



Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio

Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim¹, Thieres George Freire da Silva^{1(*)}, Luciana Sandra Bastos de Souza¹, Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves², Jandis Ferreira Nunes de Araújo¹, Gabriel Italo Novaes da Silva¹ e José Orlando Nunes da Silva¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PGPV. Caixa Postal 063, CEP 56900-000 Serra Talhada, PE. E-mails: alexandremrfj@gmail.com, thieres.silva@ufrpe.br, sanddrbastos@yahoo.com.br, jandis_araujo@hotmail.com, gabrielitalo.novaes@gmail.com e joseorlanduu@hotmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE/Sede, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEA. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife, PE. E-mail: hygorkristoph22@gmail.com

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 25 de janeiro de 2019

Aceito em 11 de março de 2020

Termos para indexação:

Opuntia stricta

sistema de cultivo

balanço de água

manejo de irrigação

RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar a dinâmica de água no solo cultivado com a cultura da palma forrageira sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado, em condição de sequeiro e irrigado. O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada, PE, entre novembro de 2014 e setembro de 2015. A palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana foi submetida a quatro sistemas de plantio, resultantes da combinação de duas condições hídricas (sequeiro e irrigado com base em 75% da evapotranspiração de referência) e de duas configurações de cultivo (apenas a palma e em consórcio com o sorgo, cv. SF15). O método do balanço de água no solo foi aplicado e seus componentes integrados em cinco períodos e durante todo o ciclo experimental. Aplicou-se os testes de Kruskal-Wallis e Dunn na comparação dos tratamentos, ao nível de 5%. A drenagem profunda e a ascensão capilar não foram afetadas pelos sistemas de plantio, resultando médias de -11 e 9 mm, respectivamente. A variação no armazenamento de água no solo permitiu observar oscilações entre -53 mm e 35 mm. A evapotranspiração real acumulada foi de 258 mm na condição de sequeiro e de 633 mm no cultivo irrigado, independentemente da configuração de cultivo. As lâminas de irrigação e os eventos de chuvas afetaram a variação no armazenamento de água e na evapotranspiração real. A dinâmica de água no solo cultivado com a palma forrageira é mais afetada pelo uso da irrigação do que pela adoção do consórcio com o sorgo.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

O balanço de água no solo tem sido bastante eficiente na determinação da evapotranspiração da cultura e da eficiência no uso de água das plantas (Souza et al., 2013).

Esse método quantifica as entradas e saídas de água em um volume de solo, determinando a exigência hídrica das culturas para desempenhar seus processos metabólicos (Evelt et al., 2012). Neste contexto, a dinâmica de água no solo é útil para o entendimento da inter-relação do sistema água-

-solo-planta-atmosfera, bem como do movimento da água no perfil do solo, ajuste da curva de retenção, evapotranspiração, escoamento superficial, ascensão capilar e drenagem profunda (Reichardt & Timm, 2012).

O conhecimento dos componentes do balanço de água também comporta a adequação de práticas de manejo das culturas às condições climáticas locais, permitindo a formulação de estratégias e planejamentos quanto a necessidade de reposição de água que podem ser fundamentais para boa produtividade agrícola (Santos et al., 2010). O excesso ou escassez de água podem ser limitantes ao potencial produtivo das culturas (Lira et al., 2015).

A disponibilidade de água, nutrientes, radiação solar e temperatura do ar são fatores limitantes na produção de forragem e pastagens (Tonato et al., 2010). Um exemplo particular é a palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.) que, por causa de suas características morfofisiológicas, possui alta eficiência na utilização da água. Além disso, é uma espécie de metabolismo fotossintético MAC (Metabolismo Ácido das Crassuláceas), estômatos de tamanho reduzido e com menor frequência de abertura, cladódios suculentos, cutícula espessa e sistema radicular composto (i.e., raízes estruturais, raízes laterais, raízes originadas nas aréolas dos cladódios e raízes de chuva ou absorventes), que as conferem grande capacidade de adaptação a condições adversas de solo, clima e ao déficit hídrico (Scalisi et al., 2016). Por estes motivos, essa cultura tem grande destaque forrageiro, sendo um dos volumosos de maior importância para os animais ruminantes do Semiárido brasileiro (Cruz Filho et al., 2019).

