



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido

IRRIGAÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO MINEIRO

IGOR NOGUEIRA DE CASTRO

2019

IGOR NOGUEIRA DE CASTRO

IRRIGAÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO MINEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Orientador
Prof. Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos

Janaúba
2019

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Ficha catalográfica

Castro, Igor Nogueira de

C355i Irrigação de palma forrageira cultivada no semiárido mineiro [manuscrito] /
Igor Nogueira de Castro. – 2019.

63 p.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal
no Semiárido, Universidade Estadual de Montes Claros – Janaúba, 2019.

Orientador: Prof. D. Sc. Silvânio Rodrigues dos Santos.

1. Irrigação. 2. Palma forrageira. 3. Regiões semiáridas. I. Santos, Silvânio
Rodrigues dos. II. Universidade Estadual de Montes Claros. III. Título.

CDD. 633.85

IGOR NOGUEIRA DE CASTRO

IRRIGAÇÃO DE PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA NO SEMIÁRIDO MINEIRO

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Montes Claros, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, área de concentração em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de Julho de 2019.

Dr. Silvânio Rodrigues dos Santos
UNIMONTES (Orientador)

Dr. Ignacio Aspiazú
UNIMONTES (Conselheiro)

Dr. João Batista Ribeiro da Silva Reis
EPAMIG (Conselheiro)

Dr. Polyanna Mara de Oliveira
EPAMIG (Conselheira)

Janaúba
2019

ÚLTIMO PAU-DE-ARARA
(Luiz Gonzaga)

“A vida aqui só é ruim
quando não chove no chão,
mas se chover dá de tudo.
Fartura tem de montão.

Tomara que chova logo
tomara, meu Deus, tomara.
Só deixo o meu Cariri
no último pau-de-arara.

Enquanto a minha vaquinha
tiver o couro e o osso
e puder com o chocalho
pendurado no pescoço,
vou ficando por aqui.

Que Deus do céu me ajude,
quem sai da terra natal
em outro canto não pára.
Só deixo o meu Cariri
No último pau-de-arara.”

A todos os produtores homens e mulheres do sertão!

AGRADECIMENTOS

A Deus, criador de todas as coisas e minha fonte de fortaleza, sabedoria, ciência, conselho, entendimento, piedade e temor. Nele, assumo cotidianamente as palavras de São Paulo: “todas as coisas cooperam para o bem daqueles que confiam no Senhor”.

À Universidade Estadual de Montes Claros, em especial aos professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), na pessoa da Dra. Polyanna Mara de Oliveira, pela parceria na proposta de pesquisa que culminou no presente trabalho.

Ao Professor Dr. Silvânio Rodrigues Santos pela orientação, presteza e toda ajuda fornecida no decorrer do curso.

Ao Instituto Federal Baiano – *campus* Guanambi, na pessoa do Professor Dr. Marcelo Rocha, pelo acompanhamento nas análises de raízes.

À minha mãe Consuelo Mouraria Nogueira pelo amor incondicional, apoio, dedicação, compreensão, humildade e exemplo de força em toda minha vida. Ao meu Pai, Raimundo Castro, que apesar de não demonstrar, acredito que sempre me amou e confiou em mim.

Aos meus avós, Elizete Mouraria, Iani Castro e José Barros Nogueira (*in memoriam*), pelas palavras diárias de incentivo, amizade e exemplo de vida.

Aos meus tios e primos, Zaíra, Olímpio, Joseni, Silvério, Line, Sidônio, Ozana, Bebeto (*in memoriam*), Anita, Luiz Paulo, Pedro Jorge, Luna, Ana Paula, Bianca e Carla, pelo apoio, amizade e companheirismo.

À minha querida tia Dorê Diamantino, que mais uma vez, soube me acolher em sua residência com amor e tamanha receptividade em Guanambi-BA.

Aos meus amigos, a quem tenho grande apreço e afeto. E àquelas amizades construídas em Janaúba: Kennia, Mirna, João Rafael, Fernando Godinho, Edson, Guilherme, Marfisia, Sara, Amanda, Edilson, Rodolfo, Mateus, Fernando Dantas e Gustavo.

À família Rodrigues Santos, em Pitarana/Montalvânia-MG, na pessoa de Dona Tide, pela receptividade em sua residência durante o período experimental, não esquecerei aquela saborosa abóbora feita por suas mãos.

À César Rodrigues Santos, pela ajuda fundamental no manejo da irrigação durante o período experimental.

Aos mestrandos e graduandos estagiários do Laboratório de Hidráulica e demais laboratórios da Unimontes, pelo auxílio.

O meu muito obrigado!

BIOGRAFIA

IGOR NOGUEIRA DE CASTRO, natural de Guanambi – BA, cursou o ensino fundamental na Escola Menino Dourado, Escola Municipal Luiz Dias Laranjeira e Colégio Municipal Eliza Teixeira de Moura, ambas instituições no município de Palmas de Monte Alto - BA. Cursou o ensino médio no Colégio Modelo Luís Eduardo Magalhães em Guanambi-BA. Iniciou o curso de graduação Bacharelado em Engenharia Agrônoma pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *campus* Guanambi em 2012. Em julho de 2017 concluiu a graduação e em Agosto do mesmo ano ingressou no curso de Mestrado Acadêmico *Stricto Sensu* em Produção Vegetal no Semiárido da Universidade Estadual de Montes Claros, *campus* Janaúba, sendo bolsista de apoio CAPES concluindo o curso em julho de 2019.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL

GENERAL ABSTRACT

1-INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2-REFERÊNCIAS.....	17

3-ARTIGO 1: DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA.....

RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	21
1.1-INTRODUÇÃO.....	22
1.2-MATERIAL E MÉTODOS.....	23
1.3-RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
1.4-CONCLUSÕES.....	38
1.5-AGRADECIMENTOS.....	39
1.6-REFERÊNCIAS.....	40
1.7-APÊNDICES.....	43

4-ARTIGO 2: DISTRIBUIÇÃO RADICULAR DE CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDAS A IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO.....

RESUMO.....	45
ABSTRACT.....	46
2.1-INTRODUÇÃO.....	47
2.2-MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.3-RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
2.4-CONCLUSÕES.....	59
2.5-AGRADECIMENTOS.....	59
2.6-REFERÊNCIAS.....	60
2.7-APÊNDICES.....	62

5-CONCLUSÃO GERAL.....	63
------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima e evapotranspiração de referência (ET_0) (A), precipitação e umidade relativa (UR) (B) durante o período experimental.

Figura 2. Altura da palma forrageira em função das frações de reposição de água (% ET_0) via irrigação por gotejamento aos 270, 300, 330 e 360 DAP.

Figura 3. Altura da palma forrageira em função do primeiro ciclo de cultivo (dias após plantio – DAP) nas frações de reposição de água via irrigação por gotejamento de 0%, 15% e 30% da ET_0 (A) e 45%, 60% e 75% da ET_0 (B).

Figura 4. Altura da palma forrageira (A) e número de cladódios (B) ao longo do primeiro ciclo de cultivo (dias após plantio – DAP) nas cultivares Gigante e Miúda.

Figura 5. Comprimento de cladódios ao longo do ciclo (dias após plantio – DAP) nas frações de reposição de água via irrigação por gotejamento de 0%, 15% e 30% (A), 45%, 60% e 75% da ET_0 (B) para a cultivar Gigante e 0%, 15% e 30% (C), 45%, 60% e 75% da ET_0 (D) para a cultivar Miúda.

Figura 6. Largura de cladódios ao longo do ciclo (dias após plantio – DAP) nas frações de reposição e água via irrigação por gotejamento de 0%, 15% e 30% (A), 45%, 60% e 75% da ET_0 (B) para a cultivar Gigante e 0%, 15% e 30% (C), 45%, 60% e 75% da ET_0 (D) para a cultivar Miúda.

Figura 7. Índice de área de cladódio (IAC) ao longo primeiro ciclo de cultivo (dias após plantio – DAP) das cultivares Gigante e Miúda.

Figura 8. Produtividade de massa verde (PMV) (A) e de matéria seca (PMS) (B) de palma forrageira em função das frações de reposição de água (% ET_0) via irrigação por gotejamento.

Figura 9. Eficiência de uso da água (EUA) incluindo as precipitações em função das frações de reposição de água (% ET_0) via irrigação por gotejamento.

Apêndice 1. Adubação orgânica realizada na área experimental (A); linha de lateral com gotejador (B); tombamento da palma forrageira cultivar Miúda provocada pela alta umidade decorrente do período chuvoso (C); mensuração de largura de cladódio (D); colheita de cladódios (E); e pesagem da matéria verde da palma forrageira (F). Fotos: Silvânio Santos.

CAPÍTULO II

Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima e evapotranspiração de referência (ET_0) (A), precipitação e umidade relativa (UR) (B) durante o período experimental.

Figura 2. Densidade de comprimento de raízes (DCR) em função das frações de reposição de água ($\%ET_0$) (A), distância (cm) (B) e profundidade (cm) (C) para as raízes muito finas da palma forrageira. Montalvânia, MG.

Figura 3. Densidade de comprimento de raízes (DCR) em função da distância da planta e frações de reposição de água no solo para as classes de 0,5-2,0 mm (A); 2,0-5,0 mm (B); 5,0-10 mm (C); e todas as classes (D).

Figura 4. Isolinhas de densidade de comprimento de raízes (DCR) em função da profundidade e da distância nas cultivares Gigante (A) e Miúda (B).

Figura 5. Porcentagem de densidade de comprimento de raízes (DCR) da palma forrageira cultivares Gigante (A) e Miúda (B) para as diferentes classes de raízes de diferentes lâminas de irrigação.

Apêndice 2. Área experimental (A); linha de lateral com gotejador (B); trado de extração de raízes com a abertura de onde foram retiradas as amostras de raízes (C); lavagem de raízes e retirada do solo da amostra (D); raízes de palma forrageira (E) e; digitalização das raízes (F). Fotos: Silvânio Santos e Igor Nogueira.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica e química da área experimental.

Tabela 2. Lâminas de água aplicadas (LAM, mm) e precipitação (PREC, mm) durante ciclo de produção das palmas forrageiras cultivares ‘Gigante’ e ‘Miúda’. (Montalvânia - MG, 2017/2018).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura da planta (AP, cm), número de cladódios por planta (NC), comprimento de cladódio (CC, cm), largura de cladódio (LC, cm) e índice de área de cladódio (IAC) de palmas forrageiras ‘Gigante’ e ‘Miúda’ (CTV) cultivadas sob diferentes frações de reposição de água no solo (RAS, mm) ao longo de 360 dias após plantio (DAP).

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à produtividade de matéria verde (PMV, t ha⁻¹), produtividade de matéria seca (PMS, t ha⁻¹), eficiência de uso da água (EUA, kg ha⁻¹ mm⁻¹) de palmas forrageiras ‘Gigante’ e ‘Miúda’ (CTV) cultivada sob diferentes lâminas de irrigação (LAM, mm).

Tabela 5. Valores médios de eficiência de uso da água (EUA, kg ha⁻¹ mm⁻¹), considerando as precipitações nas cultivares de palmas forrageiras ‘Gigante’ (CTV 01) e ‘Miúda’ (CTV 02).

CAPÍTULO II

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica e química da área experimental.

Tabela 2. Lâminas de água aplicadas (LAM, mm) e precipitação (PREC, mm) durante ciclo de produção das palmas forrageiras cultivares ‘Gigante’ e ‘Miúda’. (Montalvânia - MG, 2017/2018).

Tabela 3. Tabela de análise de variância não paramétrica para as médias de densidade de comprimento de raízes (DCR, cm³ cm⁻³) das variáveis analisadas: cultivar Gigante (CTV 1) e cultivar Miúda (CTV 2) para as diferentes classes de raízes.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a densidade de comprimento raízes (DCR, cm³ cm⁻³) de palma forrageira em diferentes classes de diâmetro cultivada sob diferentes frações de reposição de água (RAS, % ET₀) e avaliadas em diferentes distâncias da base da planta (DIST, cm) e profundidades (PROF, cm) ao final do primeiro ciclo de cultivo (DAP). (Montalvânia, MG, 2017-2018).

Tabela 5. Equações de regressão para estimar a DCR das classes de raízes finas, pequenas e médias da palma forrageira aos 360 dias após plantio referentes aos gráficos da Figura 3.

RESUMO GERAL

A pecuária é uma forte atividade no semiárido brasileiro, uma região marcada por condições adversas que comprometem a alimentação animal, daí a necessidade de investir no plantio e condução de plantas xerófilas como a palma forrageira. Objetivou-se apresentar um manejo de irrigação adequado para a palma forrageira a partir da avaliação do desempenho, rendimento agrônomico e distribuição radicular de duas cultivares da cultura e definir qual o melhor material genético utilizado em condições irrigadas. O experimento foi conduzido em Montalvânia-MG (2017-2018) e envolveu seis tratamentos de demanda hídrica (T₁, sem irrigação; T₂, 15% da ETo; T₃, 30% da ETo; T₄, 45% da ETo; T₅, 60% da ETo e, T₆, 75% da ETo) e dois materiais genéticos de palma forrageira (cultivar Gigante - *Opuntia ficus-indica* Mill. e cultivar Miúda - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). Utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas, ficando os tratamentos de irrigação nas parcelas e os materiais genéticos nas subparcelas, em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições para a avaliação de desempenho e rendimento agrônomico e três repetições para avaliação da distribuição radicular. No terceiro mês após o plantio e durante um ciclo de cultivo efetuaram-se as avaliações de crescimento e aos 390 dias após o plantio iniciou-se a coleta de raízes. Na colheita foram avaliadas as variáveis de produção e eficiência no uso da água (EUA). As lâminas de água interferem nas características de crescimento das cultivares, porém, recomenda-se o plantio da cultivar Miúda em condições irrigadas, por apresentar melhor produtividade de matéria seca e EUA. A densidade de comprimento de raízes (DCR) muito finas se concentra nas proximidades da planta e raízes finas, pequenas e médias se concentram apenas nas primeiras distâncias, porém, todas elas concentram-se nas maiores lâminas de irrigação. A cultivar Gigante se destaca em maior porcentagem de DCR.

Palavra-chave: *Opuntia ficus-indica* Mill.. *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck.. Regimes hídricos. Semiárido.

GENERAL ABSTRACT

Livestock is a strong activity in the Brazilian semiarid, a region marked by adverse conditions that compromise animal nutrition, hence the need to invest in xerophilous plants, such as the cactus pear. The objective was to present an adequate irrigation management for the cactus pear from the evaluation of the performance, agronomic yield and root distribution of two different cultivars and to define the best genetic material under irrigated conditions. The experiment was conducted in Montalvânia-MG (2017-2018) and involved six water demand treatments (T1, without irrigation; T2, 15% of ETo; T3, 30% of ETo; T4, 45% of ETo; T5, 60 % of ETo and T6, 75% of ETo) and two cactus pear genetic materials (cultivars 'Gigante' - *Opuntia ficus-indica* Mill. and 'Miúda' - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). A split plot was used, with the irrigation treatments in the plots and the genetic materials in the subplots, in a randomized blocks design, with four replicates, to evaluate agronomic performance and three replicates to evaluate root distribution. In the third month after planting and during a growing cycle, growth evaluations were performed and at 390 days after planting, root collection was started. At harvest, the variables of production and water use efficiency (WUE) were evaluated. Water depths interfere in the growth characteristics of the cultivars, however, it is recommended to plant the 'Miúda' under irrigated conditions, as it shows higher dry matter yield and WUE. The root length density (RLD) of very thin roots is concentrated in the proximity of the plant and small, medium and thin roots are concentrated only at the first distances, but all concentrated on the highest irrigation depths. The cultivar Gigante stands out with higher percentage of LDR.

Key words: *Opuntia ficus-indica* Mill.. *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck. Water regimes. Semiarid.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O semiárido do Brasil está inserido em grande parte na Região Nordeste do Brasil e no norte de Minas Gerais. É caracterizado por baixa quantidade e irregularidades nas precipitações pluviométricas durante o ano, excesso de radiação e temperaturas médias elevadas. Tais características dificultam o manejo de animais ruminantes, pois comprometem a oferta de alimentos a estes no período de estiagem, principalmente. Apesar de ser uma região heterogênea, há condições de enquadramento no semiárido, que são: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; índice de aridez entre 0,2 e 0,5 calculado por meio de balanço hídrico; e déficit hídrico diário igual ou superior a 60% (BRASIL, 2017).

Nessas condições, a fim de conviver sustentavelmente, é fundamental investir no plantio e condução de plantas xerófilas como a palma forrageira, as quais possuem características morfofisiológicas que permitem a convivência com as limitações do ambiente físico predominantes no semiárido. Dentre as características, destacam-se as cutículas espessas; grandes vacúolos; tamanho, densidade estomática e frequência de abertura estomática reduzida; folhas modificadas em espinhos; câmara subestomática; parênquimas clorofilianos; aquífero bem desenvolvido e células mucilaginosas (AZEVEDO et al., 2013), além de uma fisiologia marcada pelo metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) (TAIZ; ZEIGER, 2017).

A palma forrageira é a cactácea de maior importância no mundo por ser uma excelente fonte de alimentação para várias espécies de animais e para o homem, com inúmeras utilizações, variando desde o consumo *in natura* até a produção de farelos ou como emoliente adicionada a restos culturais, palhadas e subprodutos industriais até 80% da dieta dos animais, sobretudo no período de estiagem (SOARES II; SILVA JÚNIOR, 2012). Sua produtividade tem sido muito aquém do seu potencial, devido à falta de manejo adequado, apesar de sua adaptação às regiões áridas e semiáridas (DONATO et al., 2014).

