da planta (Tabela 4). Conforme justificado anteriormente, a maior disponibilidade de água no solo possibilitou a maior absorção de água pela planta e, conseqüentemente, reduziu o teor de MS da mesma.

As diferentes estratégias de manejo de irrigação influenciaram o teor de MM da cultivar IPA Sertânia ($P < 0,05$). Os maiores valores de MM foram obtidos nas plantas submetidas ao manejo de irrigação baseado nos limites entre -3,0 atm e -0,33 atm, com média de 15,75 % (Tabela 4). Desta forma, pode-se afirmar que esta é a faixa de limite superior de potencial matricial de água no solo ideal para se obter o máximo teor de MM na Palma Forrageira cv IPA Sertânia.

A exemplo da cultivar Orelha de Elefante, a IPA Sertânia também apresentou maiores valores de PB nas plantas irrigadas, independente do critério de manejo adotado. O teor médio de PB nas plantas irrigadas foi de 5,59% da MS, sendo mais do que o dobro do teor obtidos pelas plantas em condição de sequeiro.

Para a fração fibrosa da cultivar IPA Sertânia observa-se que a FDN apresentou melhor resultado, com o limite superior de potencial matricial entre -1,0 e -0,33 atm. No entanto, para os teores de FDA e CEL obteve-se diferença significativa somente das entre as plantas em condição de sequeiro e condição de irrigação. Para os manejos de irrigação utilizados o teor médio de FDA foi de 16,24 % e para CEL foi 14,93%.

Outro ponto importante a ser destacado na fração fibrosa da cultivar IPA Sertânia é o fato de que o teor de LIG não sofreu efeito dos diferentes critérios adotados no manejo de irrigação via solo ($P > 0,05$). Assim, a média geral de LIG nas plantas irrigadas e cultivadas em sequeiro foi de 1,3% da MS. Logo, pode-se deduzir que este resultado pode ter influenciado diretamente no teor de DISMS desta cultivar, pois este também não sofreu interferência do uso da irrigação, apresentando média geral de 93% da MS (Tabela 4).

Sabe-se que dentre os constituintes fibrosos da planta, a LIG é a fração menos digestível ou, até mesmo, considerada indigestível para os animais (Silva & Silva, 2013). Assim, a ausência de variação no teor de LIG, para a IPA Sertânia, pode justificar o mesmo efeito observado para a DISMS.

Tabela 4: Valores médios da composição químico-bromatológica da Palma Forrageira cv. IPA Sertânia em função de limites superiores de potencial matricial no manejo da irrigação

Item	IPA SERTÂNIA				
	SE	Potências ψ_m (atm)			
		-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
MS	9,70 b	7,31 a	7,19 a	7,36 a	7,30 a
MM ¹	14,47 a	15,36 bc	15,90 c	16,00 c	14,65 ab
PB ¹	2,47 a	5,59 b	5,64 b	5,38 b	5,73 b
FDN ¹	27,29 a	34,72ab	55,26 c	52,51 c	40,39 b
FDA ¹	8,59 a	14,49 ab	19,25 b	15,32 b	15,91 b
CEL ¹	7,57 a	13,29 b	17,50 b	13,92 b	15,01 b
HEM ¹	18,69 a	20,23 a	36,01 b	37,18 b	24,44 ab
LIG ¹	1,02ns	1,20 ns	1,39 ns	1,75 ns	0,91 ns
DISMS	93,45ns	94,51 ns	92,28 ns	92,21 ns	92,52 ns

¹ = base na Matéria seca; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; HEM = Hemicelulose CEL = Celulose; LIG = Lignina; DISMS = degradabilidade *in situ* da MS; ns = Não significativo. Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Conforme observado para as duas cultivares anteriores, a irrigação também influenciou o teor de MS da Palma Doce ($P < 0,05$). As plantas cultivadas em condições de sequeiro apresentaram 16% a mais de MS quando comparadas a média das plantas irrigadas (Tabela 5).

Para o teor de matéria mineral (MM) não houve efeito significativo do uso da irrigação ($P > 0,05$), na Palma Forrageira cv Doce. A média geral de MM das plantas irrigadas e cultivadas em sequeiro foi de 14,99% de MM na MS (Tabela 5).