Apesar de sua adaptação à condição de sequeiro, estudos têm mostrado que o uso de irrigação no sistema de pro-

dução da palma forrageira é uma ótima opção para incrementar o rendimento da cultura, promovendo melhorias no seu crescimento, aumento do número de cladódios, espessura de cladódios, e índice de área do cladódio (Queiroz et al., 2015; Scalisi et al., 2016). Além disso, a compreensão da dinâmica de água no solo é fundamental para melhoria do manejo da irrigação (Kiremit & Arslan, 2016).

Diante do exposto, o objetivo desse estudo foi avaliar a dinâmica de água no solo cultivado com a palma forrageira (*O. stricta* (Haw.) Haw.) em regime de sequeiro e sob irrigação nos sistemas de plantio exclusivo e consorciado com o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), no Semiárido brasileiro.

Material e métodos

O experimento foi realizado no município de Serra Talhada, PE (7°59' S; 38°15' W e 431 m). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BShw', ou seja, semiárido, com chuvas na maioria dos meses mais quentes e seca nos meses frios do ano (Alvares et al., 2013), totalizando em média 642 mm ano⁻¹, temperatura média do ar variando entre 20,1 a 32,9 °C, umidade relativa do ar próximo a 63%, resultando em demanda atmosférica de 1.800 mm ano⁻¹ e déficit de 1.143 mm ano⁻¹ (Silva et al., 2015; Pereira et al., 2015). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso com características físicas e químicas apresentadas na Tabela 1.

As culturas da palma forrageira (*O. stricta*), clone Orelha de Elefante Mexicana, e do sorgo (*S. bicolor* (L.) Moench), cv. SF15, foram conduzidas neste estudo. A palma forrageira

Tabela 1. Características físicas e químicas de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso cultivado com palma forrageira (*O. stricta*) Orelha de Elefante Mexicana e sorgo (*S. bicolor* (L.) Moench) duplo propósito cultivar (SF15), em Serra Talhada, PE, Semiárido brasileiro.

Profundidade (m)	ρ_a	ρ_p	ϕ_t	Areia	Silte	Argila
	kg dm ⁻³		%	g kg ⁻¹		
0,00 – 0,10	1,54	2,52	38,93	727,18	227,20	45,63
0,10 – 0,20	1,58	2,55	37,95	712,73	241,55	45,80
0,20 – 0,30	1,56	2,58	39,30	708,18	251,43	40,38
0,30 – 0,40	1,50	2,58	41,80	637,43	277,18	85,48
0,40 – 0,50	1,49	2,58	42,47	669,95	242,05	87,98
0,50 – 0,60	1,51	2,59	41,58	646,60	275,90	77,48
Média	1,53	2,57	40,34	683,68	252,55	63,79
Desvio Padrão	0,03	0,02	1,61	32,35	15,99	19,86
C.V (%)	1,96	0,82	4,00	4,73	6,33	31,12
	pH	P	Ca	Al	Na	K
Média	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			
0,10 – 0,60	6,7	>40,3	3,25	0	1,52	0,45

* ρ_a = Densidade aparente do solo; ρ_p = Densidade das partículas; ϕ_t = Porosidade total do solo. P = Fósforo; Ca = Cálcio; Al = Alumínio; Na = Sódio; K = Potássio.

foi implantada em maio de 2011 e conduzida entre os ciclos de maio de 2011 a maio de 2012, junho de 2012 a maio de 2013 e junho de 2013 a outubro de 2014, a partir de quando se iniciou o quarto ciclo produtivo, sendo o período deste estudo definido entre janeiro de 2015 (semeadura do sorgo) e setembro de 2015. As plantas de palma forrageira foram espaçadas em 1,6 x 0,40 m, com parcelas contendo quatro fileiras de 6,0 m lineares. O sorgo foi semeado em 08 de janeiro de 2015, e avaliado durante dois ciclos produtivos, o primeiro com 147 dias, sendo o corte feito em 28 de maio de 2015, e o segundo ciclo (rebrotas) de 102 dias após o primeiro corte (09 de setembro de 2015). A cultura do sorgo foi implantada a 0,20 m da fileira da palma forrageira.

As culturas foram dispostas em blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial 2x2, onde as parcelas foram compostas por duas condições hídricas: uma de sequeiro e outra irrigada com 75% da evapotranspiração de referência (ET₀); e as subparcelas por duas configurações de cultivo: palma em plantio exclusivo (PE) e o consórcio palma-sorgo (PS), o que resultaram em quatro sistemas de plantio.