Dentre as espécies mais utilizadas no plantio, estão as dos gêneros *Opuntia* e a *Nopalea*. Destacam-se as espécies *Opuntia ficus-indica* Mill. e *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck (SILVA et al., 2017). Essas duas espécies são mais resistentes e adaptadas às regiões áridas e semiáridas, apresentando tolerância a períodos longos de estiagem e alta eficiência no uso de água (SILVA et al., 2015).

A palma ‘Gigante’ (*Opuntia ficus-indica* Mill.) apresenta porte grande; caule ereto; menor ramificação; maior área frondosa na parte superior; cladódio pesando cerca de 1,0 kg, com até 0,5 m de comprimento, forma oval elíptica ou subovalada, de coloração verde-fosca; flores hermafroditas; fruto baga ovoide grande, com até 250 g, amarelo a roxo (FARIAS et

al., 2005) e a produtividade, quando em condições ambientais e de manejo adequadas, pode ultrapassar 50 t ha⁻¹ ciclo⁻¹ de matéria seca (NOBEL, 2001). Por outro lado, a palma ‘Miúda’ (*Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck) é uma planta pequena; com caule ramificado; grande quantidade de cladódios pequenos, com cerca de 350 g, comprimento de 25 cm; flores vermelhas; maior resistência a cochonilha e menor resistência à seca quando comparada às espécies do gênero *Opuntia* (VASCONCELOS et al., 2009) e produtividade próxima de 45 t ha⁻¹ ciclo⁻¹, desde que em cultivos adensados de 80.000 plantas ha⁻¹ (SILVA et al., 2014).

Apesar do potencial e importância de adaptação dessa cultura na região semiárida, a palma ainda é cultivada de forma rudimentar pelos produtores, com baixa adoção de práticas agrícolas adequadas para um maior desenvolvimento da cultura, principalmente no que se refere ao manejo. Devido à utilização inadequada desta planta, diante de suas múltiplas aplicabilidades, observam-se produtividades inferiores ao potencial da cultura (SILVA et al., 2012; DONATO et al., 2014).

Nesse sentido, é importante a avaliação de novas tecnologias que sejam capazes de incrementar físico-economicamente as produtividades alcançadas atualmente. Dentre essas tecnologias, pode-se destacar a utilização da irrigação, por permitir que a cultura eleve o rendimento ou alcance seu potencial produtivo (CAMPOS et al., 2008; SILVA et al., 2011; PAYERO; IRMAK, 2013; SANTOS et al., 2017). A aplicação de água, mesmo em quantidades mínimas torna-se uma opção viável para garantir produções satisfatórias da palma diante das condições adversas (LIMA et al., 2015) uma vez que, mesmo possuindo baixa exigência hídrica, seu rendimento em certas regiões do semiárido pode ser comprometido (LIMA et al., 2016).

Todavia, a limitação de recursos hídricos no semiárido brasileiro induz a necessidade do conhecimento não apenas da demanda hídrica, mas também da eficiência do sistema de produção. Assim, a determinação de indicadores de eficiência do uso de água torna-se bastante importante, pois estabelece parâmetros essenciais para a otimização da produtividade das culturas. Apesar de ser uma prática incipiente em regiões tradicionalmente produtoras de palma forrageira, a irrigação é uma técnica de elevada importância. Tais considerações induzem à necessidade de estudos de análise do desempenho da palma submetida a diferentes condições de disponibilidade de água, que possibilitem a melhoria da compreensão da resposta da cultura e a definição de sua exigência hídrica que podem ser úteis para a maximização da sua produtividade.

Nesse sentido, objetivou-se propor um manejo de irrigação para a palma forrageira a partir da avaliação do desempenho e do rendimento agrônomico e da distribuição radicular de

duas cultivares de palma forrageira, bem como definir qual o melhor material genético utilizado em condições irrigadas.

2. REFERÊNCIAS

AZEVEDO, C. F. et al. Morfoanatomia vegetativa de *Opuntia brasiliensis* (Willd) Haw. **Ambiência**, Guarapuava, v.9, n.1, p.73-82, 2013.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://www.in.gov.br/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/19287874/d1-2017-09-13-resolucao-n-107-de-27-de-julho-de-2017-19287788>. Acesso em: 20 jul. 2019.

CAMPOS, J. H. B. C. et al. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 150-156, 2008.

DONATO, P. E. R.; et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira ‘Gigante’ sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.1, p.151-158, 2014.

FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: UFPE. v. único, p.81-104, 2005.

LIMA, G. F. C; et al. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.29, n.2, p.481-488, 2016.

LIMA, G. F. C. et al. Effect of diferente cutting intensities on morphological characteristics and productivity of irrigated *Napolea* forage cactus. **Acta Horticulturae**, Leuven, v.1, n.1067, p.253-258, 2015.

NOBEL, P. S. *Biologia Ambiental*. In: BARBERA, G.; INGLESE, P.; PIMIENTA-BARRIOS, E. P. (Ed.) *Agroecologia, cultivo e uso da palma forrageira*. João Pessoa: SEBRAE-PB, p. 36-48, 2001.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 129, p. 31-43, 2013.

SANTOS, M. R. et al. Irrigação na palma forrageira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.38, n.296, p.76-88, 2017.

SILVA, J. A. et al. Cultivares e manejo da palma forrageira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.38, n.296, p.34-45, 2017.

SILVA, T. G. F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.2 p.10-18, 2015.

SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014.

SILVA, J. A. et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações químicas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, p.866-875, 2012.

SILVA, A. C. et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n.12, p. 1215-1221, 2011.

SOARES II, J.C. & SILVA JÚNIOR, S.S. Palma forrageira: uma alternativa para sobrevivência no Semiárido. **Revista Cabra & Ovelha**, São Paulo, v.34, n.72, p. 4-5, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil. 819p., 2017.

VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.5, p.827-831, 2009.

3. ARTIGO 1

DESEMPENHO AGRONÔMICO E EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA EM CULTIVARES DE PALMA FORRAGEIRA IRRIGADA

RESUMO

A palma forrageira é uma alternativa alimentar para animais na região semiárida, sendo possível aumentar suas características produtivas com o mínimo de irrigação. Objetivou-se verificar o desempenho agrônomo e eficiência de uso da água (EUA) de palma forrageira submetida a diferentes níveis de irrigação bem como definir qual o melhor material genético utilizado em condições irrigadas para o semiárido mineiro. O experimento foi conduzido no município de Montalvânia-MG durante um ano (2017-2018) e envolveu seis tratamentos de demanda hídrica em frações de reposição de água no solo (T₁, sem irrigação; T₂, 15% da ETo; T₃, 30% da ETo; T₄, 45% da ETo; T₅, 60% da ETo e, T₆, 75% da ETo) e dois materiais genéticos de palma forrageira (cultivar Gigante - *Opuntia ficus-indica* Mill. e cultivar Miúda - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). Utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas, ficando os tratamentos de irrigação nas parcelas e os materiais genéticos nas subparcelas, em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. A partir do terceiro mês após o plantio e durante 1 ciclo de cultivo efetuaram-se as avaliações de crescimento e, na colheita foram avaliadas as variáveis de produção e a EUA. Constatou-se que as lâminas de irrigação influenciaram significativamente ($P>0,05$) as variáveis de crescimento. As lâminas de 40 a 50% da ETo proporcionaram maior produtividade de matéria verde e matéria seca e a cultivar Miúda superou a ‘Gigante’. A EUA foi influenciada pelas lâminas de irrigação, sendo a cultivar Miúda a melhor opção para o cultivo.

Palavras-chave: *Opuntia ficus-indica* Mill.. *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck.. Rendimento agrônomo. Regime hídrico.

ABSTRACT

Cactus pear is a food alternative for animals in the semi-arid region, and it is possible to increase its production characteristics with minimal irrigation. The objective was to verify the agronomic performance and water use efficiency (WUE) of cactus pear subjected to different irrigation levels, as well as to define the best genetic material to be used under irrigated conditions for the semiarid region of Minas Gerais, Brazil. The experiment was conducted in Montalvânia-MG during one year (2017-2018) and involved six water demand treatments (T1, without irrigation; T2, 15% of ETo; T3, 30% of ETo; T4, 45% of ETo; T5, 60% of ETo and T6, 75% of ETo) and two cactus pear genetic materials (cultivars 'Gigante' - *Opuntia ficus-indica* Mill. and 'Miúda' - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). A split plot was used, with the irrigation treatments in the plots and the genetic materials in the subplots, in a randomized block design with four replications. From the third month after planting and during a growing cycle, growth evaluations were carried out and, at harvest, production variables and water use efficiency (WUE) were evaluated. Irrigation depths significantly ($P>0.05$) influenced growth variables. Depths of 40 to 50% of the ETo yielded higher green matter and dry matter yields and the 'Miúda' cultivar outperformed the 'Gigante'. WUE was influenced by irrigation depths, being the cultivar 'Miúda' the best option for cultivation.

Key words: *Opuntia ficus-indica* Mill., *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck. Agronomic performance. Water regime.

1.1 INTRODUÇÃO

A pecuária é uma importante atividade desenvolvida na região semiárida, com destaque para a criação de bovinos, caprinos e ovinos que, geralmente, se alimentam de vegetais nativos que possuem processos fotossintéticos C₃ e C₄ e têm sua produtividade comprometida nessas regiões devido às condições climáticas, tornando a escassez de pastagens um agravante. Com isso, é imprescindível o manejo sustentável das atividades agrícolas nesses locais. Nessas condições, plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) se tornam ótima opção de aumento do rendimento agrícola. Entre essas, está a palma forrageira, uma cactácea que apresenta tolerância a períodos longos de estiagem e alta eficiência de uso da água (PINHEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2015; MARQUES et al., 2017; SOUZA et al., 2018; CARVALHO et al., 2017).

Para alcançar o potencial produtivo dessa cultura, o manejo a ser adotado é de fundamental importância mediante a adoção de clones melhorados, realização de adubação, técnicas de plantio, controle de plantas daninhas e pluviosidade (SILVA et al., 2014). Inclui-se aí o manejo de irrigação, que permite suprir a necessidade hídrica da cultura (MARTIN et al., 2012), adotando uma prática de manejo que deve ser posta por meio da avaliação dos seus benefícios no sistema de produção (CRUZ NETO et al., 2017). A respeito da palma forrageira, informações sobre evapotranspiração, indicadores de eficiência e efeitos diretos e indiretos das características de crescimento sobre sua produção são importantes (OLIVEIRA et al., 2010; CONSOLI et al., 2013; SILVA et al., 2014).

Dessa forma, há a necessidade de estudos de desempenho da palma forrageira sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo que possam definir sua exigência hídrica e proporcionar uma resposta melhor da cultura a tais condições, de modo a maximizar a produtividade e provocar a expansão de áreas, compreendendo seus atributos morfológicos que contribuem para seus rendimentos (COSTA et al., 2012; AMORIM et al., 2017). Embora a irrigação da palma forrageira seja uma prática incipiente no semiárido do Brasil, há registros bem sucedidos nos estados do Rio Grande do Norte e de Pernambuco (REGO et al., 2014; QUEIROZ et al., 2015; LIMA et al., 2016). Mesmo de forma complementar, o uso da irrigação na mesma cultura em outras regiões do mundo também tem permitido a obtenção de resultados satisfatórios (FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004).

O crescimento vegetativo está fortemente associado ao conteúdo de água no solo, em razão dos principais processos fisiológicos e bioquímicos serem dependentes dela. A mensuração de variáveis de crescimento, produtividade e eficiência de uso da água em

distintas condições de disponibilidade hídrica é uma alternativa que demonstra os padrões de respostas das plantas, contribuindo para a tomada de decisão no manejo de diferentes espécies (CUNHA et al., 2012; ARAÚJO JÚNIOR et al., 2019) e identificação das características que mais influenciam na sua produção (PEREIRA et al., 2015). Para a palma forrageira, estudos desta natureza são importantes de modo que sua determinação contribui para o aperfeiçoamento do uso da água no âmbito agrícola.

Em face do exposto, objetivou-se verificar as respostas agrônômicas e de eficiência de uso da água de plantas de palma forrageira submetidas a diferentes níveis de reposições de água via irrigação bem como identificar o melhor material genético a ser irrigado no semiárido mineiro.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em propriedade rural localizada no distrito de Pitarana, município de Montalvânia, semiárido de Minas Gerais, entre os meses de setembro/2017 a novembro/2018. As coordenadas centrais do experimento correspondem a 14° 19' 21,73" S e 44° 28' 39,45" W, com altitude de 492 m. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, anteriormente cultivado com pastagem, feijão, milho e por último melancia; logo após, permaneceu em pousio por seis anos.

O clima da região é classificado, de acordo com a classificação Köppen, como "Aw" (ALVARES et al., 2013). Os dados de temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima, evapotranspiração de referência, umidade relativa do ar e precipitação foram coletados em estação meteorológica instalada no local do experimento (Figura 1).

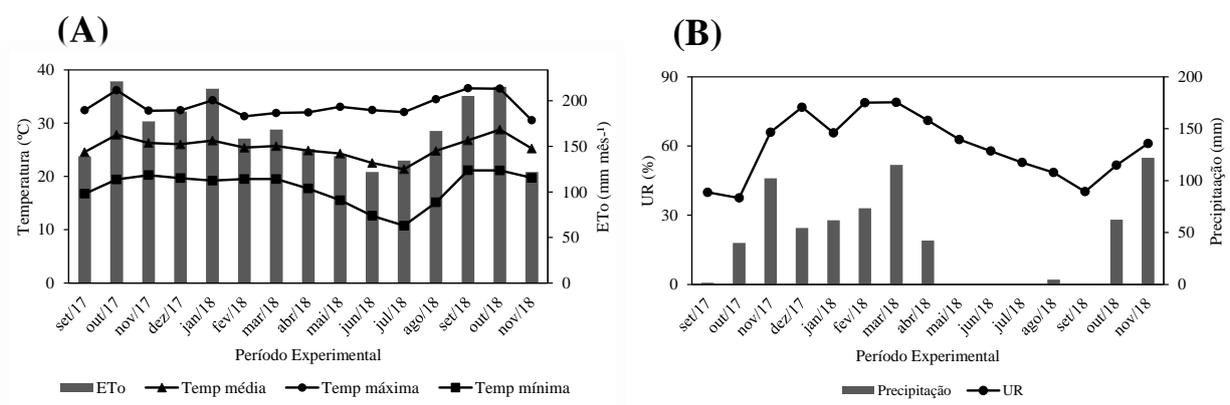


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima mensais e evapotranspiração de referência (ET₀) (A), precipitação e umidade relativa (UR) (B) durante o período experimental.

Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m para caracterização físico-hídrica (textura; curva de retenção às tensões de 6, 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa e densidade do solo) bem como química, conforme metodologia de Teixeira et al. (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica e química da área experimental.

Características físico-hídricas													
Profundidade(m)	Textura (dag kg ⁻¹)			Curva de retenção *	R ²	ρ _s (g cm ⁻³)							
	Areia	Silte	Argila										
0-0,2	13	36	51	$\theta = 0,2255 + \frac{(0,5850 - 0,2255)}{[1 + (0,1056 * \tau)^{1,6220}]^{0,3835}}$	0,99	1,36							
0,2-0,4	-	-	-	$\theta = 0,2534 + \frac{(0,5950 - 0,2534)}{[1 + (0,0813 * \tau)^{1,7832}]^{0,4392}}$	0,99	1,40							
Composição química													
pH	MO	P	K	Na	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S
	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³
6,3	2,4	9,1	362	0,2	1,7	0,0	1,6	0,3	2,4	20,9	61,7	5,3	0,0

*θ = umidade volumétrica (cm³ cm⁻³); τ = potencial matricial (-kPa).

À partir das curvas de retenção de água no solo (Tabela 1) foi calculada a capacidade total de armazenamento de água, correspondendo a 76,2 mm nos primeiros 0,4 m de profundidade (profundidade efetiva do sistema radicular), considerando os potenciais matriciais na capacidade de campo e ponto de murcha permanente iguais a 20 e 1500 kPa, respectivamente.

O experimento de campo foi instalado em agosto de 2017, envolvendo seis tratamentos de demanda hídrica com reposições de água no solo (T₁, sem irrigação; T₂, 15% da ET₀; T₃, 30% da ET₀; T₄, 45% da ET₀; T₅, 60% da ET₀ e, T₆, 75% da ET₀) e dois genótipos de palma forrageira (cultivar Gigante - *Opuntia ficus-indica* Mill. e cultivar Miúda - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). As cultivares foram plantadas com 50% do cladódio enterrado no solo (Apêndice 1A) em um esquema de parcelas subdivididas, ficando os tratamentos de irrigação nas parcelas e os materiais genéticos nas subparcelas, dispostos no delineamento em blocos completos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de duas fileiras duplas de plantas com 3,25 m de comprimento, sendo as plantas espaçadas 0,25 m entre si nas fileiras, 0,5 m entre fileiras simples e 1,5 m entre fileiras duplas, de modo a haver 26 plantas por subparcela, das quais sete plantas centrais foram consideradas como subparcela útil.