A Palma Doce apresentou incremento no teor de PB em função do uso da irrigação. O teor médio de MS das plantas irrigadas foi de 5,30% da MS, sendo este valor 70% maior do que o resultado obtido para as condições de sequeiro. Em consonância com esses resultados, Yosef et al. (2009), encontraram um aumento no teor de PB e carboidratos solúveis com a elevação de lâminas de irrigação em forragens de sorgo.

Para a fração fibrosa da cultivar Doce observa-se que a variação do potencial matricial de água no solo não afetou os teores de FDN, CEL e LIG, com médias gerais de 40,2; 10,6 e 1,4% da MS, respectivamente (Tabela 5). Ressalta-se que a macro-fração FDN é constituída pelas frações menores CEL, HEM e LIG, logo, a ausência de efeito do tratamento sobre as frações menores pode explicar a ausência de efeito sobre a FDN também.

Os teores de FDA variaram conforme o critério adotado no manejo de irrigação via solo. Quando o manejo de irrigação é realizado com base em valores críticos superiores de -1,0 e 0,33 atm, obtém-se maiores valores de FDA.

O teor de HEM da cultivar Doce sofreu efeito dos diferentes critérios no manejo de irrigação via solo. Maiores teores de HEM foram obtidos quando o manejo de irrigação é realizado com base em valores críticos de potencial de -1,0 até -0,2 atm. Neste caso, a média de HEM obtida foi 31,60% da MS, enquanto no manejo de irrigação baseado em um limite crítico de -3,0 atm foi 25,78%. (Tabela 5). Elevados teores de HEM são desejados na composição das forragens, pois a HEM é a fração fibrosa que compõem a Fração B2 no fracionamento de carboidratos de alimentos para animais, sendo uma fração digestível com lenta taxa de degradação, o que contribui para a manutenção da saúde ruminal de animais ruminantes (Silva & Silva, 2013).

Na cultivar Doce, os teores de CEL e LIG não sofreram influência dos tratamentos estudados ($P > 0,05$). Logo, pode-se afirmar que estes resultados podem ter influenciado diretamente no teor de DISMS desta cultivar, pois este também não sofreu interferência das fontes de variação aplicadas, apresentando média geral de 92,8% da MS (Tabela 5). Sabe-se que dentre os constituintes fibrosos da planta, a CEL e a LIG são frações menos digestíveis, sendo que a LIG pode ser considerada indigestível para os animais (Azevedo et al. 2006; Silva & Silva, 2013).

Tabela 5: Valores médios da composição químico-bromatológica da Palma Forrageira cv. Doce em função de limites superiores de potencial matricial no manejo da irrigação

Item	Doce				
	SE	Potência ψ_m (atm)			
		-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
MS	8,91 b	7,16 a	7,41 a	7,46 a	7,73 a
MM ¹	14,27 ns	14,53 ns	15,11 ns	16,20 ns	14,84 ns
PB ¹	3,12 a	5,11 b	5,47 b	5,36 b	5,24 b
FDN ¹	37,37 ns	38,99 ns	44,14 ns	39,2 ns	41,51 ns
FDA ¹	9,21 a	11,59ab	12,08 b	12,05b	11,46 ab
CEL ¹	10,16 ns	13,37 ns	10,6 ns	9,41 ns	9,54 ns
HEM ¹	17,94 a	25,78 b	33,10 c	29,98 c	31,69 c
LIG ¹	1,42 ns	1,31 ns	1,48 ns	1,42 ns	1,39 ns
DISMS	93,12 ns	93,15 ns	92,25 ns	92,19 ns	93,07 ns

¹ = base na Matéria seca; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; HEM = Hemicelulose CEL = Celulose; LIG = Lignina; DISMS = degradabilidade *in situ* da MS; ns = Não significativo. Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O teor de MS da cultivar Gigante reduziu significativamente ($P < 0,05$) com o uso da irrigação, independente do critério de manejo adotado, quando comparado as plantas em condição de sequeiro. A média do teor de MS das plantas irrigadas foi 16,5 % menor do que as plantas cultivadas em condições de sequeiro (Tabela.6). Entretanto, para a MM da cultivar Gigante observa-se não haver efeito significativo das fontes de variações testadas ($P > 0,05$), resultando em um valor médio de 14,42 % da MS.

O uso da irrigação, seguindo os critérios de manejo adotado, elevou o teor de proteína bruta da cultivar Gigante (Tabela 6), com teor médio 4,7 % da MS. Tal resultado é mais que o dobro do obtido para a condição de sequeiro.