As irrigações foram feitas por meio de um sistema de gotejo com vazão 1,25 L h⁻¹ à pressão de 10,33 mca, utilizando-se água proveniente do Açude Saco a 200 m da área de cultivo. A água apresentava condutividade elétrica (CE) que oscilou entre 1,6 e 1,8 dS m⁻¹.

Para o monitoramento da umidade do solo, utilizou-se uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltda., Austrália) e 16 tubos de acesso, estes inseridos até a profundidade de 0,70 m da superfície. Os tubos de acesso foram dispostos a 0,10 m da palma forrageira e do sorgo, sendo no consórcio posicionado entre as fileiras de cultivo. A sonda foi calibrada localmente conforme descrito por Araújo Primo et al. (2015).

As leituras foram realizadas às segundas-feiras, quartas-feiras e sextas-feiras, momentos anteriores aos eventos de irrigação, no período de janeiro a setembro de 2015.

As análises dos componentes do método do balanço de água no solo (BAS) foram efetuadas no intervalo de sete dias, considerando-se a camada controle de 0,60 m (z). Na determinação do balanço de água no solo foi utilizado o método que se baseia na conservação da massa da água em um volume de solo (Libardi, 2005).

A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) foi obtida pela diferença dos valores final e inicial do armazenamento de água no solo, na profundidade de interesse (z = L) no intervalo de sete dias, valores estes resultantes da integração das leituras da sonda a cada 0,10 m.

A precipitação pluvial (P) da área experimental foi monitorada com auxílio de um pluviômetro automático (modelo: S-RGB-M002), e os seus valores foram integrados para o intervalo de sete dias.

Os volumes de água aplicados na irrigação, por sua vez,

foram obtidos pelo produto entre a fração de 75% e a ET₀ (evapotranspiração de referência), calculada de acordo com o método de Penman-Monteith padronizado pelo Boletim 56 da FAO (Allen et al., 1998), utilizando dados meteorológicos coletados a partir de uma PCD (plataforma de coleta de dados) do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada à 1,5 km da área experimental.

O escoamento superficial (R) foi considerado desprezível (nulo), devido a topografia do terreno apresentar baixa declividade e a irrigação ser aplicada por um sistema de gotejamento de alta eficiência.

O fluxo de água no solo (Q), que pode ser positivo ou negativo, ocorrendo ascensão capilar ($AC = +Q$) ou drenagem profunda ($DP = -Q$), nessa ordem, foi calculado conforme equação de Darcy-Buckingham (Libardi, 2005), que considera a condutividade hidráulica do solo ($K(\theta)$) e o gradiente de potencial total de água no solo ($\Delta\psi_t \Delta z^{-1}$). A $K(\theta)$ e o $\Delta\psi_t \Delta z^{-1}$ foram obtidos de acordo com os procedimentos descritos por Silva et al. (2015), utilizando o método do perfil instantâneo e equações matemáticas (Dourado-Neto et al., 2000; Libardi, 2005). A evapotranspiração (ET) foi obtida por meio do resíduo do BAS.

Para o período de avaliação do balanço de água no solo, o mesmo foi subdividido em 5 períodos, sendo o período 1, abrangendo de 16 de janeiro de 2015 à 05 de março de 2015; o período 2, de 06 de março de 2015 à 23 de abril de 2015; o período 3, de 24 de abril de 2015 à 11 de junho de 2015; o período 4, de 12 de junho de 2015 à 30 de julho de 2015; e o período 5, de 31 de julho de 2015 à 18 de setembro de 2015.