A área para implantação do experimento recebeu uma aração e uma gradagem para posterior plantio. Os sulcos de plantio foram feitos com enxadão a uma profundidade de 0,20 m onde foram acomodados os cladódios e a partir dos resultados da análise química do solo realizou-se uma adubação orgânica na ocasião do plantio (Apêndice 1 A e B), com 20 t ha⁻¹ de esterco ovino, além da adubação química com 75 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 75 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo todo o P fornecido via formulado 4-30-10, e o N e K₂O complementado via ureia e KCl, respectivamente, de acordo a recomendação de Donato et al. (2017). Durante a condução do experimento foram realizados todos os tratos culturais, com o intuito de proporcionar condições ideais para o desenvolvimento da cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual, principalmente nos períodos chuvosos, ocasião que morreram 32,84% plantas, sendo 11,05% da cultivar Gigante e 21,79% cultivar Miúda (Apêndice 1C).

As lâminas de irrigação foram aplicadas semanalmente baseando-se na evapotranspiração de referência (ET₀) conforme a equação de Hargreaves-Samani (1985) modificada (ALLEN et al., 2006), sendo os dados de temperatura máxima e mínima obtidos por uma estação meteorológica existente na área. Diariamente, foram registrados os dados de ET₀, estes eram acumulados durante sete dias e, semanalmente, calculava-se o tempo de irrigação, conforme Mantovani et al. (2009). Mensalmente eram determinadas as umidades do solo nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m em todas as unidades experimentais, para fins de monitoramento.

A água utilizada no experimento foi proveniente do Rio Carinhanha e apresentava condutividade elétrica (CEa) de 0,03 dS m⁻¹. As linhas laterais foram de PELBD de 13 mm, com gotejadores autocompensantes (faixa de pressão de 50 a 400 kPa) tipo *on line*, espaçados 0,40 m entre si com vazões de 2, 4, 6, 8 e 10 L h⁻¹, relativos aos tratamentos 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Houve monitoramento do acúmulo de água nas diferentes condições de aplicação (Tabela 2).

Tabela 2. Lâminas de água aplicadas (LAM, mm) e precipitação (PREC, mm) durante o primeiro ciclo de produção das palmas forrageiras cultivares Gigante e Miúda. (Montalvânia - MG, 2017/2018).

REPOSIÇÃO	LAM (mm)	PREC (mm)	Lâmina bruta acumulada (mm)
0% ET ₀	0	680,9	680,9
15% ET ₀	177,9	680,9	858,8
30% ET ₀	355,8	680,9	1036,7
45% ET ₀	533,7	680,9	1214,6
60% ET ₀	711,6	680,9	1392,5
75% ET ₀	889,5	680,9	1570,4

Os tratamentos de irrigação foram diferenciados aos 60 dias após o plantio (DAP). As avaliações de crescimento foram iniciadas aos 90 dias após plantio (DAP) e encerradas após um ano de plantio (Agosto – 2018). A cada 30 dias, eram mensurados: altura da planta (AP), número de cladódios por planta (NC), comprimento de cladódio (CC), largura de cladódio (LC) e índice de área de cladódio (IAC) em um período de dez meses. Para determinações da AP, CC e LC utilizou-se uma trena (Apêndice 1D), na qual se considerava, para AP, desde o solo até a extremidade do artigo mais alto e, para o CC e LC a região que apresentava maior valor.

O índice de área de cladódio (IAC) foi estimado com os dados obtidos do CC e LC. Primeiramente determinou-se a área do cladódio (ACL) conforme método descrito por Pinto et al. (2002), (Equação 1).

$$ACL = (CCL * LCL * 0,693) * 2 \quad [1]$$

em que,

ACL = área do cladódio (cm²);

CCL = comprimento do cladódio (cm);

LCL = largura do cladódio (cm); e

0,693 = fator de correção em função de forma elipse do cladódio.

Em função dos valores de ACL da planta, calculou-se o IAC (Equação 02), permitindo mensurar a área total dos cladódios da planta, levando em consideração os dois lados do cladódio e área ocupada pela planta no solo (m² de área de cladódio por m² de solo), sendo utilizado para analisar a interceptação de radiação fotossintética pela palma e determinar a área fotossinteticamente ativa da planta (SILVA et al., 2014c).

$$IAC = \frac{ACL}{ARP} \quad [2]$$

em que:

IAC = índice de área de cladódio (m² m²) e;

ARP = área destinada para a planta no solo (m²).

Na colheita (novembro-2018), com o auxílio de faca, todas as plantas da subparcela útil foram colhidas (Apêndice 1E e F), realizando-se o corte de todos os cladódios separadamente e preservando somente o cladódio “mãe” (cladódio utilizado no plantio). Os cladódios colhidos na parcela útil foram colocados em sacos para a realização da pesagem e a partir de então determinou-se a produtividade de matéria verde (PMV) ($t\ ha^{-1}$).

A produtividade de matéria seca (PMS) foi determinada em função do teor de matéria seca (MS) do tratamento multiplicado pela produtividade de massa verde (PMV), obtendo assim a PMS ($t\ ha^{-1}$).

A eficiência de uso da água foi obtida a partir dos valores de lâminas de irrigação durante o ciclo e produção de matéria seca (Equação 3).

$$EUA = \frac{PROD}{LBA} \quad [3]$$

em que,

EUA = eficiência de uso da água ($kg\ ha^{-1}\ mm^{-1}$);

PROD = produtividade de matéria seca ($kg\ ha^{-1}$); e

LBA = lâmina bruta aplicada (mm) + precipitação acumulada (mm) (Tabela 2).

Os dados de crescimento (parcela subdividida), produção e EUA (parcela subdividida) foram submetidos à análise de variância, sendo feito o desdobramento das interações significativas até 5% de significância. As fontes de variação quantitativas (Lâminas e DAP) foram submetidas à análise de regressão ao nível de 5% de significância e a fonte de variação qualitativa (Cultivar) foi comparada pelo teste F, ao nível 5% de significância, pelos programas estatísticos SISVAR (FERREIRA, 2014) e software SIGMA PLOT, versão demonstrativa. Foi escolhido o modelo de regressão que melhor representasse o fenômeno biológico envolvido, apresentando o maior coeficiente de determinação (R^2) e significância dos parâmetros da regressão pelo teste t de Student ($p < 0,05$). Modelos de regressão não-linear Gaussianos foram utilizados para representar AP, NC e IAC, de acordo com a equação abaixo (Equação 4).

$$\hat{Y} = \frac{a}{\left(\frac{1 + \exp(-(x-x_0))}{b}\right)} \quad [4]$$

em que:

a = o valor máximo de acumulação;

x0 = o valor de x no qual inicia a inflexão na curva (ponto de inflexão, no qual a taxa máxima de acumulação do valor y é observado); e

b = o intervalo de valores de x em que há maior variação em y.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 3) permite verificar que houve interação tripla para as variáveis comprimento (CC) e largura (LC) do cladódio. Observou-se interação significativa da cultivar (CTV) e dias após plantio (DAP) para altura da planta (AP), número de cladódios (NC) e índice de área de cladódio (IAC). Para a interação entre frações de reposição de água no solo (RAS) e dias após plantio (DAP), foi observada significância para altura da planta (AP), apenas. De forma isolada, os dias após plantio (DAP) e cultivar (CTV) influenciaram em todas as variáveis (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para altura da planta (AP, cm), número de cladódios por planta (NC), comprimento de cladódio (CC, cm), largura de cladódio (LC, cm) e índice de área de cladódio (IAC) de palmas forrageiras ‘Gigante’ e ‘Miúda’ (CTV) cultivadas sob diferentes frações de reposição de água no solo (RAS, mm) ao longo de 360 dias após plantio (DAP).

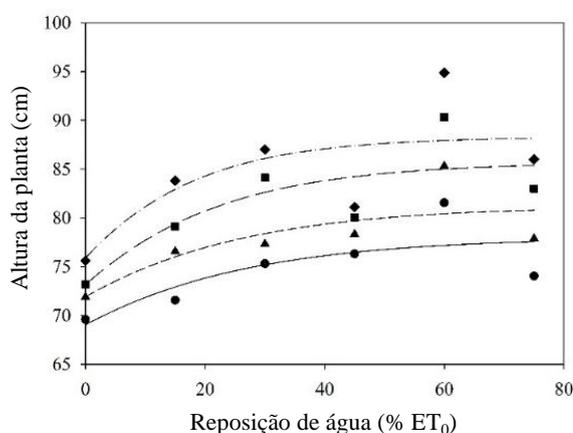
FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		AP	NC	CC	LC	IAC
Bloco	3	1206,53*	341,33ns	4,16 ^{ns}	1,06 ^{ns}	19,77 ^{ns}
RAS	5	436,63 ^{ns}	20,15 ^{ns}	82,09 ^{ns}	27,31 ^{ns}	5,39 ^{ns}
resíduo (a)	15	321,09	186,19	34,86	12,79	6,71
CTV	1	15752,34**	17569,20**	6026,85**	4024,80**	40,04*
RAS * CTV	5	644,98 ^{ns}	129,97 ^{ns}	40,37 ^{ns}	12,58 ^{ns}	8,03 ^{ns}
resíduo (b)	18	314,15	158,58	29,46	9,26	6,44
DAP	9	12097,52**	2909,65**	33,48**	16,19**	120,86**
RAS * DAP	45	59,64**	5,00 ^{ns}	2,78 ^{ns}	1,43 ^{ns}	0,56 ^{ns}
CTV * DAP	9	55,84*	1105,35**	42,96**	1,36 ^{ns}	7,88**
RAS * CTV * DAP	45	28,44 ^{ns}	12,51 ^{ns}	10,05**	2,05**	0,54 ^{ns}
resíduo (c)	324	23,75	19,59	5,09	1,15	0,75
CV 1 (%)		28,14	120,53	28,53	36,53	112,55
CV 2 (%)		27,84	111,24	26,23	31,09	110,28
CV 3 (%)		7,66	39,10	10,91	10,98	37,69
Média Geral		63,66	11,32	20,69	9,79	2,30

ns – não significativo; ** - significativo a 1%; * - significativo a 5%, pelo teste F.

A altura de plantas (AP) aumenta com o incremento das lâminas aos 270, 300, 330 e 360 dias após plantio, ajustando-se, significativamente a um modelo não linear Gaussiano (Figura 2). Somente nos últimos meses do ciclo houve uma maior influência da fração da ETo

na AP, atingindo para cada unidade de lâmina o máximo acúmulo de AP em 49,20; 48,25; 34,59 e 29,26% da ET_0 (Figura 2) aos 270, 300, 330 e 360 dias após plantio, respectivamente. Não se pode afirmar que apenas uma irrigação com déficit nos últimos quatro meses do ciclo é suficiente para alcançar maior AP, uma vez que há maiores taxas de AP até os 240 dias após plantio a uma lâmina de 30% da ET_0 com incremento de 0,1746 cm para cada unidade aumentada de fração de reposição via ET_0 (Figura 3A). A partir daí, as lâminas maiores incrementam a AP dos 270 dias até o final do ciclo. Analisando a evolução das taxas de crescimento para AP em Pernambuco, Pereira et al. (2015) observaram que todas as taxas apresentaram incrementos significativos nos últimos meses do período de crescimento, em decorrência dos eventos mais expressivos de precipitação.

A irrigação com déficit não compromete a AP, sendo viável para esta variável sua utilização com 30% da ET_0 até os 240 dias e 75% da ET_0 nos últimos meses. Porém, o aumento da lâmina de água acima de 75% da ET_0 pode causar decréscimo das taxas de AP, indicando que uma disponibilidade hídrica maior impede o desenvolvimento das plantas, principalmente em espécies de palma forrageira em que o baixo consumo de água proporciona aumento na umidade do solo (BAJGAIN et al., 2015; SANTOS et al., 2014a; FLORES-HERNÁNDEZ et al., 2004).



— \hat{Y} (270 DAP) = $78,0058 * (1 + \exp(-(x - (-49,2007))/24,1033))$	$r^2 = 0,77$
- - - \hat{Y} (300 DAP) = $81,2428 * (1 + \exp(-(x - (-48,2534))/23,6333))$	$r^2 = 0,78$
- - - \hat{Y} (330 DAP) = $85,6955 * (1 + \exp(-(x - (-34,5953))/19,6090))$	$r^2 = 0,82$
- - - \hat{Y} (360 DAP) = $88,2862 * (1 + \exp(-(x - (-29,2691))/16,1475))$	$r^2 = 0,73$

Figura 2. Altura da palma forrageira em função das frações de reposição de água (% ET_0) via irrigação por gotejamento aos 270, 300, 330 e 360 DAP.

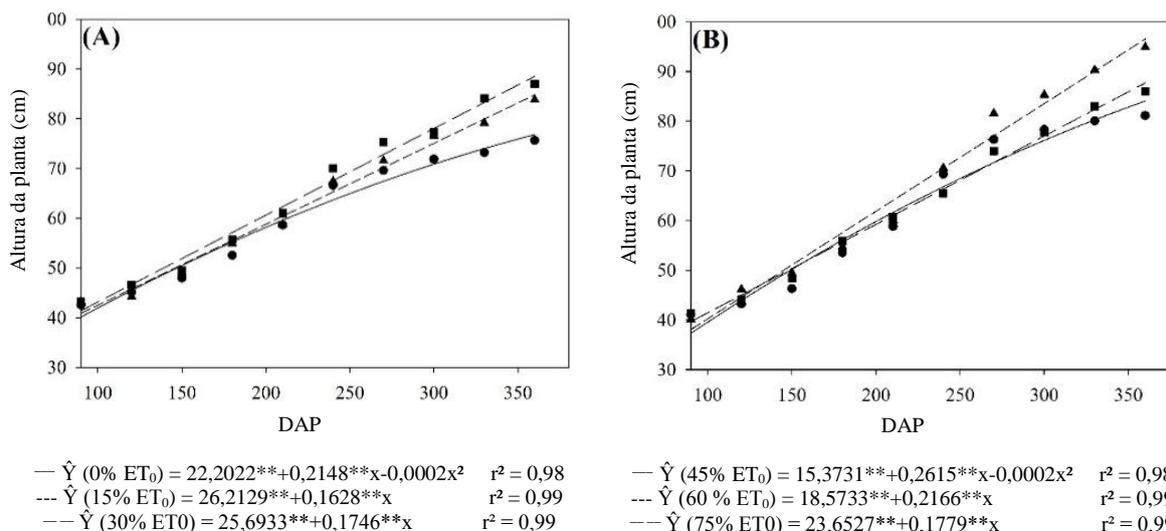


Figura 3. Altura da palma forrageira em função do primeiro ciclo de cultivo (dias após plantio – DAP) nas frações de reposição de água via irrigação por gotejamento de 0%, 15% e 30% da ET_0 (A) e 45%, 60% e 75% da ET_0 (B).

Cada cultivar de palma forrageira apresenta diferenças para AP, devido às suas características (Figura 4A). Houve ajuste linear simples para AP em ambas as cultivares estudadas ao longo do ciclo, alcançando altura de 90 e 80 cm para a ‘Gigante’ e ‘Miúda’, respectivamente (Figura 4A). Porém, o incremento de ambas para cada unidade de lâmina aumentada se assemelha. Cultivares do gênero *Opuntia* apresentam valores de AP maiores que cultivares do gênero *Nopalea* (SILVA et al., 2015). Oliveira Júnior et al. (2010), em Soledade - PB, encontraram AP variando entre 67 e 76 cm a depender do espaçamento de cultivo, quando a precipitação pluviométrica foi 224 mm até os 330 dias após o plantio. Gomes (2011), em experimento conduzido em Assunção, no Cariri Paraibano, onde a precipitação pluviométrica foi de 913 mm, durante 360 dias após o plantio, encontrou AP média igual a 79,8 cm, dependendo de diferentes doses de adubação orgânica.

O número de cladódios por planta (NC) atingiu o máximo acúmulo diário aos 206 DAP para a cultivar Gigante e 236 DAP para a cultivar Miúda. Aos 360 DAP ocorreu NC máximo de 9,45 para a ‘Gigante’ e 36,99 para a ‘Miúda’. O NC da cultivar Miúda apresentou valores expressivos, devido a ser uma planta pequena, com caule bastante ramificado que contém grande quantidade de cladódios pequenos (VASCONCELOS et al., 2009). Resultado semelhante foi verificado por Cavalcante et al. (2014) em Sergipe, em que a palma ‘Gigante’ apresentava 17 cladódios por planta, enquanto a palma ‘Miúda’ 81,5 cladódios aos 24 meses após o plantio, sendo este resultado relacionado às características de crescimento de plantas do gênero *Nopalea*. Há uma relação entre as variáveis altura e número de cladódios, a

depende da cultivar, devido à disposição dos mesmos na planta, pois, em um determinado momento do ciclo, a palma forrageira deixa de incrementar a altura e aumenta no número de cladódios para os lados da planta, de forma ramificada. À medida que a planta cresce ela estabiliza a emissão daqueles de primeira ordem e prioriza a emissão dos cladódios de ordens superiores (RAMOS et al., 2011), fato que pode ser dependente da idade da planta.