Para a fração fibrosa da cultivar Gigante observa-se que a FDN e FDA apresentaram diferença entre os limites superiores de potencial matricial, com os maiores teores de FDN entre de -3,0 e -0,33 atm, já os maiores teores de FDA foram observados entre -1,0 e -0,33 atm.

Os teores de CEL HEM e LIG para as plantas manejadas com irrigação foram superiores ao teor médio obtido das plantas em condição de sequeiro. As plantas irrigadas apresentaram médias correspondente a 12,96 % de CEL, 17,43 % de HEM e 2,89 % de LIG com base na MS.

Apesar da fração fibrosa ter apresentado diferença em função dos tratamentos, a degradabilidade *in situ* da MS (DISMS) não diferiu em função dos

mesmos, com degradabilidade média de 89,38% da MS de todas as plantas (Tabela 6).

Os resultados das frações fibrosas da cultivar Gigante são inferiores ao do sorgo forrageiro cultivado por Jahanzad et al. (2013) em diferentes condições de irrigação, enquanto que a degradabilidade da palma forrageira apresentou valores superiores ao encontrados pelos autores supracitados. Logo, pode-se inferir que para tais características a palma forrageira apresenta boa qualidade quanto forragem, visto que, o FDN e FDA são consideradas duas importantes características da qualidade da forragem. Forrageiras são consideradas de alta qualidade, quando apresentam baixas concentrações de FDN e FDA e alta digestibilidade (Azevedo et al., 2003).

Tabela 6: Valores médios da composição químico-bromatológica da Palma Forrageira cv. Gigante em função de limites superiores de potencial matricial no manejo da irrigação

Item	Gigante				
	Potências ψ_m (atm)				
	SE	-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
MS	9,57 a	7,73 b	7,55 b	7,59 b	7,36 b
MM ¹	14,98 ns	14,77 ns	14,9 ns	13,3 ns	14,18 ns
PB ¹	2,07 a	4,50 b	4,84 b	4,63 b	4,83 b
FDN ¹	26,81 a	35,45 c	34,49 c	32,67 bc	31,10 b
FDA ¹	9,97 a	14,44 b	16,80 c	16,83 c	15,74 bc
CEL ¹	8,01 a	11,45 b	13,82 b	13,58 b	12,98 b
HEM ¹	13,82 a	18,64 b	16,65 b	16,92 b	17,52 b
LIG ¹	1,96 a	2,86 b	2,98 b	2,93 b	2,81 b
DISMS	91,16 ns	89,15 ns	88,32 ns	89,27 ns	89,01 ns

¹ = base na Matéria seca; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; HEM = Hemicelulose CEL = Celulose; LIG = Lignina; DISMS = degradabilidade *in situ* da MS; ns = Não significativo. Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 7 constata-se que a cultivar Orelha de Onça apresentou respostas para o teor de MS semelhantes as demais cultivares. Logo, para todas as cultivares o aumento da água disponível em decorrência do aumento do potencial matricial tendem a reduzir o teor de MS pelo fato das plantas absorverem mais solução do solo ficando em estados mais turgidos (Scalisse et al., 2016), entretanto, apesar da redução no teor de MS, a produtividade de matéria seca para todas as cultivares foi maior para as condições com irrigação (capítulo I).

Analisando os teores de PB para a cultivar Orelha de Onça, verifica-se que o maior teor de PB foi observado nas plantas irrigadas, resultando em um teor 6,68% da MS. Tal valor de proteína bruta, que é um dos fatores mais importantes na qualidade da forragem, está próximo dos valores obtidos por Yosef et al. (2009) ao estudarem o efeito de dois níveis de irrigação para dois genótipos de sorgo forrageiro.

Para a fração fibrosa FDA, FDN, CEL e LIG da cultivar Orelha de Onça observa-se que os tratamentos com uso limites superiores de potencial matricial não diferiram entre si. Entretanto, as plantas irrigadas apresentaram maiores teores em relação as plantas cultivadas em condição de sequeiro (Tabela 7). Os teores médios das plantas que receberam irrigação foram de 40,95 % de FDA, 16,03 % de FDN.

Analisando a HEM e a DISMS da cultivar Orelha de Onça em função dos manejos adotados, estas não sofreram efeito das fontes de variações testadas ($P>0,05$), com média geral de 23,62 e 88,90 % da MS.