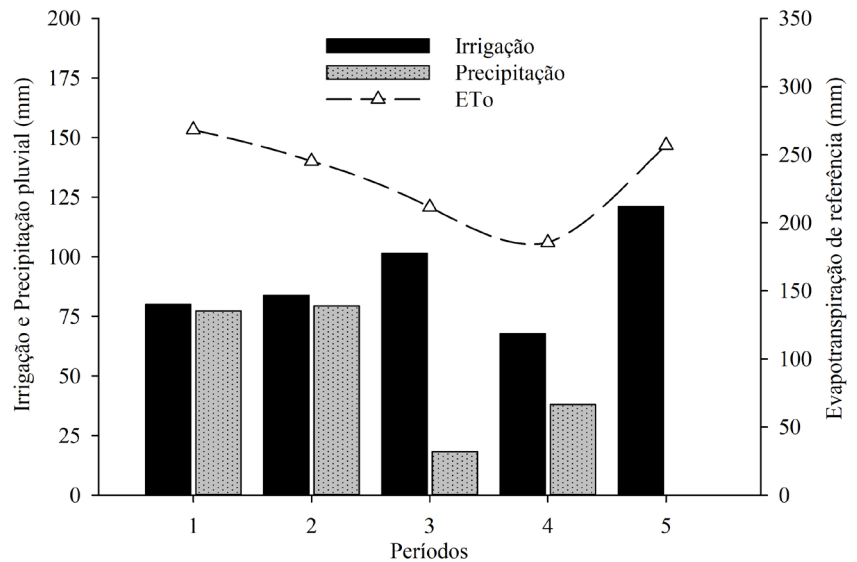
Os valores dos componentes do BAS foram submetidos à estatística descritiva e, por causa da ausência de normalidade do resíduo dos dados para a análise de variância, aplicou-se os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e Comparações Múltiplas de Dunn, ao nível de 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas a partir da ferramenta computacional XLStat[®] para Microsoft Office Excel[®]. A confecção dos gráficos foi feita com o software SigmaPlot (Systat Software Inc., San Jose, California, USA).

Resultados e discussão

Os eventos de irrigação e precipitação pluvial foram de 80 mm (I) e 77 mm (P) no período 1 e de 84 mm (I) e 79 mm (P) no período 2 (Figura 1). Segundo Sectma (2006), entre os meses de janeiro e abril, nessa região a precipitação pluvial representa 65% dos totais da chuva anual. Entretanto, no presente estudo, os valores foram abaixo da quantidade esperada para essa época do ano. Nos períodos 3 e 4, estes eventos foram bem reduzidos e contribuíram com apenas 18 mm e 38 mm, respectivamente. Por este motivo, para esses períodos, as lâminas de irrigação foram responsáveis por 101 e 68 mm, nessa ordem.

As menores quantidades de água aplicadas no período 4

Figura 1. Dados dos eventos de irrigação, precipitação pluvial e evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada ao longo dos períodos (1 = 16/01/15 à 05/03/15; 2 = 06/03/15 à 23/04/15; 3 = 24/04/15 à 11/06/15; 4 = 12/06/15 à 30/07/15; 5 = 31/07/15 à 18/09/15) de análise do balanço de água no solo (BAS) do sistema palma-sorgo, no município de Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro.



foram decorrentes da menor demanda atmosférica, quando a ET_o acumulada foi de apenas 186 mm, por causa da menor incidência de radiação e temperaturas mais amenas.

No último período (5), não foram averiguados eventos de precipitação pluvial, assim todo o suprimento hídrico foi oriundo da irrigação (121 mm). Nesta época, observou-se acréscimo nos valores da ET_o como reflexo do aumento da incidência de radiação solar, concomitante à temperatura e, diminuição da umidade relativa do ar.

Quando se analisou a umidade do solo (θ), observou-se que houve pouca variação por causa da configuração de cultivo, mas sim em função da condição hídrica e dos períodos avaliados (Figura 2). A condição de sequeiro (0% ET_o) exibiu ligeira redução da θ ao longo do tempo, ao passo que sob irrigação (75% ET_o), o aumento foi evidente mesmo com redução do suprimento de água (P+I) com o decorrer do ciclo das culturas. No período 1, a θ esteve mais relacionada aos eventos de chuvas e a baixa área foliar das culturas, acarretando em menores sombreamentos da superfície do solo e consumo de água, reduzindo a transferência de água para atmosfera em cultivos com irrigação localizada (Reichardt & Timm, 2012).

No período 2, a manutenção do suprimento de água e diminuição da demanda atmosférica resultaram em aumento da θ na condição irrigada, embora com o aumento da cobertura vegetal.

O período 3 foi marcado pela contribuição das lâminas de irrigação por causa da diminuição dos eventos das chuvas e baixa demanda atmosférica, o que resultou ainda em aumento da θ , ainda que a área foliar das culturas foi crescente.

No período 4 houve os menores valores de ET_o e baixa área foliar da cultura do sorgo, uma vez que coincidiu com a fase inicial do ciclo de rebrota da cultura.