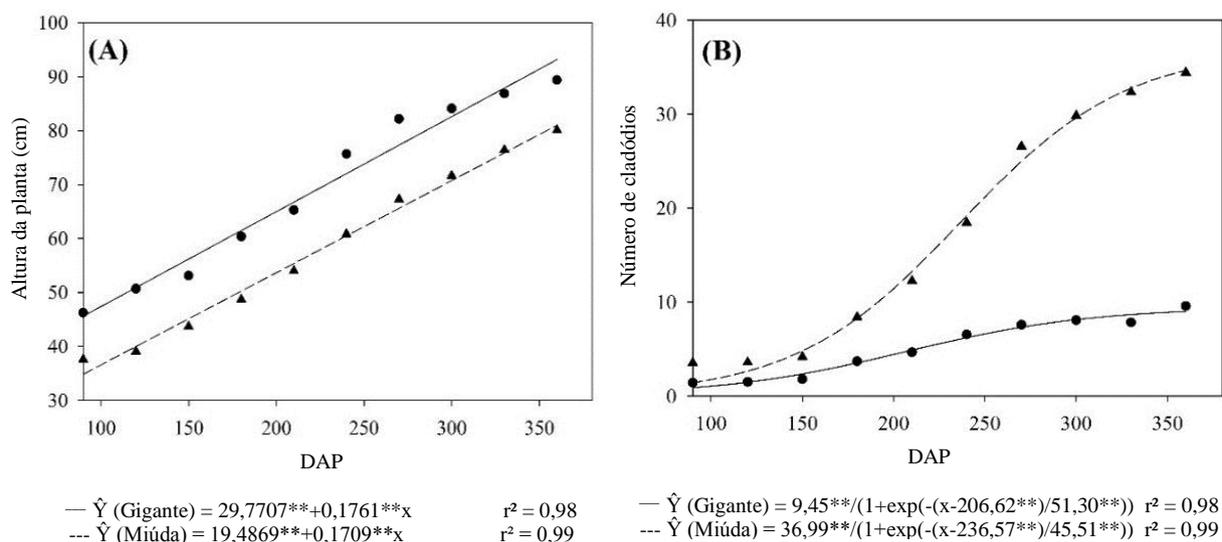


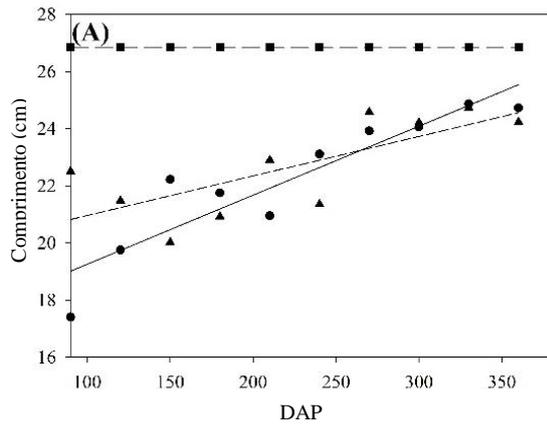
Figura 4. Altura da palma forrageira (A) e número de cladódios (B) ao longo do primeiro ciclo de cultivo (dias após plantio – DAP) nas cultivares Gigante e Miúda.

Para a cultivar Gigante, o incremento no comprimento médio dos cladódios (CC) correspondeu a 0,0242; 0,0139 e 0,0213 cm dia⁻¹ para 0% e 15% e 60% da ET₀, respectivamente (Figuras 5A e B), enquanto para a cultivar Miúda houve decréscimos ao longo dos dias após plantio para as mesmas frações de reposição de água correspondendo a 0,0168; 0,0122 e 0,0119 cm dia⁻¹ (Figuras 5C e D). Para as reposições de água de 30, 45 e 75% da ET₀ não foi possível ajuste dos modelos testados, constatando-se uma média de 26,85; 24,66 e 16,74 cm, respectivamente para a cultivar Gigante e 17,51; 16,85 e 16,74 cm, respectivamente para a cultivar Miúda.

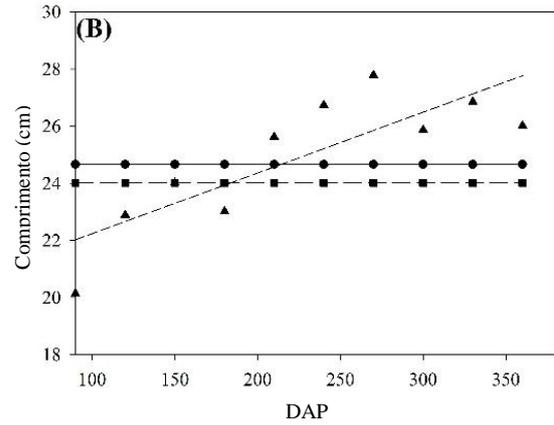
Para a cultivar Gigante, a largura dos cladódios (LC) apresentou incrementos diários correspondentes a 0,0127; 0,006 e 0,012 cm dia⁻¹ para 0%, 15% e 60% ET₀, respectivamente (Figuras 6A e B), enquanto para a cultivar Miúda ajustou-se um modelo linear crescente ao longo dos dias após plantio para as lâminas de 45% e 60% ET₀, correspondendo a 0,0087 e 0,0047 cm dia⁻¹, respectivamente. Para as lâminas de 30, 45 e 75% ET₀ não foi possível ajuste dos modelos testados para a cultivar Gigante, constatando-se uma média de 14,22; 12,73 e

12,70 cm. Na cultivar Miuda, não foi possível ajuste de modelos para as lâminas de 0%; 15%; 30% e 75% ET_0 , obtendo-se uma média de 6,67; 6,81; 7,32 e 7,70 cm, respectivamente.

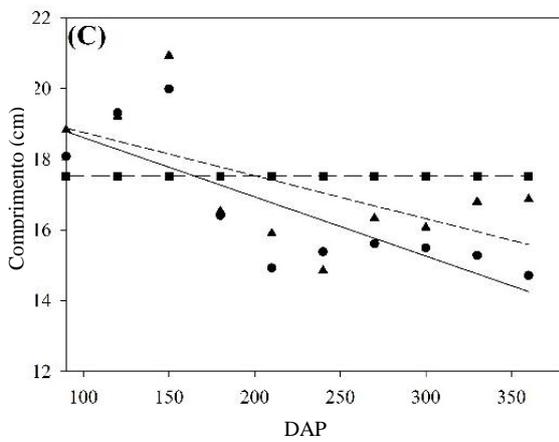
Embora o decréscimo nos valores de CC aconteça apenas na cultivar Miúda, este fato pode ser explicado pelo comportamento das plantas CAM, nas quais, sob amplo suprimento hídrico, o sistema anatômico e fisiológico possibilita o funcionamento como C_3 , com o processo complexo realizado durante o dia (NOBEL, 2001). Em resposta a isso, ocorre a inclinação dos cladódios, que pode provocar a diminuição dos mesmos, como evidência morfológica desse comportamento, fato esse acontecido algumas vezes no experimento. Porém, em estudo com palma forrageira em Pernambuco, onde a precipitação anual supera 1.000 mm, Santos et al. (2013) afirmam que o mecanismo fotossintético é exclusivamente CAM. Nesse caso, há a necessidade de estudos esclarecedores da situação. O CC da cultivar Gigante é superior ao da Miúda, corroborando com Leite (2009) que também constatou baixos valores do comprimento dos cladódios na ‘Miúda’, quando comparado com clones do gênero *Opuntia*, bem como para LC, o que se deve à característica morfológica do referido clone. Pereira et al. (2015), em estudo no semiárido brasileiro, destacam que clones do gênero *Opuntia* demonstraram evolução das variáveis biométricas superiores à ‘Miúda’, naquelas condições. Assim, a cultivar Miúda compensa, de certa forma, o menor desenvolvimento de seus cladódios pela maior emissão a fim de compensar o tamanho de cada cladódio, com consequente aumento no índice de área de cladódios (IAC) (Figura 7).



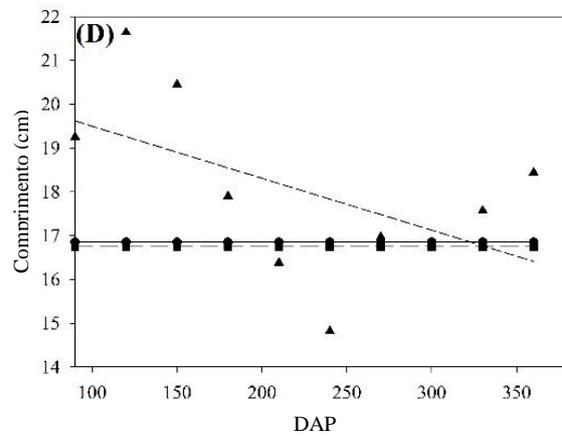
\hat{Y} (0% ET_0) = 16,8360**+0,242**x $r^2 = 0,91$
 \hat{Y} (15% ET_0) = 19,5693**+0,0139**x $r^2 = 0,74$
 \hat{Y} (30% ET_0) = 26,85



\hat{Y} (45% ET_0) = 24,66
 \hat{Y} (60% ET_0) = 20,1056**+0,0213**x $r^2 = 0,82$
 \hat{Y} (75% ET_0) = 24,01



\hat{Y} (0% ET_0) = 20,2898**-0,0168**x $r^2 = 0,79$
 \hat{Y} (15% ET_0) = 19,9802**-0,0122**x $r^2 = 0,60$
 \hat{Y} (30% ET_0) = 17,518



\hat{Y} (45% ET_0) = 16,85
 \hat{Y} (60% ET_0) = 20,687**-0,0119**x $r^2 = 0,53$
 \hat{Y} (75% ET_0) = 16,74

Figura 5. Comprimento de cladódios ao longo do ciclo (dias após plantio – DAP) nas frações de reposição de água via irrigação por gotejamento de 0%, 15% e 30% (A), 45%, 60% e 75% da ET_0 (B) para a cultivar Gigante e 0%, 15% e 30% (C), 45%, 60% e 75% da ET_0 (D) para a cultivar Miúda.

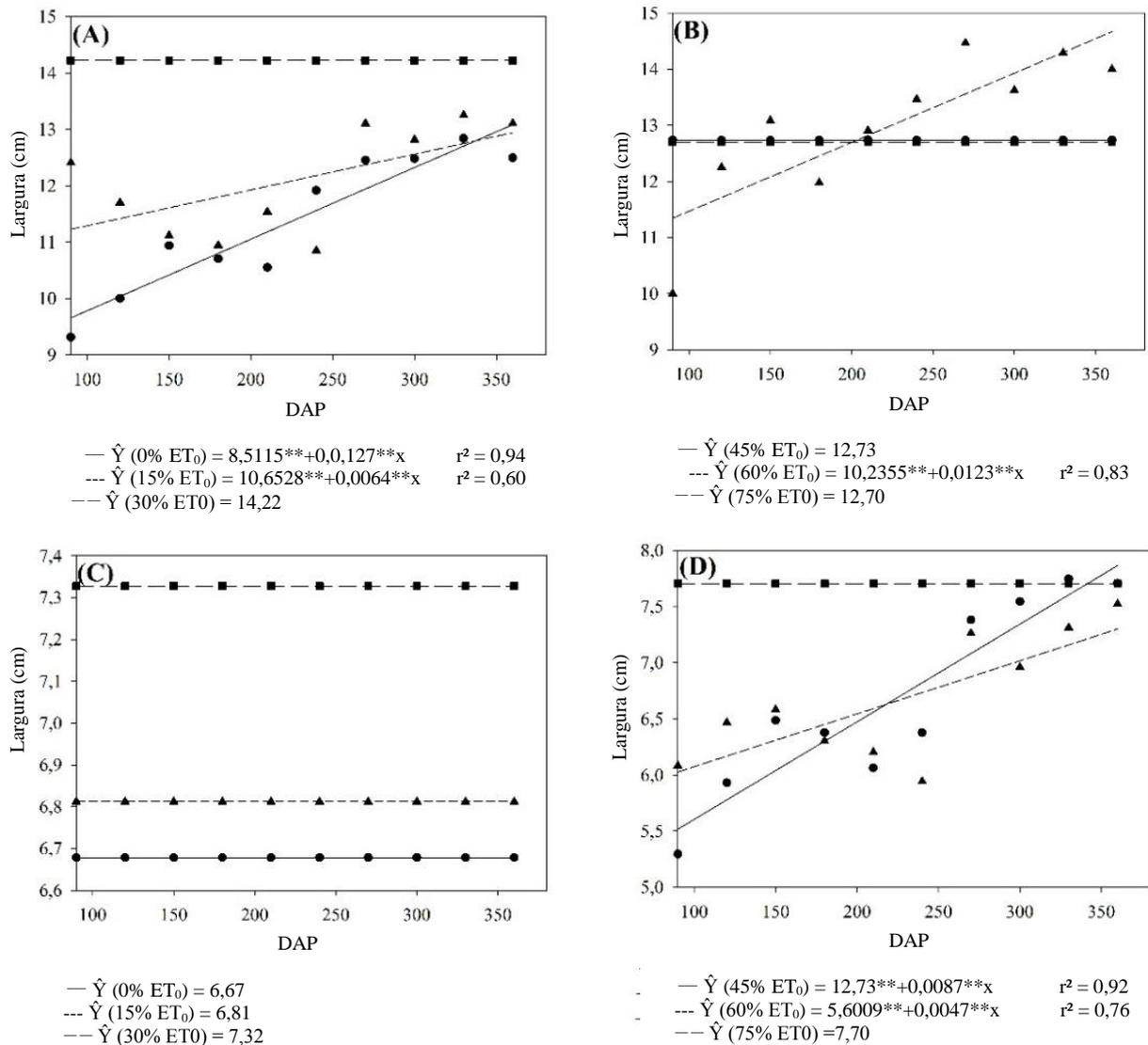
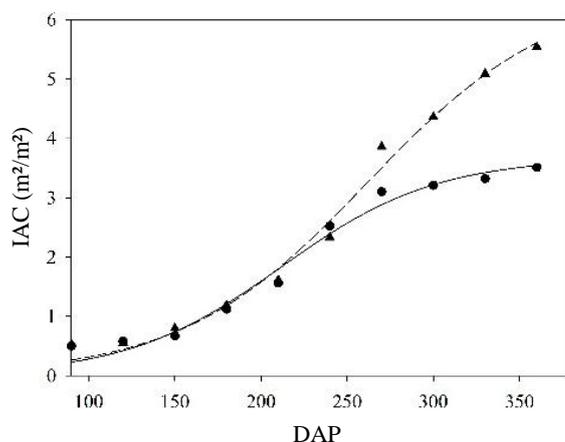


Figura 6. Largura de cladódios ao longo do ciclo (dias após plantio – DAP) nas frações de reposição e água via irrigação por gotejamento de 0%, 15% e 30% (A), 45%, 60% e 75% da ET_0 (B) para a cultivar Gigante e 0%, 15% e 30% (C), 45%, 60% e 75% da ET_0 (D) para a cultivar Miúda.

Ao mesmo tempo em que a cultivar Gigante se destaca na largura e no comprimento dos cladódios, nas condições deste experimento, demonstra-se que esta possui maior capacidade de acumulação de água, uma vez que a turgidez é um importante atributo das plantas CAM. Isto é demonstrado morfológicamente ou anatomicamente por meio dos cladódios espessos que influencia o comprimento e largura dos mesmos, com a presença de vacúolos cheios de água nas células fotossintéticas, e também pelas diversas camadas de células armazenadoras de água (TAIZ; ZEIGER, 2017). Os cladódios maduros têm, na maioria das vezes, espessura maior, sendo que a maior parte é constituída pelo tecido

esbranquiçado armazenador de água (NOBEL, 2001), sugerindo maior potencial de adaptação da cultivar Gigante às condições de baixa disponibilidade de água no solo do que a cultivar Miúda, por apresentar maior capacidade de reserva hídrica (PEREIRA et al., 2015).

Para a variável índice de área de cladódio (IAC), observa-se (Figura 7) o máximo IAC para a ‘Gigante’ (3,67 m² m⁻²) bem como para a ‘Miúda’ (6,53 m² m⁻²) aos 360 dias. O máximo acúmulo diário do IAC foi aos 212 DAP para a cultivar Gigante e 262 DAP para a cultivar Miúda (Figura 7). O aumento do IAC está relacionado ao maior número de cladódios por planta ao longo do ciclo, promovendo maior capacidade de interceptação da luz pela planta para produção da fotossíntese de modo a estimular o desenvolvimento vegetativo da palma.



$$\text{--- } \hat{Y} (\text{Gigante}) = 3,6710 * (1 + \exp(-(x-211,9146)) / 44,9386) \quad r^2 = 0,99$$

$$\text{- - - } \hat{Y} (\text{Miúda}) = 6,5373 * (1 + \exp(-(x-262,2111)) / 54,3459) \quad r^2 = 0,99$$

Figura 07. Índice de área de cladódio (IAC) ao longo primeiro ciclo de cultivo (dias após plantio – DAP) das cultivares Gigante e Miúda.

De acordo com Ramírez-Tobias et al. (2010), a palma apresenta três fases de crescimento, com cerca de 40 dias para a fase chamada *Lag*; 200 dias para a fase de crescimento exponencial, tendo aumento do sistema radicular e alta captação de CO₂; e, posteriormente, a fase de estabilização, fato comprovado pelas cultivares neste estudo, na qual permite a avaliação de práticas culturais e a análise da produção vegetal de espécies como resultado da capacidade fotossintética e de interceptação da radiação, influenciando na produção final da cultura (ADAMI et al., 2008; CARVALHO et al., 2011; CEPEDA et al., 2013; ZEGBE et al., 2014). Porém, o IAC pode variar com o tipo de gênero, clone e condição de cultivo, sendo uma informação que permite a avaliação do desenvolvimento da planta sem a necessidade de se conhecer a biomassa acumulada até então pela cultura (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2009). Há uma relação entre a produtividade em toneladas de matéria verde por hectare e o IAC para os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* de palma forrageira, onde se

observou uma produtividade de matéria verde (PMV) máxima de aproximadamente 260 t ha⁻¹ e, a partir de então uma estabilização (SILVA et al., 2014b). Tal resultado é próximo ao do presente estudo, que alcançou uma PMV parecida com o mesmo valor na lâmina de aproximadamente 45% da ETo (Figura 8A) e maiores valores de IAC para a cultivar Miúda proporcionaram maior produtividade de matéria seca (PMS) em relação a ‘Gigante’.