Tabela 7: Valores médios da composição químico-bromatológica da Palma Forrageira cv. Orelha de Onça em função de limites superiores de potencial matricial no manejo da irrigação

Item	Orelha de Onça				
	SE	Potências ψ_m (atm)			
		-3,00	-1,00	-0,33	-0,20
MS	6,81 a	5,71 b	5,51 b	5,69 b	5,65 b
MM ¹	17,06 b	14,68 a	12,99 a	14,99 a	12,75 a
PB ¹	3,48 a	6,61 b	6,82 b	6,64 b	6,66 b
FDN ¹	30,63 a	39,49 b	40,07 b	41,61 b	42,63 b
FDA ¹	10,16 a	15,76 b	15,94 b	16,02 b	16,41 b
CEL ¹	8,40 a	11,71 b	13,02 b	11,97 b	13,33 b
HEM ¹	20,47 ns	23,73 ns	23,12 ns	25,58 ns	25,22 ns
LIG ¹	1,75 a	4,04 b	3,92 b	4,05 b	4,07 b
DISMS	89,73 ns	89,14 ns	88,65 ns	88,22 ns	89,75 ns

¹ = base na Matéria seca; MS = Matéria seca; MM = Matéria mineral; PB = Proteína bruta; FDN = Fibra em detergente neutro; FDA = Fibra em detergente ácido; HEM = Hemicelulose CEL = Celulose; LIG = Lignina; DISMS = degradabilidade *in situ* da MS; ns = Não significativo. Médias seguidas de mesmas letras nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

O uso da irrigação eleva o teor de proteína bruta da palma forrageira. Quando o manejo de irrigação desta cultura é realizado com base em valores críticos superiores de $-3,00$ atm haverá acréscimos de até 61% no teor de proteína bruta.

O uso da irrigação, com base em limites superiores de potencial matricial entre $-0,20$ e $-3,00$ atm, promove melhorias na composição químico-bromatológica de cultivares de Palma Forrageira, não alterando a degradabilidade das cultivares, exceto para cultivar Orelha de Elefante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, S. G. de. Cultivo da palma forrageira no Sertão do São Francisco. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000. 6 p. (Embrapa Semiárido. Comunicado técnico, 91).
- AZEVEDO, J. A. G.; PEREIRA, J. C.; QUEIROZ, A. C.; CARNEIRO, P. C. S.; LANA, R. P.; BARBOSA, M. H. P.; FERNANDES, A. M.; RENNÓ, F. P. Composição Químico-Bromatológica, Fracionamento de Carboidratos e Cinética da Degradação in vitro da Fibra de Três Variedades de Cana-de-Açúcar (*Saccharum* spp.) Revista Brasileira de Zootecnia, v. 32, n. 6, p. 1443-1453, 2003.
- CAVALCANTE, L. A. D.; SANTOS, G. R. A.; SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; SILVA, M. A. 'Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo', Revista Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 44, n. 4, p. 424-433, 2014.
- 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, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.
- CONTRERAS, J. I.; ALONSO, F.; CÁNOVAS, G.; BAEZA, R. Irrigation management of greenhouse zucchini with different soil matric potential level. Agronomic and environmental effects. Agricultural Water Management, v. 183, p. 26-34, 2017.