No período 5, por sua vez, devido à ausência de chuvas,

o suprimento hídrico foi apenas por irrigação, e mesmo com o máximo de área foliar da palma forrageira e do sorgo durante o ciclo de rebrota a θ atingiu valores próximos a $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Araújo Primo et al. (2015) citam que a θ da capacidade de campo do Argissolo Vermelho deste estudo é em média $0,32 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Este valor é próximo ao citado por Belchior et al. (2016), em Argissolo Vermelho localizado no estado de Mato Grosso do Sul, que é de $0,34 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Segundo Reynolds et al. (2002), solos do tipo Argissolo Vermelho exibem valores ideais de armazenamento de água no solo entre $0,15$ e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$.

Na condição de sequeiro, a magnitude da θ foi a mais baixa, próximo a $0,14 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, no período 5. A baixa θ pode causar dano fisiológico às plantas devido o declínio na taxa fotossintética, perda de turgor celular e perturbações metabólicas e, fechamento estomático, o que limitam a taxa de expansão, enrolamento e abscisão foliar e, alteram a permeabilidade da cutícula (Shao et al., 2008a; Xoconostle-Cázares et al., 2010; Ferraz et al., 2012). A palma forrageira e o sorgo apresentam tolerância à escassez hídrica, por isto são indicadas para as regiões semiáridas (Sampaio et al., 2005; Xoconostle-Cázares et al., 2010).

Durante os cinco períodos avaliados (Tabela 2), observou-se que não houve variação da drenagem profunda (DP) ao longo do tempo dentro de cada sistema de plantio ($p > 0,05$). Apenas no período 3, a DP se diferenciou entre as condições de cultivo ($p < 0,05$), com maiores médias no sistema PS com a lâmina de 75%ET_o (-9 mm), porém não diferenciando da PE com lâmina de 75%ET_o e da PE com 0%ET_o. Este resultado está relacionado ao volume de água infiltrado no sistema durante o período anterior (período 2), equivalente à 163 mm (P + I). Em estudos conduzidos na mesma área de cultivo deste presente trabalho, Araújo Primo et al. (2015) relataram -94,3 mm de DP, em média, para cultivos de clones palma forrageira, IPA Sertânia, Miúda e

Figura 2. Variação do conteúdo volumétrico de água no solo (θ) nos sistemas de plantio palma forrageira exclusiva (PE) e consorciada palma-sorgo (PS), em função dos eventos de irrigação (0% e 75% ETo) e precipitação pluvial, durante os períodos 1 = 16/01/15 à 05/03/15; 2 = 06/03/15 à 23/04/15; 3 = 24/04/15 à 11/06/15; 4 = 12/06/15 à 30/07/15; 5 = 31/07/15 à 18/09/15, no município de Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro.