Para as características produtivas e eficiência de uso da água (EUA) da palma forrageira, a análise de variância permitiu observar que houve efeito isolado da reposição de água no solo (RAS) sobre todas as variáveis, bem como das cultivares (CTV) para produtividade de matéria seca (PMS) e eficiência de uso da água (EUA) (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância referente à produtividade de matéria verde (PMV, t ha⁻¹), produtividade de matéria seca (PMS, t ha⁻¹), eficiência de uso da água (EUA, kg ha⁻¹ mm⁻¹) de palmas forrageiras ‘Gigante’ e ‘Miúda’ (CTV) sob diferentes frações de reposição de água via irrigação por gotejamento (RAS, mm).

FV	QUADRADO MÉDIO			
	GL	PMV	PMS	EUA
Bloco	3	16749,67*	214,46**	167,2248**
RAS	5	10690,64*	80,67*	123,2179*
Resíduo (a)	15	3324,6	23,15	20,71
CTV	1	6999,39 ^{ns}	195,13*	167,7390*
RAS * CTV	5	5212,55 ^{ns}	30,99 ^{ns}	28,4848 ^{ns}
Resíduo (b)	18	4775,9	30,79	35,37
CV 1 (%)		22,91	27,92	28,22
CV 2 (%)		27,46	32,19	36,88
Média Geral		251,67	17,23	16,12

ns – não significativo; ** - significativo a 1%; * - significativo a 5%.

A PMV e a PMS foram influenciadas pelas lâminas de irrigação (Figura 8A e B), encontrando-se valor máximo estimado de PMV igual a 279,28 t ha⁻¹ e PMS de 20,17 t ha⁻¹ nas lâminas de irrigação correspondentes a 45,2 e 42,92% da ET₀, respectivamente (Figura 8). A cultivar Miúda diferiu significativamente da ‘Gigante’ na PMS, sobressaindo com valor médio de 19,25 t ha⁻¹ em relação à outra com 15,22 t ha⁻¹. Tanto PMV como PMS apresentaram maiores valores na variação de lâmina de 40 a 50% da ET₀.

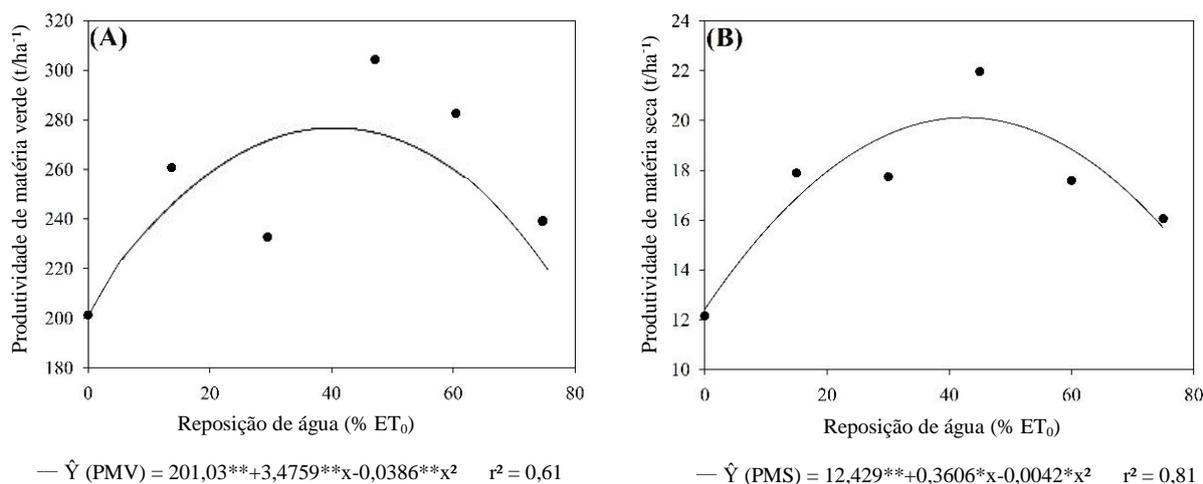


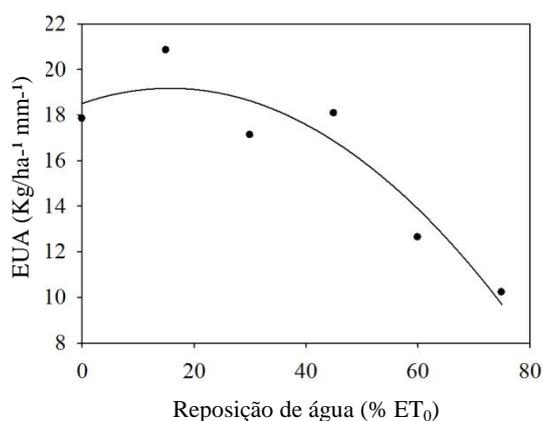
Figura 8. Produtividade de massa verde (A) e de matéria seca (B) de palma forrageira em função das frações de reposição de água (%ET₀) via irrigação por gotejamento.

Torna-se evidente um crescimento da PMV e PMS e logo o decréscimo de suas taxas com o aumento da lâmina de água aplicada, revelando que acréscimos de irrigação não contribuíram para aumentar o rendimento da cultura. Constatam-se relações entre características morfológicas de cultivares de palma forrageira com produtividade de matéria seca, na qual deve-se priorizar a seleção de clones de maiores valores de altura e largura da planta (SILVA et al., 2010). Porém, somente a altura da planta não é suficiente para influenciar a PMS, como aconteceu neste estudo, em que a distância entre as fileiras da subparcela não permitiu o aumento da largura da planta, deixando-a estiolada. Ao contrário da AP, o NC influenciou a PMS, tendo um maior número na cultivar Miúda (Figura 4B) refletindo em maior PMS.

Regiões com regime pluviométrico acima de 1.000 mm ano⁻¹ podem resultar em baixa produtividade devido, provavelmente ao excedente hídrico (OLIVEIRA et al., 2010), o que pressupõe que a produtividade poderia ser maior que a alcançada (Tabela 2; Figura 8). A cultivar Miúda, do gênero *Nopalea*, comumente possui teores médios de massa seca superiores aos cultivares do gênero *Opuntia* (SILVA et al., 2015; LIMA et al., 2016), fato comprovado no presente estudo. Todavia, os resultados dependem do ambiente de cultivo, podendo a palma ‘Miúda’ apresentar bom desempenho em locais com nível pluviométrico mais reduzido, porém, a temperatura deve ser amena, e, em locais em que a temperatura é mais elevada, a disponibilidade hídrica deve ser maior (CRUZ NETO et al., 2017).

Independente da cultivar, o valor máximo da eficiência de uso da água, considerando as precipitações ocorridas, correspondeu a 19,17 kg ha⁻¹ mm⁻¹ (Figura 9) na fração de

reposição de irrigação com base na ET_0 de 15,65%. Na cultivar Miúda observou-se maior EUA (Tabela 5).



$$\hat{Y} (EUA) = 18,512*+0,0845*x-0,0027*x^2 \quad r^2 = 0,88$$

Figura 9. Eficiência de uso da água (EUA) incluindo as precipitações em função das frações de reposição de água (% ET_0) via irrigação por gotejamento.

Tabela 5. Valores médios de eficiência de uso da água (EUA, $kg ha^{-1} mm^{-1}$), considerando as precipitações, das cultivares de palma forrageira ‘Gigante’ (CTV 01) e ‘Miúda’ (CTV 02).

	CTV 01	CTV 02
EUA	14,25 b	17,99 a

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância.

Em termos de massa seca, os gêneros *Opuntia* e *Nopalea* apresentam alta eficiência de uso da água (SILVA et al., 2014), uma vez que as cactáceas possuem grande capacidade de converter água em matéria seca, em decorrência do metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), que confere alta eficiência a essa espécie, mesmo em condições de baixa disponibilidade hídrica. Porém, a EUA pode ser influenciada por fatores como condições climáticas, espaçamento, adubação e tipo de clone (DUBEX JUNIOR et al., 2006). Outro fator que pode influenciar é a idade da planta, como verificado por Consoli et al. (2013) que, concluíram que *Opuntia ficus-indica* com dez anos de idade apresentou maior EUA que a do presente estudo. Ainda que a ‘Gigante’ tenha se destacado nas características AP, CC e LC, a ‘Miúda’ compensou essas variáveis na eficiência de uso da água influenciada pelo maior NC, IAC e PMS, sendo esta a melhor opção a ser cultivada nessas condições.

1.4 CONCLUSÕES

As frações de reposição de água via evapotranspiração de referência ($\%ET_0$) promoveram incremento na altura da palma forrageira, influenciaram o comprimento e largura dos cladódios e não interferiram no índice de área de cladódios.

A produtividade de matéria verde e matéria seca apresentou melhores resultados nas frações de reposição de 40 a 50% da ET_0 , com destaque para a cultivar Miúda.

A eficiência de uso da água foi maior para a cultivar Miúda aplicando-se 15% da ET_0 , sendo esta a mais indicada para plantio em regiões com condições similares.

1.5. AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Código de Financiamento 001 (CAPES001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas.

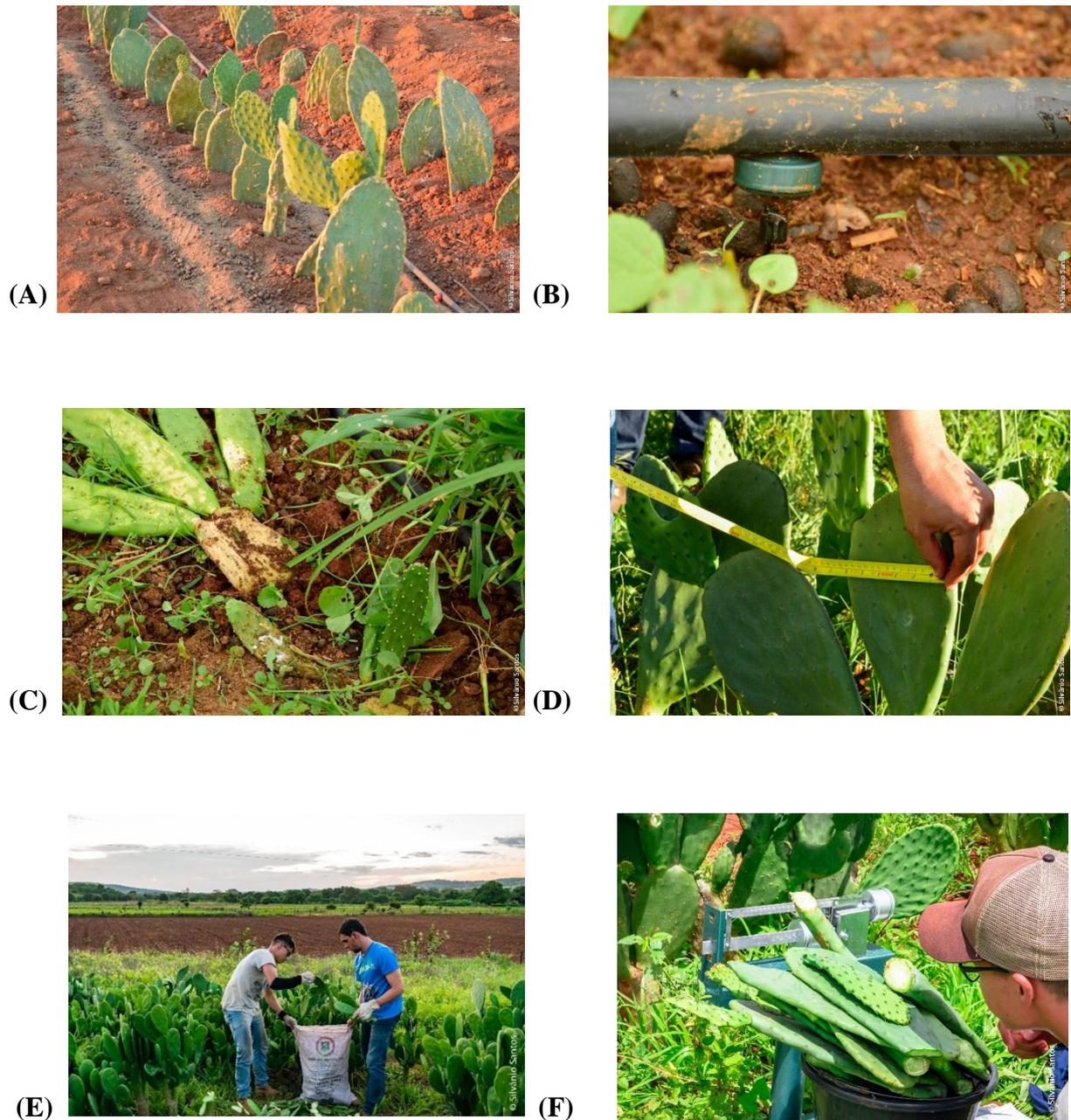
1.6. REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. et al. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008.
- ALLEN, R. G. et al. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Rome: Food & Agriculture Org**, Roma, v.56, 2006.
- ALENCAR, C. A. B. et al. Comportamento do sistema radicular de capins manejados por pastejo submetidos a diferentes lâminas de irrigação. *Engenharia na agricultura*, Viçosa, v.18 n.5, p. 429-437, 2010.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Piracicaba, v.22, n.6, 711–728, 2013.
- AMORIM, A. M. et al. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesq. Agropec. Trop**, Goiânia, v. 47, n. 1, p. 62-71, 2017.
- ARAÚJO JUNIOR, G. N. et al. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v.13, n.1, p.1-10, 2019.
- BAJGAIN, R. et al. Biomass production and yield of soybean grown under converted paddy fields with excess water during the early growth stage. **Field Crops Research**, v.180, p.221-227, 2015.
- CARVALHO, A. A. et al. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.21, n.7, p.481-487, 2017.
- CARVALHO, D. F.; OLIVEIRA, A. D. de; PEREIRA, J. B. A. Ajuste de modelos para estimativa do índice de área foliar e acúmulo de biomassa do pimentão em função de graus-dias. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.32, n.3, p.971-982, 2011.
- CAVALCANTE, L. A. D. et al. Respostas de genótipos de palma forrageira a diferentes densidades de cultivo. **Pesq Agrop Trop**, Goiânia, v.44, n.4, p.424-433, 2014.
- CEPEDA, R. D. V. et al. Fruit weight and number of fruits per cladode depend on fruiting cladode fresh and dry weight in *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller variety 'Rojo pelón'. **Scientia Horticulturae**, v.161, p.165-169, 2013.
- 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.
- COSTA, F. S. et al. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.25, n.4, p.26-33, 2012.
- CRUZ NETO, J. F. et al. Aplicabilidade de indicadores agrometeorológicos para análise do incremento de água por irrigação em sistemas de produção da palma forrageira, cv. Miúda. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v.2, n.2, p. 98-106, 2017.
- CUNHA, D. N. F. V. et al. Morfometria e acúmulo de biomassa em palma forrageira sob doses de nitrogênio. **Revista Brasileira Saúde Produção Animal**, Salvador, v. 13, n. 4, p. 1156-1165, 2012.
- DONATO, S. L. R. et al. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação da palma forrageira 'gigante'. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.38, n.296, p. 46-58, 2017.

- DUBEUX JUNIOR, J.C.B. et al. 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, p.357-372, 2006.
- FERREIRA, D. F. Sivar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 108-112, 2014.
- FLORES-HERNÁNDEZ, A. et al. Yield and physiological traits of prickly pear cactus “nopal” (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agric. Water Manag.**, v.70, n.2, p.97-107, 2004.
- GOMES, J. B. Adubação orgânica na produção de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L) Mill.) no cariri paraibano. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2011.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. **Applied Engineering in Agriculture**, v.1, n.2, p.96–99, 1985.
- LEITE, M. L. M. V. Avaliação de clones de palma forrageira submetidos a adubações e sistematiza ção de informações em propriedades do Semiárido paraibano. 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.
- LIMA, G. F. C. et al. Morphological characteristics and forage productivity of irrigated cactus pear under different cutting intensities. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v.29, n.2, p.481-488, 2016.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355 p.
- MARTIN, J. D. et al. Irrigação deficitária para aumentar a produtividade da água na produção de silagem de milho. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.1, p.192-205, 2012.
- MARQUES, O. F. C. et al. Palma forrageira: cultivo e utilização na alimentação de bovinos. **Ciênc. Agra**, v. 9, n. 1, p. 75-93, 2017.
- NOBEL, P. S. Biologia ambiental. In: BARBERA, G.; INGLESE, P. Agroecologia, cultivo e usos da palma forrageira. João Pessoa: SE-BRAE/PB, 2001. p. 36-48.
- OLIVEIRA, F. T. et al. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiáridos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n.4, p.27-37, 2010.
- OLIVEIRA JUNIOR, S. et al. Crescimento vegetativo da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*) em função do espaçamento no Semiárido paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 3, n. 1, p. 7-12, 2009.
- PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.12, p.939-947, 2014.
- PINTO, M. S. C. et al. Estimativa do peso da palma forrageira (*Opuntia ficus-indica*, Mill.) a partir de medidas dos cladódios. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 39. Recife – PE, 2002. **Anais.. Recife-PE: SBZ**, v. 1. P. 54-64. 2002.
- PEREIRA, P. C. et al. Morfogênese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.3, p. 184-195, 2015.
- QUEIROZ, M. G. et al. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.10, p.931-938, 2015.