- CUSHMAN, J. C.; DAVIS, S. C.; YANG, X.; BORLAND, A. M. Development and use of bioenergy feedstocks for semi-arid and arid lands. *Journal of Experimental Botany*, v. 66, n. 14, p. 4177- 4193, 2015.
- DONATO, P. E. R.; PIRES, A. J. V.; DONATO, S. L. R.; SILVA, J. A.; AQUINO, A. A. Valor nutritivo da palma forrageira 'Gigante' cultivada sob diferentes espaçamentos e doses de esterco bovino. *Revista Caatinga, Mossoró*, v. 27, n. 1, p. 163–172, 2014.
- DUBEUX JUNIOR, J. C.B.; SANTOS, M. V. F.; 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 Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 67, n. 3, p. 357-372, 2006.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A.; ORONA-CASTILLO, I.; MURILLO-AMADOR, B.; GARCIA-HERNANDEZ, J. L.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water Management*, v. 70, n. 2, p. 97-107, 2004
- HABERLE, J.; SVOBODA, P.; RAIMANOVA I. The effect of post-anthesis water supply on grain nitrogen concentration and grain nitrogen yield of winter wheat. *Plant, Soil and Environment*, v. 54, n. 7, p. 304-312, 2008.
- INEMA- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Solos estado da Bahia 2012. Salvador-BA. Disponível em: <http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/files/MTematico_solos.pdf>. Acesso: 05 mar. 2018.
- ISLAM, M.; GARCIA, S.; HORADAGODA, A. Effects of irrigation and rates and timing of nitrogen fertilizer on dry matter yield, proportions of plant fractions of maize and nutritive value and in vitro gas production characteristics of whole crop maize silage. *Animal Feed Science and Technology*, v. 172, n. 4, p. 125-135, 2012.
- JAHANZADA, E.; JORAT, M.; MOGHADAMB, H.; SADEGHPOUR, A.; CHAICHI, M. R.; DASHTAKI, M. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, v. 117, p. 62–69, 2013.
- JONG VAN LIER, Q. de. Field capacity, a valid upper limit of crop available water?. *Agricultural Water Management*, v. 193, p. 214-220, 2017

- KRÄMER, M.; NØRGAARD, P.; LUND, P.; WEISBJERG, M. R.; Particle size alterations of feedstuffs during in situ neutral detergent fiber incubation. *Journal of Dairy Science*, v. 96, n. 7, p. 4601-4614, 2013.
- LEMAY, I.; CARON, J.; DORAIS, M.; PEPIN, S. Defining irrigation set points based on substrate properties for variable irrigation and constant matric potential devices in greenhouse tomato. *HortScience*, v. 47 n. 8, p. 1141-1152, 2012.
- LÉTOURNEAU, G.; CARON, J.; ANDERSON, L.; CORMIER, J. Matric potential-based irrigation management of field-grown strawberry: Effects on yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management*, v. 161, p.102-113, 2015.
- LIMA, G. F. C.; REGO, M. M. T.; DANTAS, F. D. G.; LÔBO, R. N. B.; SILVA, J. G. M.; AGUIAR, E. M. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under diferente cutting intensities. *Revista Caatinga*, v. 29, n. 2, p. 481-488, 2016.
- MOTA, V.J.G.; ROCHA JÚNIOR, V.R.; REIS, S.T.; SALES, E. C. J.; OLIVEIRA, F. G.; GOMES, V. M.; MARTINS, C. E.; CÔSER, A. C. Lâminas de irrigação e doses de nitrogênio em pastagem de capim-elefante no período seco do ano no norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira Zootecnia*, v. 39, n. 6, p.1191-1199, 2010.
- OLIVEIRA, V. S.; MORAIS, J. A. S.; FAGUNDES, J. L.; SANTANA, J. C. S.; LIMA, I. G. S.; SANTOS, C. B. Produção e Composição Químico-Bromatológica de Gramíneas Tropicais Submetidas a Dois Níveis de Irrigação. *Archives of Veterinary Science*, v. 20, n. 2, p. 27-36, 2015.
- PIMIENTA-BARRIOS, E.; CASTILLO-CRUZ, I.; ZAÑUDO-HERNÁNDEZ, J.; MÉNDEZ-MORÁN, L.; NOBEL, P.S. Effects of shade, drought and daughter cladodes on the CO₂ uptake by cladodes of *Opuntia ficus-indica*. *Annals Applied Biology*, v. 151, n. 2, p. 137-144, 2007.
- QUEIROZ, M. G. de; Silva, T. G. F. da; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, n. 10, p. 931-938, 2015.
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; SOUZA, C. A. A.; CARVALHO, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. *Irriga, Edição Especial, Irrigação, Irrigação*, p. 141-154, 2016.