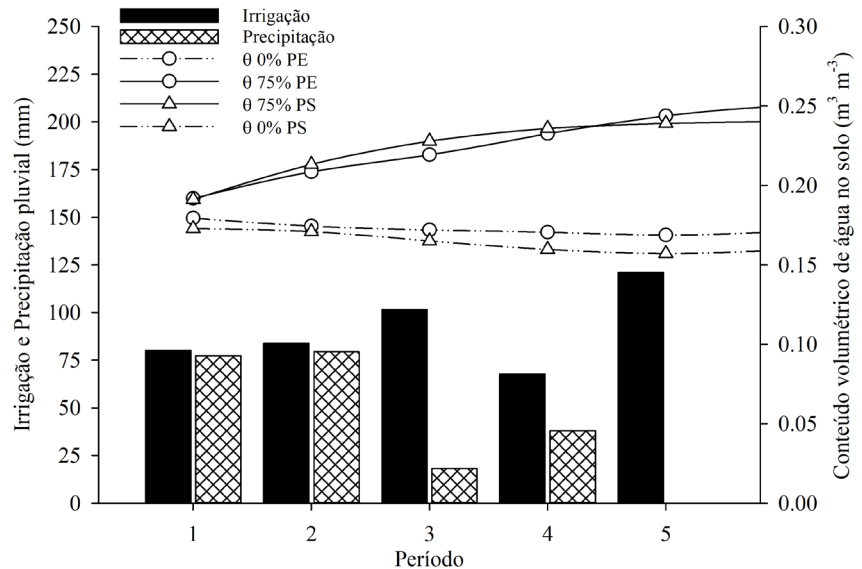


Tabela 2. Componentes do balanço de água no solo (BAS) em cultivo de palma forrageira (*Opuntia stricta*) cv. Orelha de Elefante Mexicana e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. (SF15), irrigados com lâminas de água salina, baseadas em percentuais da evapotranspiração de referência (0 e 75% ETo), em sistema de cultivo exclusivo (palma exclusiva – PE) e, consorciado (palma e sorgo – PS), no período de 16 de janeiro a 18 de setembro de 2015, em Serra Talhada, PE, semiárido brasileiro

Componentes do balanço de água no solo		*Períodos					Total
		1	2	3	4	5	
P	Lâmina	77	79	18	38	0	212
I	Sistemas	80	84	101	68	121	454
DP	0%PE	0Aa	-2Aa	0ABa	-1Aa	-1Aa	-4A
	0%PS	0Aa	0Aa	0Ba	0Aa	0Aa	0A
	75%PE	-7Aa	-2Aa	-1ABa	-3Aa	-4Aa	-17A
	75%PS	-5Aa	-8Aa	-9Aa	-5Aa	-4Aa	-31A
AC	0%PE	0Aa	0Aa	0ABa	1Aba	0Aba	1A
	0%PS	0Aa	0Aa	0Ba	0Ba	0Ba	0A
	75%PE	1Aa	1Aa	2ABa	4Aba	3Aa	11A
	75%PS	1Aa	4Aa	5Aa	8Aa	3Aba	21A
ΔA	0%PE	-2ABab	10Aab	-32Ab	9Aba	-29Bb	-44AB
	0%PS	-14Bab	-5Aab	-26Ab	17Aa	-25ABb	-53B
	75%PE	13ABa	11Aa	-5Aa	-1Aba	-3Aa	15AB
	75%PS	31Aa	15Aab	-7Ab	-3Bab	-1ABab	35A
ETr	0%PE	-79Ba	-67Bab	-50Aab	-28ABb	-29Ab	-253B
	0%PS	-90ABa	-84ABa	-44Aab	-20Bb	-25Aab	-263AB
	75%PE	-138Aab	-151Aa	-125Aab	-107Ab	-124Aab	-645A
	75%PS	-122ABab	-144ABa	-122Aab	-111Ab	-122Aab	-621AB

*Períodos: 1 = 16/01/15 à 05/03/15; 2 = 06/03/15 à 23/04/15; 3 = 24/04/15 à 11/06/15; 4 = 12/06/15 à 30/07/15; 5 = 31/07/15 à 18/09/15.

P = Precipitação pluvial (mm); I = Irrigação (mm); DP = Drenagem profunda (mm); ΔA = Variação no armazenamento de água no solo (mm); AC = Ascensão capilar (mm) e, ETr = Evapotranspiração real (mm). Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical dentro de um mesmo componente não se diferenciam estatisticamente entre si, enquanto médias seguidas de mesma letra minúscula na horizontal, não diferem entre si, ambos de acordo com os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e Dunn, ao nível de 5% de significância.

Orelha de Elefante Mexicana; já Queiroz et al. (2016) encontraram, para o sistema exclusivo de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana durante segundo ciclo, -78,26 mm de DP; enquanto, Morais et al. (2017) afirmaram que a DP, em sistema de palma exclusiva, foi em média -18,9 mm, independentemente do clone.

Igualmente a DP, a ascensão capilar (AC) não variou en-

tre os períodos dentro do mesmo sistema de plantio ($p > 0,05$). Os períodos 3, 4 e 5 exibiram AC com diferenças entre os sistemas de plantio. Os maiores valores encontrados foram observados no período 4, sendo o sistema palma-sorgo com a lâmina de 75%ETo o de maior magnitude, diferenciando-se apenas do sistema palma-sorgo na condição 0%ETo. Este resultado pode estar relacionado ao maior vo-

lume de raízes no solo proveniente do sistema consorciado que favorece a ascensão capilar na época mais seca (Brito et al., 2009), como verificado nesse período (106 mm, P + I). Shao et al. (2008b) afirmaram que a atividade do sistema radicular, tanto em expansão como em profundidade, sofre oscilações a depender da quantidade de umidade no solo. Araújo Primo et al. (2015) e Queiroz et al. (2016), estudando a palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, neste mesmo ambiente de estudo, não observaram ascensão capilar, havendo assim apenas DP.