- RAMOS, J. P. F. et al. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n.3, p.41-48, 2011.
- RAMÍREZ-TOBIAS, H. M.; AGUIRRE-RIVERA, J. R.; PINOS-RODRIGUEZ, J.M. Productivity of *Opuntia* ssp. and *Nopalea* sp. (Cactacea) growing under greenhouse hydroponics system. **J Food Agric Environ**, v.1, n.8, p.660-665, 2010.
- REGO, M. M. T. et al. Morfologia e Rendimento de Biomassa da Palma Miúda Irrigada sob Doses de Adubação Orgânica e Intensidades de Corte. **Revista Científica de Produção Animal**, Recife, v.16, n.2, p.118-130, 2014.
- SANTOS, D.C. et al. Estratégias para uso de cactáceas em zonas Semiáridas: novas cultivares e uso sustentável das espécies nativas. **Revista Científica de Produção Animal**, Recife, v.15, n.2, p.111-121, 2013.
- SILVA, T. G. F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.2, p.10-18, 2015.
- SILVA, L. M. et al. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciênc. rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.2064-2071, 2014.
- SILVA, T. G. F. et al. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Bragantia**, Campinas, v.73, p.184-191, 2014a.
- SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, PE, v.9, n.4, p.633-641, 2014b.
- SILVA, T. G. F. et al. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.9, n.4, p.633-641, 2014c.
- SILVA, N. G. M. et al. Relação entre características morfológicas e produtivas de clones de palma-forrageira. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p. 2389-2397, 2010.
- SOUZA, D. C. F. et al. Zoneamento agroclimático da palma forrageira (*Opuntia* sp.) para o estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.12, n.1, p. 2338-2347, 2018.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6.ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil. 819p., 2017.
- TEIXEIRA, P. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. BRASÍLIA-DF: EMBRAPA, 2017.
- VASCONCELOS, A. G. V. et al. Seleção de clones de palma forrageira resistentes à cochonilha-do-carmim (*Dactylopius* sp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.5, p.827-831, maio 2009.
- ZEGBE, J. A.; PÉREZ, A. S.; COVARRUBIAS, J. M. Mineral nutrition enhances yield and affects fruit quality of 'Cristalina' cactus pear. **Scientia Horticulturae**, v.167, p.63-70, 2014.

1.7 APÊNDICES



Apêndice 1. Adubação orgânica realizada na área experimental (A); linha de lateral com gotejador (B); tombamento da palma forrageira cultivar Miúda provocada pela alta umidade decorrente do período chuvoso (C); mensuração de largura de cladódio (D); colheita de cladódios (E) e; pesagem da matéria verde da palma forrageira (F). Fotos: Silvânio Santos.

4. ARTIGO 2

DISTRIBUIÇÃO RADICULAR DE CULTIVARES PALMA FORRAGEIRA SUBMETIDAS A IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

RESUMO

A palma forrageira é uma alternativa alimentar para animais na região semiárida, sendo possível aprimorar o manejo, principalmente quando se trata de definir áreas do solo mais propícias para aplicação de fertilizantes e lâminas de irrigação e instalação de sensores do estado de água no solo, mediante o conhecimento da distribuição do sistema radicular da cultura. Assim, objetivou-se verificar a distribuição radicular da palma forrageira submetida a diferentes níveis de irrigação. O experimento foi conduzido no município de Montalvânia-MG durante 14 meses (2017-2018) envolvendo seis tratamentos de demanda hídrica em frações de reposição de água no solo (T₁, sem irrigação; T₂, 15% da ETo; T₃, 30% da ETo; T₄, 45% da ETo; T₅, 60% da ETo e, T₆, 75% da ETo) e dois materiais genéticos de palma forrageira (cultivar Gigante - *Opuntia ficus-indica* Mill. e cultivar Miúda - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). Utilizou-se um esquema de parcelas subdivididas, ficando os tratamentos de irrigação nas parcelas e os materiais genéticos nas subparcelas, no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Aos 390 dias após o plantio deu-se início a coleta de raízes das cultivares para análise da densidade de comprimento de raízes (DCR). Constatou-se que a DCR muito fina diminui com o aumento da distância da base da planta e profundidade; a DCR total, fina, pequena e média aumentam com maiores reposições de irrigação e todas as classes de raízes se concentram entre 0,00-0,20 m de distância e 0,10 a 0,25 m de profundidade. A percentagem da DCR é maior na cultivar Gigante.

Palavra-chave: *Opuntia ficus-indica* Mill.. *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck.. Raízes. Regimes hídricos.

ABSTRACT

Cactus pear is a feed alternative for animals in the semi-arid region, and management can be improved, especially when it comes to defining more favorable areas of the soil for application of fertilizers and irrigation depths and installation of soil water status sensors by knowledge of the distribution of the root system of the crop. Thus, the objective was to verify the root distribution of cactus pear submitted to different irrigation levels. The experiment was conducted in Montalvânia-MG during 14 months (2017-2018) involving six water demand treatments in fractions of water replacement (T1, without irrigation; T2, 15% of ETo; T3, 30% of ETo; T4, 45% of ETo; T5, 60% of ETo and T6, 75% of ETo) and two cactus pear genetic materials (cultivars 'Gigante' - *Opuntia ficus-indica* Mill. and 'Miúda' - *Nopalea cochenillifera* Salm -Dyck). A split plot was used, with the irrigation treatments in the plots and the genetic materials in the subplots, in a randomized blocks design with four replications. At 390 days after planting, the roots of the cultivars were collected for root length density analysis (RLD). It was found that very fine RLD decreases with increasing plant base distance and depth; total, fine, small and medium RLD increase with greater irrigation replacement and all root classes are between 0.00-0.20 m distance and 0.10 to 0.25 m depth. RLD percentage is higher in the cultivar Gigante.

Key words: *Opuntia ficus-indica* Mill., *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck., Roots. Water regime.

2.1 INTRODUÇÃO

A região semiárida apresenta limitação à produção agrícola em grande escala devido às irregularidades de distribuição espaço-temporal de chuvas, com índices comumente menores que 800 mm e altas taxas evapotranspirométricas (SANTOS et al., 2016). Nesta situação, o fenômeno da seca é normal e causa sérios prejuízos ao setor agropecuário, ficando o futuro desses ecossistemas dependente do manejo sustentável de sistemas agrícolas fundamentados no uso de cultivos adaptados a tais condições. Plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (CAM) se tornam ótima opção de aumento do rendimento agrícola. Entre essas plantas, está a palma forrageira, uma cactácea que é tolerante a períodos longos de estiagem com altas temperaturas, características essas que são intrínsecas de regiões semiáridas (PINHEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2015).

Apesar do potencial e importância de adaptação dessa cultura na região semiárida, a palma forrageira ainda é cultivada pelos produtores com baixa adoção de práticas agrícolas adequadas para um maior desenvolvimento da cultura, principalmente no que se refere ao manejo, observando-se, assim, produtividades inferiores ao seu potencial produtivo (SILVA et al., 2012; DONATO et al., 2014). Uma das causas da utilização inadequada desta planta é a falta de conhecimentos por parte dos produtores devido a estudos não consolidados sobre o manejo, principalmente no que se referem às condições de irrigação em relação ao sistema radicular da palma forrageira.

A interação entre os fatores genéticos, características do perfil do volume do solo onde se desenvolve o sistema radicular, o teor de água do solo, componentes da distribuição de água/ar, bem como a temperatura do solo são determinantes para as configurações de distribuição do sistema radicular das culturas (SANTOS et al., 2014; LUCENA, 2013; SANT'ANA et al., 2012; SEGURA et al., 2015). O seu conhecimento tem importância direta no manejo do solo, na adubação, elaboração de projetos de irrigação e, essencialmente para o manejo sustentável da irrigação uma vez que, no perfil do solo, nutrientes e água não são igualmente distribuídos.

Em relação à irrigação, informações a respeito da distância e a profundidade efetiva das raízes são fundamentais, já que uma estimativa errada da profundidade do sistema radicular pode levar a déficit ou a excesso do valor da lâmina de irrigação (SANT'ANA et al., 2012). Na irrigação por gotejamento de áreas áridas e semiáridas, ocorrem significativas concentrações de raízes na zona molhada (RUIZ-SANCHEZ et al., 2005), porém em irrigação localizada, apenas o conhecimento da profundidade efetiva do sistema radicular não é

suficiente para inferir sobre as zonas de absorção de água (COELHO et al., 2001). Assim, informação sobre a distribuição radicular de uma planta permite definir áreas do solo ao seu redor mais propícias para aplicação de fertilizantes e lâminas de irrigação, bem como a instalação de sensores do estado de água no solo (umidade e potencial matricial) para melhor e mais eficiente manejo da irrigação.

Face ao exposto, objetivou-se verificar o efeito da aplicação de diferentes reposições de água de irrigação na distribuição do sistema radicular de dois materiais genéticos de palma forrageira cultivada em ambiente semiárido.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em propriedade rural localizada no distrito de Pitarana, município de Montalvânia, semiárido de Minas Gerais, entre os meses de setembro/2017 a novembro/2018. As coordenadas centrais do experimento correspondem a 14° 19' 21,73" S e 44° 28' 39,45" W, com altitude de 492 m. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho, anteriormente cultivado com pastagem, feijão, milho e por último melancia; logo após, permaneceu em pousio por seis anos.

O clima da região é classificado, de acordo com a classificação Köppen, como "Aw" (ALVARES et al., 2013). Os dados de temperatura máxima, temperatura média, temperatura mínima, evapotranspiração de referência, umidade relativa do ar e precipitação foram coletados em estação meteorológica instalada no local do experimento (Figura 1).

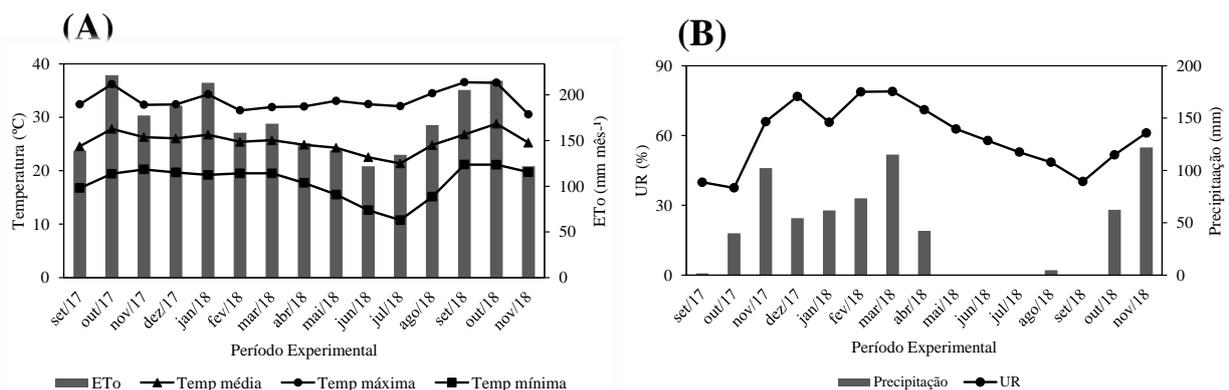


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima mensais e evapotranspiração de referência (A), precipitação e umidade relativa (B) durante o período experimental.

Antes da implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m para caracterização físico-hídrica (textura; curva de retenção às tensões

de 6, 10, 33, 100, 500 e 1500 kPa e densidade do solo) bem como química, conforme metodologia de Teixeira et al. (2017) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização físico-hídrica e química da área experimental.

Características físico-hídricas													
Profundidade(m)	Textura (dag kg ⁻¹)			Curva de retenção *	R ²	ρ _s (g cm ⁻³)							
	Areia	Silte	Argila										
0-0,2	13	36	51	$\theta = 0,2255 + \frac{(0,5850 - 0,2255)}{[1 + (0,1056 * \tau)^{1,6220}]^{0,3835}}$	0,99	1,36							
0,2-0,4	-	-	-	$\theta = 0,2534 + \frac{(0,5950 - 0,2534)}{[1 + (0,0813 * \tau)^{1,7832}]^{0,4392}}$	0,99	1,40							
Composição química													
pH	MO	P	K	Na	Mg	Al	H+Al	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S
	dag kg ⁻¹	mg dm ⁻³		 cmol _c dm ⁻³	 mg dm ⁻³	
6,3	2,4	9,1	362	0,2	1,7	0,0	1,6	0,3	2,4	20,9	61,7	5,3	0,0

*θ = umidade volumétrica (cm³ cm⁻³); τ = potencial matricial (-kPa).

O experimento de campo foi instalado em agosto de 2017, envolvendo seis tratamentos de demanda hídrica em frações de reposição de água no solo (T₁, sem irrigação; T₂, 15% da ET₀; T₃, 30% da ET₀; T₄, 45% da ET₀; T₅, 60% da ET₀ e, T₆, 75% da ET₀) e dois genótipos de palma forrageira (cultivar Gigante - *Opuntia ficus-indica* Mill. e cultivar Miúda - *Nopalea cochenillifera* Salm-Dyck). As cultivares foram plantadas com 50% do cladódio enterrado no solo em um esquema de parcelas subdivididas, ficando os tratamentos de irrigação nas parcelas e os materiais genéticos nas subparcelas, dispostos no delineamento em blocos completos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela foi constituída de duas fileiras duplas de plantas com 3,25 m de comprimento, sendo as plantas espaçadas 0,25 m entre si nas fileiras, 0,5 m entre fileiras simples e 1,5 m entre fileiras duplas, de modo a haver 26 plantas por subparcela, das quais sete plantas centrais foram consideradas como subparcela útil.

A área para implantação do experimento recebeu uma aração e uma gradagem para posterior plantio. Os sulcos de plantio foram feitos com enxadão a uma profundidade de 0,20 m onde foram acomodados os cladódios e, a partir dos resultados da análise química do solo realizou-se uma adubação orgânica na ocasião do plantio, com 20 ton ha⁻¹ de esterco ovino (Apêndice 2A e B), além da adubação química com 75 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 75 kg ha⁻¹ de K₂O, sendo todo o P fornecido via formulado 4-30-10, e o N e K₂O complementado via ureia e KCl, respectivamente, de acordo a recomendação Donato et al

(2017). Durante a condução do experimento foram realizados todos os tratamentos culturais, com o intuito de proporcionar condições ideais para o desenvolvimento da cultura. O controle de plantas daninhas foi realizado através de capina manual, principalmente em períodos chuvosos, ocasião que morreram 32,84% das plantas do stand, sendo 11,05% da cultivar Gigante e 21,79% cultivar Miúda.

As lâminas de irrigação foram aplicadas semanalmente baseando-se na evapotranspiração de referência (ET_0) conforme a equação de Hargreaves-Samani (1985) modificada (ALLEN et al., 2006), sendo os dados de temperatura máxima e mínima obtidos de uma estação meteorológica existente na área. Diariamente, foram registrados os dados de ET_0 , estes eram acumulados durante 7 dias e, semanalmente, calculava-se o tempo de irrigação de cada tratamento, conforme Mantovani et al (2009).

A água utilizada no experimento foi proveniente do Rio Carinhonha, apresentando condutividade elétrica (CEa) de $0,03 \text{ dS m}^{-1}$. As linhas laterais foram de PELBD de 13 mm, com gotejadores autocompensantes (faixa de pressão de 50 a 400 kPa) tipo *On Line*, espaçados 0,40 m entre si com vazões de 2, 4, 6, 8 e 10 L h^{-1} , relativos aos tratamentos 2, 3, 4, 5 e 6, respectivamente. Houve monitoramento do acúmulo de água nas diferentes condições de aplicação (Tabela 2).

Tabela 2. Lâminas de água aplicadas (LAM, mm) e precipitação (PREC, mm) durante o primeiro ciclo de produção das palmas forrageiras cultivares Gigante e Miúda. (Montalvânia - MG, 2017/2018).

REPOSIÇÃO	LAM (mm)	PREC (mm)	Lâmina bruta acumulada (mm)
0% ET_0	0	680,9	680,9
15% ET_0	177,9	680,9	858,8
30% ET_0	355,8	680,9	1036,7
45% ET_0	533,7	680,9	1214,6
60% ET_0	711,6	680,9	1392,5
75% ET_0	889,5	680,9	1570,4

A aplicação dos tratamentos foi iniciada aos 60 dias após o plantio (DAP). Aos 390 dias após o plantio deu-se início a coleta das raízes das cultivares Gigante e Miúda para a avaliação da distribuição do sistema radicular. Foi utilizada uma planta por parcela, totalizando 48 plantas amostradas em todo o experimento.

A coleta das raízes foi realizada com trado modificado com dimensões de 0,07 m de diâmetro interno e 0,1 m de comprimento (Apêndice 2C). A coleta foi realizada em quatro profundidades (0 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m; 0,20 - 0,30 m; e 0,30 - 0,40 m) e em cinco

distâncias da planta (0,10 m; 0,20 m; 0,30m; e 0,40 m) no sentido transversal à linha de gotejadores. O volume de cada amostra foi de 384,84 cm³, correspondendo ao volume do trado.

Após a retirada, as amostras foram colocadas em sacos plásticos e levadas ao laboratório do IF Baiano *campus* Guanambi, onde as raízes foram separadas do solo por lavagem com água (Figura 6D). Uma vez separadas do solo, realizou-se a separação de impurezas (matéria orgânica e restos vegetais) das raízes de palma forrageira (Apêndice 2D) e em seguida foram digitalizadas e transformadas em imagem de arquivos Tagged Image File Format – TIFF (Apêndice 2E e F), conforme método descrito por Santos et al. (2016).