- ROSTAMZA, M.; CHAICHI, M. R.; JAHANSOUZ, M. R.; A. ALIMADADIA. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 10, p. 1607-1614, 2011.
- SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FRISKE, E.; FASOLIN, J. P. Productivity and nutritive value of tifton 85 in summer, with and without irrigation under different nitrogen doses. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 2, p. 246-256, 2017.
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P. & BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany*, v. 122, p.158-167, 2016.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 2. ed. Viçosa, MG: UFV. 2002. 178 p.
- SILVA, J. A., BONOMO, P., DONATO, S. L. R., PIRES, A. J. V., SILVA, F. F.; DONATO, P. E. R. Composição bromatológica de cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 8, n. 2, p. 342-350, 2013.
- SILVA, J. L. D. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, S. S. V.; OLIVEIRA, F. A.; SILVA JUNIOR, M. J.; NASCIMENTO, I. B. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, (Suplemento), p. S66-S72, 2014.
- SILVA, S. P. da; SILVA, M. M. C. da. Fracionamento de carboidrato e proteína segundo o sistema CNCPS. *Veterinária Notícias*, v. 19, n. 2, p. 95-108, 2014.
- SIMSEK, M.; CAN, A.; DENEK, N.; TONKAZ, T. The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 31, p. 5869-5877, 2011.
- UL-ALLAHA, S.; ALIKHAN, A.; FRICKE, T.; BUERKERT, A.; WACHENDORF, M. Fertilizer and irrigation effects on forage protein and energy production under semi-arid conditions of Pakistan. *Field Crops Research*. v. 159, p.62-69, 2014.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B.; Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*.v.74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.

- WANG, F. X.; YAOHU, K.; LIU, S. P.; HOU, X. Y. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management*. v. 88, n. 3, p. 34-42, 2007.
- YOSEF, E.; CARMI, A.; NIKBACHAT, M.; ZENOU, A.; UMIEL, N.; MIRON J. Characteristics of tall versus short-type varieties of forage sorghum grown under two irrigation levels, for summer and subsequent fall harvests, and digestibility by sheep of their silages. *Animal Feed Science and Technology*, v. 152, n. 1, p. 1-11, 2009.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da irrigação na cultura da palma forrageira está se tornando comum no nordeste brasileiro. Mas, a realização do manejo de irrigação na cultura é incomum, sendo necessário o estabelecimento de critérios de manejo adequados, principalmente devido a mesma possui mecanismo morfofisiológico que a diferencia das demais forrageiras.

A palma forrageira apesar de ser uma cultura adaptada as condições edafoclimáticas de regiões semiáridas, necessita do uso de irrigação, durante períodos de estiagem prolongada, para manter o seu crescimento constante durante todo seu ciclo, evitando assim períodos com redução e/ou estagnação de seu crescimento quando cultivadas em condições sem irrigação, tornado seu cultivo sem características sazonais.

A produtividade de biomassa verde e biomassa seca da palma forrageira aumenta de forma significativa com o uso da irrigação, tornando viável a redução do ciclo da cultura, com a aplicação média semanal de 0,380 L por planta, na condição de manejo utilizando o potencial de -3,00 atm.

O manejo de irrigação com o uso de potenciais mais elevados aumenta a evapotranspiração real das plantas de palma forrageira, em que, as plantas irrigadas com manejo utilizando potencial matricial próximo da capacidade de campo (-0,20 atm) reduz a eficiência do uso da água, pois além da palma forrageira aumentar sua transpiração devido a maior disponibilidade de água também ocorre o aumento na evaporação.

Além de ser uma excelente fonte de forragem a palma também desempenha uma de armazenagem de água nos seus cladódios, com armazenamento médio de água na parte aérea vegetativa das plantas no momento da colheita corresponde a cerca de 35% do volume de água aplicada.

Esses volumes de água armazenado na palma forrageira servem como fonte hídrica para a dessedentação dos animais que a consomem. É necessário a realização de pesquisas que englobem a redução do consumo de água em coxo que os animais têm quando alimentados com a palma atrelado aos volumes aplicados via irrigação para a realização de cálculos de eficiência do uso da água da cultura que englobem todos o processo do plantio até o arraçoamento

O uso da irrigação além de ter impactado positivamente no crescimento e na produtividade da palma forrageira também melhorou a qualidade da planta quanto as suas características químico-bromatológicas, com aumento do seu teor de proteína bruta em relação as plantas em condição de sequeiro.

Todas as plantas de palma forrageira irrigadas melhoraram a fração fibrosa que é de extrema importância para o funcionamento do rúmen animal sem que houvesse redução na degradabilidade, resultando em uma alta taxa de aproveitamento da forragem.

O limite superior de potencial matricial não convencional de -3,00 atm pode ser empregado como forma de manejo de irrigação, com efeito positivo no crescimento, na produtividade e nas características químico-bromatológicas, da cultura da palma forrageira, sendo uma importante alternativa para a produção de forragem principalmente em áreas que não disponha de grande reservas de hídricas.