Para a variação do armazenamento de água no solo (ΔA), o sistema de plantio PE com 75%ETo foi o único que não apresentou diferenças entre os períodos analisados. Enquanto, observou-se diferenças entre os sistemas de plantio nos períodos 1, 4 e 5 ($p < 0,05$). Os maiores valores foram ocorrentes em períodos com maior disponibilidade hídrica (P + I), sendo de 157 mm no período 1 e de 163 mm no período 2. A ΔA exibiram oscilações entre -53 mm e +35 mm, gerando assim uma dinâmica de água no solo entre os períodos, com média de -47 mm.

Para o sistema PS com 75%ETo, a ΔA foi de 35 mm, já no sistema PE com 75%ETo foi de 15 mm. As maiores magnitudes da ΔA em sistemas consorciados pode estar relacionado à reestruturação do solo promovida pela maior densidade de raízes, que contribui para melhor porosidade do solo, capacidade de infiltração, aeração e retenção de água (Vischi Filho et al., 2016; Pereira et al., 2016). Queiroz et al. (2016) e Morais et al. (2017) verificaram de ΔA de 33,64 e 30,1 mm, respectivamente, ambos em sistema exclusivo de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana irrigada, em ambiente semiárido.

A palma consorciada com o sorgo irrigada com 75%ETo mostrou maior ΔA no período 1, diferenciando-se apenas do sistema da palma-sorgo na condição de sequeiro (0%ETo). No período 4, houve diferença entre os sistemas ($p < 0,05$), com o sistema PS na condição de 75% da ETo apresentando ΔA de apenas -3 mm, o que pode estar associado a maior demanda hídrica das culturas e a menor disponibilidade de água, intensificando-se no período 5. Valores negativos de ΔA também foram observados por Araújo Primo et al. (2015) e Silva et al. (2015), com ocorrência antecedente aos períodos de maiores irrigação e chuvas, semelhante ao verificado por Lima et al. (2006), analisando a dinâmica de água no solo com feijão-caupi em um Latossolo Amarelo, no município de Areia, PB.

Quanto a evapotranspiração real (ETr), diferenças foram notadas entre os sistemas de plantio e períodos analisados (1, 2 e 4; $p < 0,05$). Nestes dois últimos períodos, a semelhança nos valores da ETr se deve ao crescimento do sorgo, além da estabilização da área foliar da palma forrageira com consequente manutenção da demanda hídrica (Dutra, 2012). Nesta situação, os valores de ETr dependem

da competição por água, luz, solo e espaço (Sales et al., 2013; Diniz et al., 2017).

Durante o período 1, as maiores magnitudes dos valores de ETr foram constatadas no sistema PE com 75%ETo, seguidos dos sistemas PS com 75%ETo e PS com 0%ETo, apesar de não se diferenciarem entre si estatisticamente. O mesmo resultado ocorreu no período 2, apesar dos valores da ETr dos sistemas PE com 75%ETo e PS com 75%ETo terem sido maiores. Esse acréscimo está relacionado ao aumento na disponibilidade hídrica, incrementando o consumo de água pelas plantas. Araújo Primo et al. (2015), Consoli et al. (2013) e Queiroz et al. (2016) reportaram resultados similares.

Nos sistemas PE e PS na condição 0%ETo, a ETr durante o ciclo foi de 253 mm (1,03 mm dia⁻¹) e 263 mm (1,08 mm dia⁻¹), respectivamente, valores esses bem próximos aos descritos por Han & Felker (1997) em trabalho realizado na região semiárida do Texas, EUA, com a *O. ellisiana* (L.), cultivado em condições de sequeiro, em que a ETr da cultura foi 559 mm (1,37 mm dia⁻¹). De acordo com Consoli et al. (2013), a ETr acumulada de clone do gênero *Opuntia*, em região do Mediterrâneo da Itália, foi igual a 256 mm (2,5 mm dia⁻¹).

No presente estudo, os sistemas PE e PS com 75%ETo obtiveram valores de ETr de 645 mm (2,63 mm dia⁻¹) e 621 mm (2,53 mm dia⁻¹). Segundo Brito et al. (2009) e Silva et al. (2014), a ETr aumenta de acordo com o acréscimo da umidade do solo.