Os arquivos TIFF, após a limpeza de bordas escuras ocasionadas no processo de digitalização, foram submetidos ao aplicativo Rootedge (Kaspar; Ewing, 1997), para que fossem determinadas as características geométricas (comprimento e diâmetro) das raízes. O comprimento das raízes (L_r), contido no volume de amostra (V_r) foi utilizado para a determinação da densidade de comprimento de raízes (DCR) conforme a Equação 1 (COELHO et al., 2001).

$$DCR = \frac{L_r}{V_r} \quad [1]$$

em que,

DCR = densidade de comprimento de raízes (cm cm⁻³);

L_r = comprimento das raízes (cm);

V_r = volume de amostra (cm³).

A DCR foi classificada em função de diâmetros das raízes conforme as classes propostas por Bohm (1979): muito fina (<0,5 mm); fina (0,5 – 2,0 mm); pequena (2,0 – 5,0 mm) e média (5,0 – 10 mm). Obtendo-se, nesse sentido, a proporção de raízes (%) de todas as classes na cultivar Miúda e Gigante nas reposições de água estudadas.

A análise estatística baseou-se na metodologia de Santos et al. (2017a), quando trabalhou com raízes de bananeiras em Guanambi-BA. No presente estudo, os dados de densidade de comprimento de raízes (DCR) muito fina, fina, pequena, média e raízes totais (todas as raízes) foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. Não apresentando normalidade nos dados, procedeu-se à análise estatística não paramétrica pelo Teste de Wilcoxon (Mann-Whitney) a 5% de significância para as cultivares. Não havendo

diferenças significativas entre as cultivares, adotou-se o arranjo em esquema fatorial 6 x 4 x 4, sendo: seis estratégias de irrigação, quatro distâncias da base da planta e quatro profundidades amostradas. Utilizou-se análise de regressão para os fatores reposições de água, distâncias e profundidades. Foi escolhido o modelo de regressão que melhor representasse o fenômeno biológico envolvido, apresentando o maior coeficiente de determinação (R^2) e significância dos parâmetros da regressão pelo teste t de Student ($p < 0,05$).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da análise de variância não paramétrica, depreende-se não haver influência das cultivares na distribuição de raízes nas diferentes classes (Tabela 3), uma vez que no teste de Wilcoxon (Mann-Whitney) aplicado, são comparadas as diferenças entre as médias das ordens e não as médias dos dados.

Tabela 3. Tabela de análise de variância não paramétrica para as médias de densidade de comprimento de raízes (DCR, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) das variáveis analisadas: cultivar Gigante (CTV 1) e cultivar Miúda (CTV 2) para as diferentes classes de raízes.

Diâmetro (mm)		Bloco 1	Bloco 2	Bloco 3	P=0,05
	CTV 1	0,006176	0,000438	0,004481	
<0,05	CTV 2	0,002514	0,001492	0,003949	0,8636
	CTV 1	0,075643	0,048407	0,047270	
0,5-2,0	CTV 2	0,064330	0,043103	0,046737	0,9369
	CTV 1	0,028420	0,023780	0,013219	
2,0-5,0	CTV 2	0,025888	0,022397	0,014124	0,5628
	CTV 1	0,003995	0,002150	0,000823	
5,0-10	CTV 2	0,001658	0,002083	0,001819	0,7705
Raízes	CTV 1	0,114282	0,074992	0,065794	
totais	CTV 2	0,096220	0,069077	0,066631	0,7193

Os resultados possibilitam inferir que há uma tendência de aumento de densidade de comprimento de raízes (DCR) na cultivar Gigante. Essas tendências entre as cultivares podem estar relacionadas às diferenças de sistema radicular entre elas, uma vez que a cultivar Gigante apresenta um porte grande, caule ereto, maior área frondosa na parte superior; cladódio pesando cerca de 1,0 kg, com até 0,5 m de comprimento (FARIAS et al., 2005), e, devido a isso, há uma necessidade de melhor fixação no solo.

Não foram observadas interações entre diferentes frações de reposição de água, distância da base da planta e profundidade. No entanto, observou-se o efeito isolado da reposição de água, distância e profundidade para as raízes muito finas (< 0,5 mm). Houve interação entre a distância e profundidade para todas as classes de raízes e o efeito de lâmina e distância a partir da classe de 0,5-2,0 mm (fina) (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a densidade de comprimento raízes (DCR, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) de palma forrageira em diferentes classes de diâmetro cultivada sob diferentes frações de reposição de água (RAS, % ET_0) e avaliadas em diferentes distâncias da base da planta (DIST, cm) e profundidades (PROF, cm) ao final do primeiro ciclo de cultivo (DAP). (Montalvânia, MG, 2017-2018).

FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		<0,5	0,5-2,0	2,0-5,0	5,0-10	Todas
Bloco	2	0,000348**	0,036460**	0,004318**	0,000059 ^{ns}	0,042236**
RAS	5	0,000152*	0,051309**	0,003897**	0,000080 ^{ns}	0,054067**
DIST	3	0,000160*	0,099813**	0,030711**	0,000798**	0,192205**
PROF	3	0,000299**	0,072141**	0,005289**	0,000202**	0,077383**
RAS*DIST	15	0,000054 ^{ns}	0,006434*	0,001071*	0,000100**	0,007906*
RAS*PROF	15	0,000040 ^{ns}	0,002896 ^{ns}	0,000734 ^{ns}	0,000044 ^{ns}	0,004109 ^{ns}
RAS*PROF	9	0,000052 ^{ns}	0,005248 ^{ns}	0,002346**	0,000252**	0,012421**
RAS*DIST*PROF	45	0,000036 ^{ns}	0,002940 ^{ns}	0,000550 ^{ns}	0,000045 ^{ns}	0,002789 ^{ns}
erro	478	0,000052	0,003245	0,000573	0,000041	0,003791
CV (%)		229,25	104,89	112,81	302,81	75,71
Média geral		0,0031605	0,0543056	0,0212153	0,0021181	0,0813194

ns – não significativo; ** - significativo a 1%; * significativo a 5%.

A DCR de raízes muito finas foi influenciada pela lâmina de irrigação, e pode-se observar que a cada unidade de lâmina (1% da ET_0), há um acréscimo de 0,000042 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ de DCR. Porém, esta afirmação é válida para o intervalo estudado, ou seja, para os níveis de lâmina de 0 a 75% da ET_0 (Figura 2A).

Em relação à distância da base da planta e profundidade, a DCR se apresenta menor à medida que estas aumentam (Figura 2 B e C) na classe de raízes muito finas. Para cada 1 cm aumentado na distância e profundidade, há um decréscimo de 0,0001 e 0,002 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ na DCR, respectivamente.

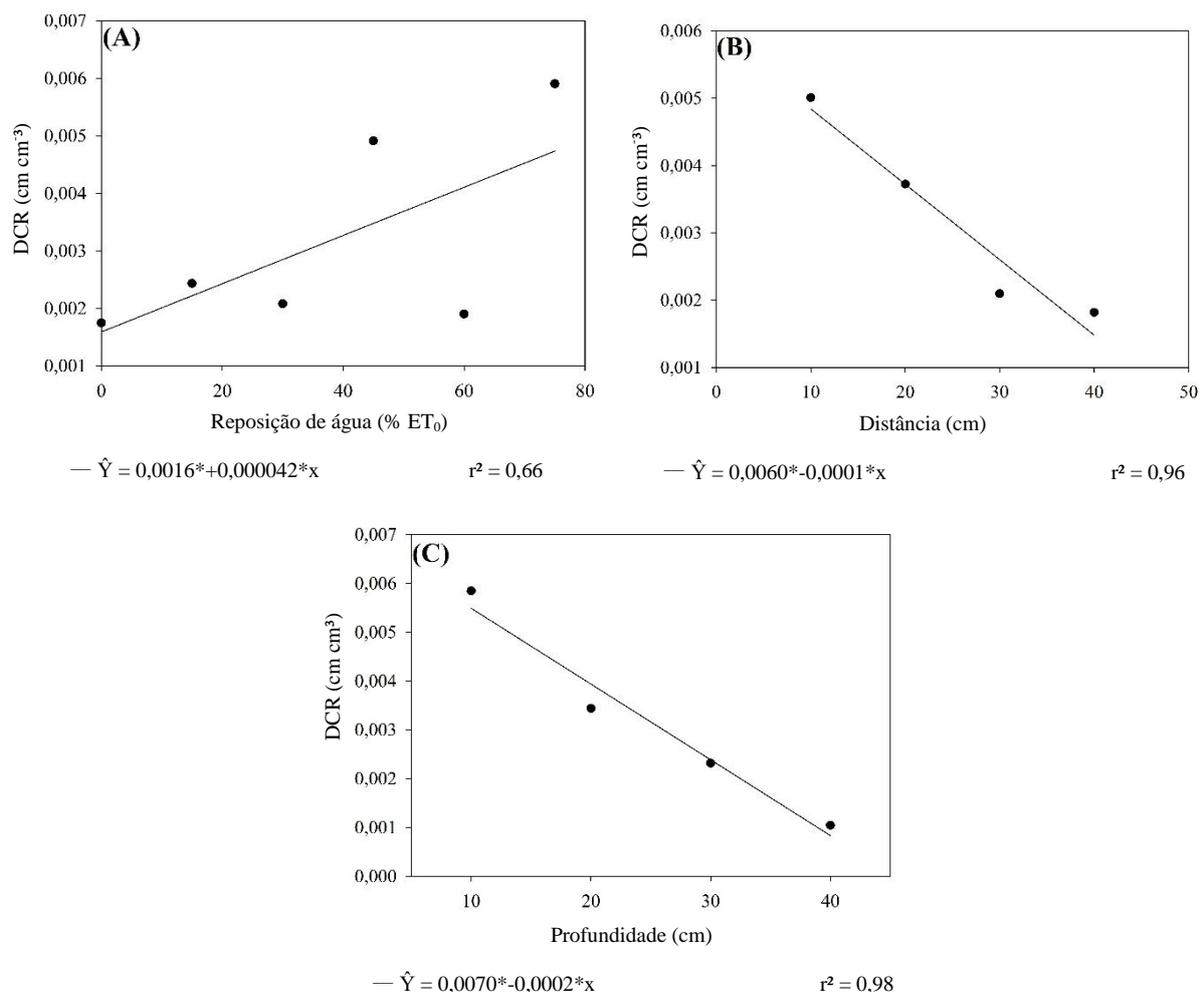


Figura 2. Densidade de comprimento de raízes (DCR) em função das frações de reposição de água (%ET₀) (A), distância (cm) (B) e profundidade (cm) (C) para as raízes muito finas da palma forrageira. Montalvânia, MG.

Isso pode ser atribuído à forma como acontece a absorção de nutrientes no solo: fluxo de massa, fluxo difusivo e interceptação radicular, uma vez que o crescimento das raízes em regiões do solo em que a umidade é maior proporciona uma maior absorção de nutrientes, sendo que os nutrientes estão disponíveis na solução do solo. A DCR se torna importante pois é determinante na aquisição da água e nutrientes pelas plantas, sendo um bom indicador do impacto de práticas culturais sobre o desenvolvimento das raízes no solo (HASSAN et al., 2019). Dessa forma, vegetais em condições de déficit hídrico, possibilita maior investimento em raízes (TAIZ; ZEIGER, 2013) e redução da área foliar em decorrência de mudança na razão parte aérea/raiz, alteração nos drenos preferenciais, que é dependente do grau de intensidade da seca e que a condição com 50% de ET₀ com turno de rega de dois dias permite um maior desenvolvimento radicular da palma forrageira (SANTOS et al., 2016), já que a

busca por água é mais intensa por raízes sob solo de menor disponibilidade de água. Outros resultados foram encontrados por Alencar et al. (2010) que, trabalhando com variedades de plantas forrageiras em Governador Valadares-MG, encontraram valores de densidade de raízes submetidas a déficit hídrico semelhantes a valores de densidade sob condição plena de irrigação.

Os maiores valores de DCR para as raízes muito finas, aquelas que são as mais responsivas à absorção de água e nutrientes, foram encontrados nas camadas mais próximas à superfície e mais próximas da base da planta. Isso pode ser explicado pela maior disponibilidade de água nessa região, o que diminuiu o desenvolvimento de raízes para a captação de água em regiões mais profundas no solo. Santos et al. (2016) verificaram que a aplicação de maiores quantidades de água em bananeiras resulta em maior disponibilidade de água na camada superior do solo, favorecendo um maior desenvolvimento das raízes nessa camada. Lucena (2013), utilizando diferentes estratégias de irrigação na bananeira, observou uma maior concentração de raízes até 0,4 m de distância do pseudocaule, o que condiz com o sistema de irrigação por gotejamento. Porém, a quantidade de raízes não é determinante no comportamento das variáveis de crescimento, produtividade, tolerância a secas, resistência a pragas e doenças das culturas, mas sim a arquitetura ou arranjo das distribuições da mesma no perfil do solo (VASCONCELOS; GARCIA, 2005).

Para as condições de estudo, existe uma relação dependente entre as reposições de água de irrigação e a distância que interfere na DCR das raízes finas até as médias (Figura 4). Na Tabela 5, são apresentadas as equações que definem os gráficos da Figura 3.

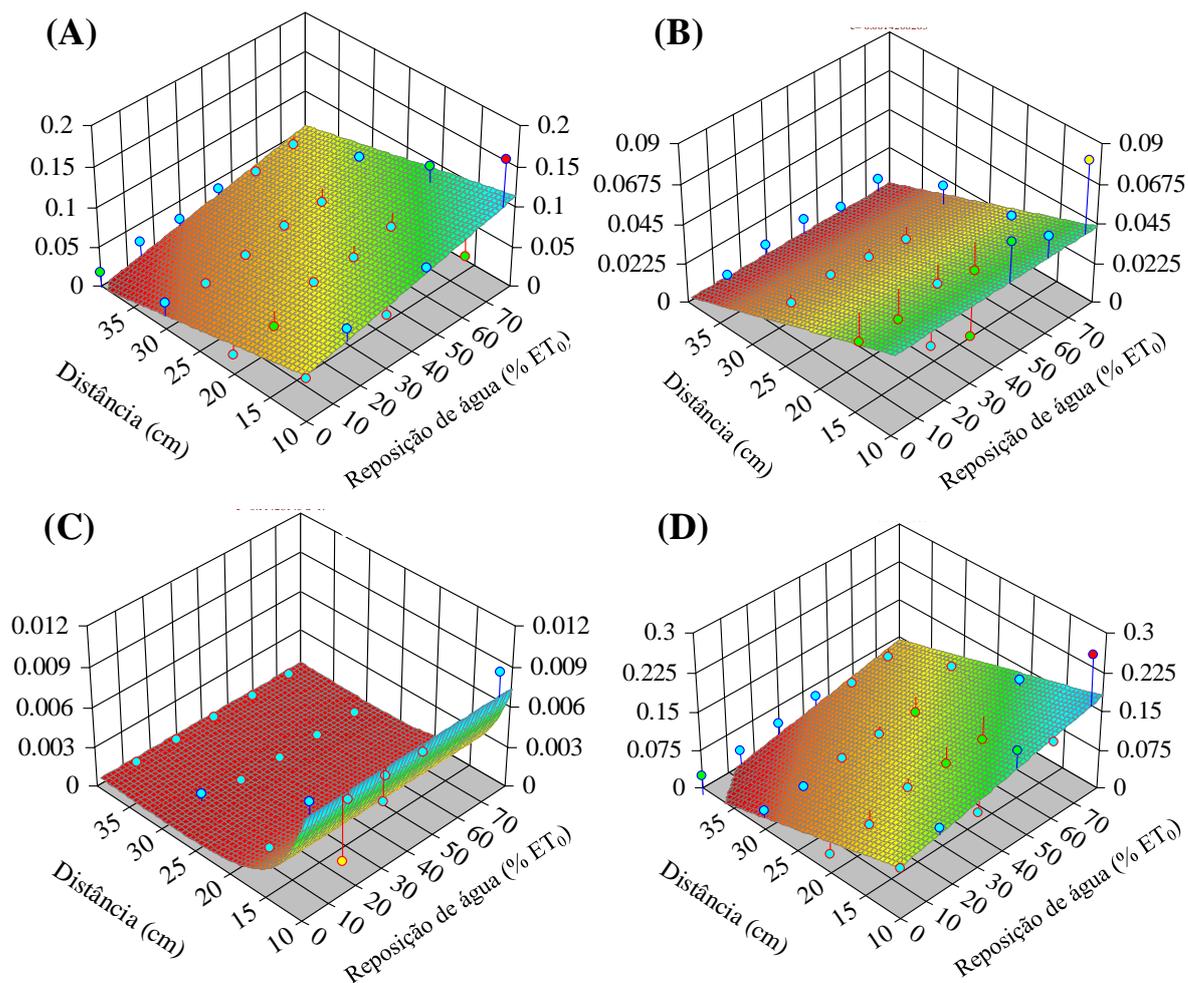


Figura 3. Densidade de comprimento de raízes (DCR) em função da distância da planta e frações de reposição de água no solo para as classes de 0,5-2,0 mm (A); 2,0-5,0 mm (B); 5,0-10 mm (C); e todas as classes (D).

Tabela 5. Equações de regressão para estimar a DCR das classes de raízes finas, pequenas e médias da palma forrageira aos 360 dias após plantio referentes aos gráficos da Figura 3.

Componente (Z)	Equação	R ²
DCR (cm cm ⁻³) / 0,5 – 2,0 mm	$Z = 0,07621 + 0,00072x + 0,001958y$	0,72
DCR (cm cm ⁻³) / 2,0 -5,0 mm	$Z = 0,05798 + 1,11451 \ln(x) + 0,00142y$	0,68
DCR (cm cm ⁻³) / 5,0 -10 mm	$Z = 0,00225 + 2,88521 \ln(x) + \frac{0,114228}{y} + \frac{1,657}{y^2}$	0,66
DCR (cm cm ⁻³) / Todas	$Z = 0,13479 + 0,001049x + 0,003713y$	0,73

x = distância da base da planta; y = frações de reposição de água via evapotranspiração.

As raízes finas se comportaram de forma que, à medida que se aumentam as lâminas das reposições de água e diminuem as distâncias, os valores de DCR são maiores (Figura 3A), fato que acontece também com as raízes muito finas, como já descrito na figura 2. As raízes pequenas e médias possuem mesma DCR em todas as frações de reposição devido a essas não

serem tão responsáveis pela absorção de água e nutrientes quando comparadas com as muito finas e finas. Assim, elas não têm tanta necessidade de permanecerem apenas em regiões úmidas do solo. Porém, há decréscimos da DCR destas com o aumento da distância (Figura 3B e C), o que se deve ao solo argiloso do experimento, em que a irrigação localizada distribui a umidade em um maior raio, contudo, quanto mais próximo ao emissor, maior a umidade. Em relação a todas as raízes, essas se comportaram semelhantemente às raízes finas, devido à quantidade dessas e das raízes muito finas serem grandes na planta.

Para todas as classes de raízes, nas duas cultivares avaliadas, a maior concentração de raízes está entre 0,00 a 0,20 m de distância da base da planta e a 0,10 a 0,25 m de profundidade no solo (Figura 4), havendo um decréscimo nos valores de comprimento de raízes no perfil do solo para todos os tratamentos conforme a distância da base da planta e a profundidade foram aumentados. No entanto, há uma melhor distribuição de raízes na cultivar Miúda (Figura 05 B), por mais que a concentração de raízes esteja mais próxima ao emissor. Sugere-se, assim, informações para orientar a melhor localização de água e fertilizantes, resultando em incremento da produtividade, aumento da eficiência de uso da água, sendo um indicador do potencial de extração de água pela planta e da localização de sensores para monitoramento da umidade ou da tensão de água no solo para manejo hídrico racional (BORGES et al., 2008; SILVA, et al., 2013; SANT'ANA et al., 2012; COELHO et al., 2010).

Resultado semelhante foi encontrado na mesma cultura no Município de Guanambi-BA, em que a maior concentração de raízes está dentro da profundidade de 0,10 a 0,20 m e à distância de 0,15 m do centro da linha em condições com maior aplicação de água e menor intervalo de irrigação (SANTOS et al., 2017b).

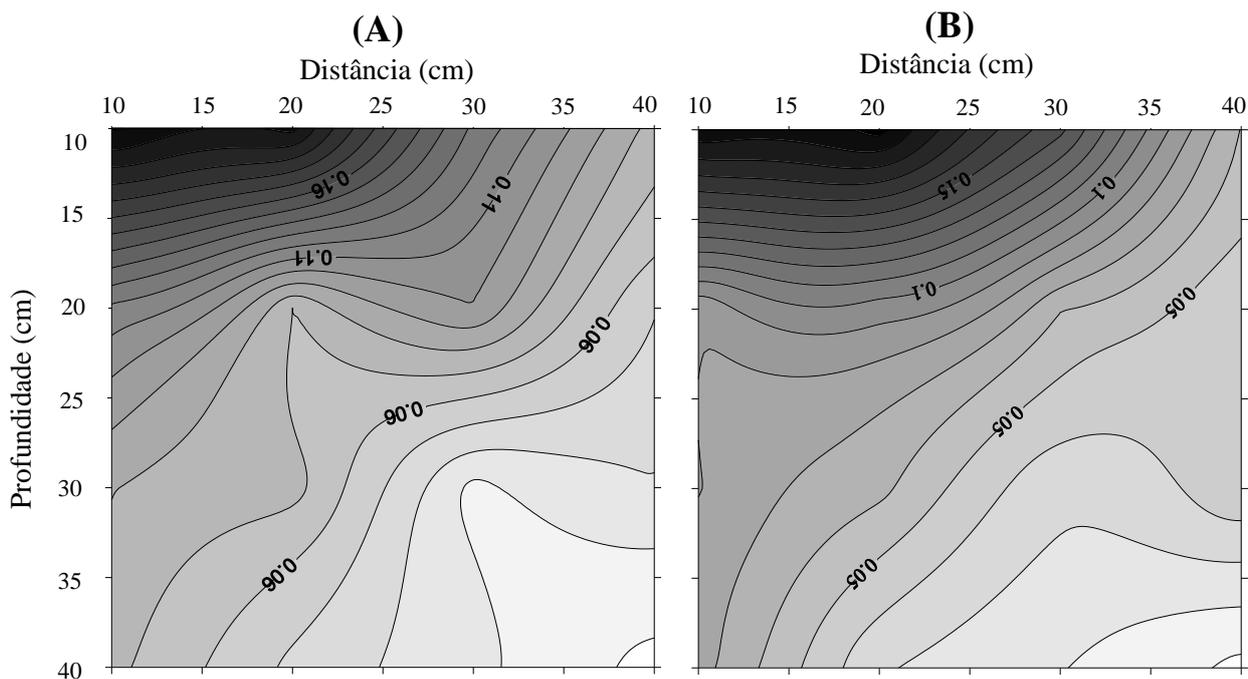


Figura 4. Isolinhas de densidade de comprimento de raízes (DCR) em função da profundidade e da distância nas cultivares Gigante (A) e Miúda (B).

A porcentagem total de DCR para as diferentes classes de diâmetros e diferentes frações de reposição de água de irrigação é observada na Figura 5.

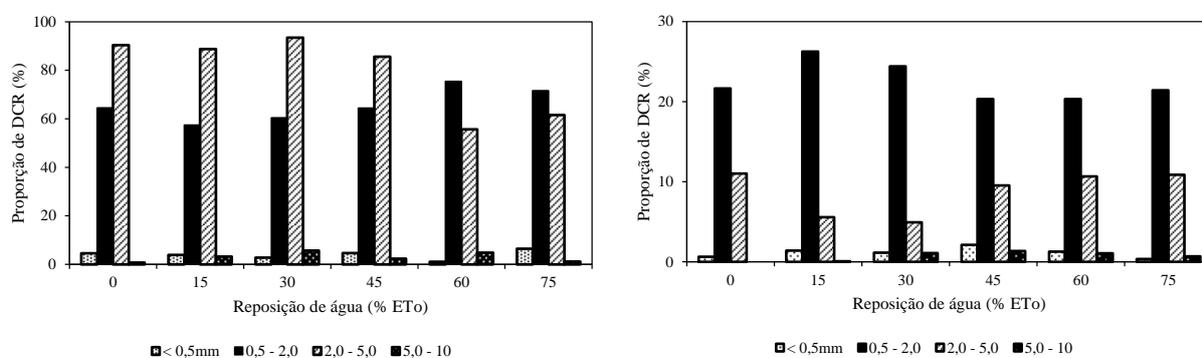


Figura 5. Porcentagem de densidade de comprimento de raízes (DCR) da palma forrageira cultivares Gigante (A) e Miúda (B) para as diferentes classes de raízes de diferentes lâminas de irrigação.

Considerando as porcentagens de DCR totais, as raízes pequenas representam proporções maiores nas quatro primeiras lâminas para a cultivar Gigante. Observa-se um comportamento distinto para a cultivar Miúda em que as raízes finas tiveram maiores proporções. A porcentagem média das raízes finas e pequenas para todas as frações de reposição de água foram de 65,59% e 79,20% respectivamente para a cultivar Gigante. Para a cultivar miúda, a porcentagem média para as raízes finas e pequenas foi de 22,40% e 8,77%,

respectivamente; o que aponta um diferencial nas características de distribuição radicular entre as duas cultivares.

2.4 CONCLUSÕES

A irrigação incrementa a densidade de comprimento de raízes nas proximidades da base da planta. As raízes concentram-se, em maior parte, entre 0 e 0,20 m de distância da base da planta e com de 0,10 a 0,25 m de profundidade. A cultivar Gigante possui maior porcentagem de densidade de comprimento de raízes, enquanto a ‘Miúda’ tem melhor distribuição destas.

2.5 AGRADECIMENTOS

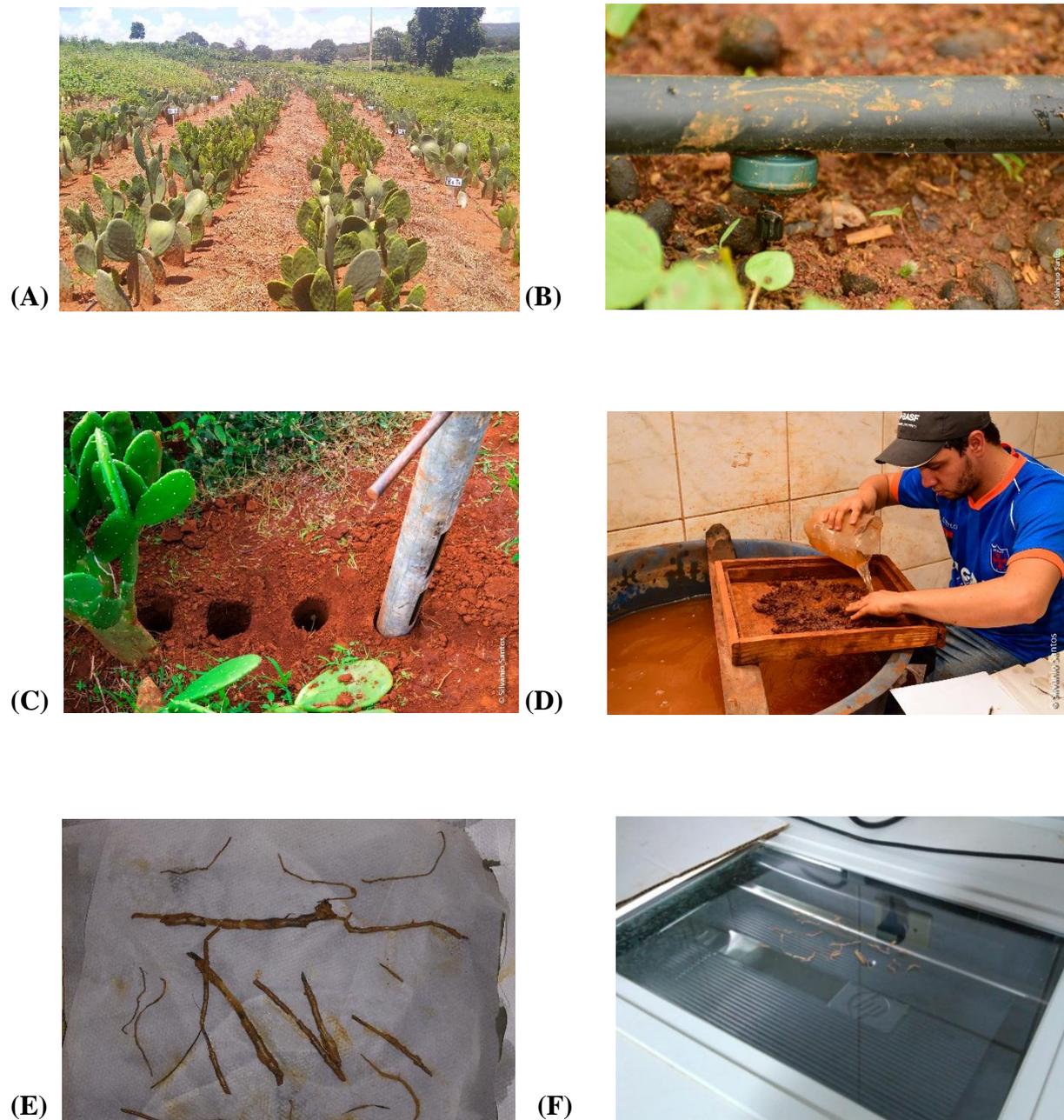
À Fundação de Apoio à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Código de Financiamento 001 (CAPES001) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas.

2.6 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. **Rome: Food & Agriculture Org**, Roma, v.56, 2006.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Piracicaba, v.22, n.6, 711–728, 2013.
- BOHM, W. **Methods of studying root systems**. v.33. Berlin: Ecological studies, 1979.
- BORGES, A. L. et al. Distribuição do sistema radicular da bananeira 'Prata-Anã' em duas frequências de fertirrigação com uréia. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n.1, p. 259-262, 2008.
- COELHO, E. F. SILVA.; SILVA, A. J. P.; MIRANDA, J. H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p. 608-618, 2010.
- COELHO, E. F.; OLIVEIRA, S. L.; COSTA, E. L. Irrigação da bananeira. In: SIMPÓSIO NORTE MINEIRO SOBRE A CULTURA DA BANANA, 1., 2001, Nova Porteirinha. **Anais...** Nova Porteirinha: Epamig: Unimontes, 2001. p. 91-101.
- DONATO, S. L. R.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J.A; RODRIGUES, M. G. V. Diagnóstico nutricional e recomendação de adubação da palma forrageira 'gigante'. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.38, n.296, p. 46-58, 2017.
- DONATO, P. E. R. et al. Morfometria e rendimento da palma forrageira 'Gigante' sob diferentes espaçamentos e doses de adubação orgânica. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.9, n.1, p.151-158, 2014.
- FARIAS, I.; SANTOS, D. C.; DUBEUX JUNIOR, J. C. B. Estabelecimento e manejo da palma forrageira. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. (Ed.). A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: UFPE, 2005. p.81-104.
- HASSAN, S.; INGLESE, P.; GRISTINA, L.; LIGUORIA, G.; NOVARA, A.; LOUHAICHI, M.; SORTINO, G. Root growth and soil carbon turnover in *Opuntia ficus-indica* as affected by soil volume availability. **European Journal of Agronomy**, v.105, p.104–110, 2019.
- KASPAR, T. C.; EWING, R. P. Rootedge: software for measuring root length from desktop scanner images. **Agronomy Journal**. Madison, v. 89. p. 932-940. 1997.
- LUCENA, C. C. Estratégias de manejo de irrigação de bananeiras baseadas em coeficientes de transpiração e área foliar. 2013. 152f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355 p.
- PINHEIRO, K. M. et al. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.12, p.939-947, 2014.

- RUIZ-SANCHEZ, M. C. et al. Spatial root distribution of apricot trees in different soil tillage practices. *Plant and Soil*, The Hague, v.272, n.1, p. 211- 221, 2005.
- SANT'ANA, J. A. V. et al. Distribuição de raízes de bananeira 'Prata-Anã' no segundo ciclo de produção sob três sistemas de irrigação. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.34, n.01, p.124-133, 2012.
- SANTOS, M. R. et al. Distribuição de raízes e extração de água da bananeira 'brs princesa' sob diferentes configurações de irrigação. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.24, n.6, 2017a.
- SANTOS, M. R et al. Root and water distribution in soil cultivated with forage cactus under different irrigation settings. IV INOVAGRI International Meeting, 2017b.
- SANTOS, M. R. et al. Distribuição de raízes e extração de água da bananeira 'brs princesa' sob diferentes configurações de irrigação. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v.24, n.6, 2016.
- SANTOS, M. R; MARTINEZ, M. A; DONATO, S. L. R; COLEHO, E. F. Fruit yield and root system distribution of 'Tommy Atkins' mango under different irrigation regimes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p. 362-369, 2014.
- SILVA, T. G. F. et al. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.28, n.2, p.10-18, 2015.
- SEGURA, R.A. et al. Chemical and microbiological interactions between soils and roots in commercial bananas plantations (Musa AAA, cv. Cavendish). **Scientia Horticulturae**, v.97, p.66-71, 2015.
- SILVA, A. J. P.; COELHO, E. F.; MIRANDA, J. H. Efficiency of water application of irrigation systems based on microsprinkling in banana plantations. **Scientia Agricola**, Piracicaba, vol.70, n.3, p. 139-146, 2013.
- SILVA, J. A. et al. Composição mineral em cladódios de palma forrageira sob diferentes espaçamentos e adubações química. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.7, p.866-875, 2012.
- SOUSA, A. C. M. et al. Root system distribution of sugarcane irrigated with domestic sewage effluent application by subsurface drip system. **Eng. Agríc**, Jaboticabal, v.33, n.4, p.647-657, 2013.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6.ed. Artmed, Porto Alegre, Brasil. 819p., 2017.
- TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. C.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. T. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. BRASÍLIA-DF: EMBRAPA, 2017.
- VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. **Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafos. 2005. 32p. Encarte Técnico.

2.7 APÊNDICES



Apêndice 2. Área experimental (A); linha de lateral com gotejador (B); trado de extração de raízes com a abertura de onde foram retiradas as amostras de raízes(C); lavagem de raízes e retirada do solo da amostra (D); raízes de palma forrageira (E) e; digitalização das raízes (F). Fotos: Silvânio Santos e Igor Nogueira.

5. CONCLUSÃO GERAL

Recomenda-se o plantio da cultivar Miúda nas condições irrigadas. Sua produtividade de matéria seca é maior e, entre as frações de reposição de água na faixa de 40 a 50% da evapotranspiração de referência estão os melhores resultados. A eficiência de uso da água e o índice de área de cladódio também são maiores na cultivar Miúda. A altura, comprimento e largura de cladódio foram maiores na cultivar Gigante. As raízes da palma forrageira se concentram próximas a base da planta e a cultivar Gigante se sobressai em maior porcentagem de densidade de comprimento de raízes.



Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido

ppgpvs@unimontes.br

www.produçãovegetal.com.br

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MONTES CLAROS
Campus Janaúba, Avenida Reinaldo Viana, 2630
Bairro Bico da Pedra (Morada do Sol), Caixa Postal 91
CEP 39448-581 – Janaúba – Minas Gerais