Conclusões

A dinâmica de água no solo cultivado com a palma forrageira é mais afetada pelo uso da irrigação do que pela adoção do consórcio com a cultura do sorgo.

Sazonalmente, as lâminas de irrigação e, ou, eventos de chuvas afetam mais a variação do armazenamento de água no solo e da evapotranspiração real do que do fluxo vertical de água no solo, independentemente da configuração de cultivo exclusivo de palma forrageira ou do consórcio com sorgo.

Referências

- ALLEN, R. G.; S, P. L.; RAES, D.; MARTIN, S. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements / by Richard G. Allen ... [et al.]. **FAO irrigation and drainage paper**: 56, p. 1-15, 1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, T. G. F.; SILVA, S. M. S.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 20-29, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562010003>

- BELCHIOR, I. B.; LOPES, A. S.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; CASSOL, I. J.; OLIVEIRA, J. C. L.; BRITO, K. R. M. Propriedades físico-hídricas do solo cultivado com eucalipto irrigado. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 14, n. 1, p. 18–27, 2016. <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1221/1384>
- BRITO, A. S.; LIBARDI, P. L.; GIBERTO, P. J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2, p. 295–303, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000200007>
- 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 semiarid environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 8, p. 680–690, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000589](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589)
- CRUZ FILHO, I. J.; BARROS, B. R. S.; AGUIAR, L. M. S.; NAVARRO, C. D. C.; RUAS, J. S.; LORENA, V. M. B.; ROCHA, G. J. M.; VERCESI, A. E.; MELO, C. M. L.; MAIOR, A. M. S. Lignins isolated from Prickly pear cladodes of the species *Opuntia ficus-indica* (Linnaeus) Miller and *Opuntia cochenillifera* (Linnaeus) Miller induces mice splenocytes activation, proliferation and cytokines production. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 123, p. 1331–1339, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.120>
- DINIZ, W. J. S.; SILVA, T. G. F.; FERREIRA, J. M. S.; SANTOS, D. C.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO, G. G. L.; ZOLNIER, S. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724–733, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000900004>
- DOURADO-NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 1, p. 191–192, 2000. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-9016200000100031>
- DUTRA, A. F. **Eficiência agroecológica do consórcio mamona e amendoim em área do Semiárido paraibano**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias), Centro de Ciências Humanas e Agrárias, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.
- EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, v. 104, p. 1–9, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.12.002> Get rights and content
- FERRAZ, R. L. S.; MELO, A. S.; SUASSUNA, J. F.; BRITO, M. E. B.; FERNANDES, P. D.; NUNES JÚNIOR, E. S. Trocas gasosas e eficiência fotossintética em ecótipos de feijoeiro cultivados no Semiárido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 181–188, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632012000200010>
- HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, v. 36, p. 133–148, 1997. <http://dx.doi.org/10.1006/jare.1996.0202>
- KIREMIT, M. S.; ARSLAN, H. Effects of irrigation water salinity on drainage water salinity, evapotranspiration and other leek (*Allium porrum* L.) plant parameters. **Scientia Horticulturae**, v. 201, p. 211–217, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.001>
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 61, 2005. 329 p.
- LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A.; SOUZA, E. S.; LIRA, C. A. B. O. Balanço hídrico no solo cultivado com feijão caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 89–95, 2006. <http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=141>
- LIRA, R. M. SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BERNABÉ, M. J. C.; SOARES, H. R. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **GEAMA**, v. 3, n. 1, p. 62–83, 2015. <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/514/0>
- MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F.; QUEIROZ, M. G.; ARAÚJO, G. G. L.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 4, p. 273–278, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p273-278>
- PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. M.; JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A. Hydro-erosive processes in degraded soils on gentle slope. **Revista Brasileira De Geomorfologia**, v. 17, n. 2, p. 299–316, 2016. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.877>
- PEREIRA, P. D. C.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS, D. C. dos. Morfogenese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184–195, 2015. <http://www.scielo.br/pdf/rcaat/v28n3/1983-2125-rcaat-28-03-00184.pdf>
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; LIMA, L. R.; ALVES, J. O. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 931–938, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; DA; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SOUZA, C. A. A.; CARVALHO, H. F. S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 141–154, 2016. <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1814>
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri, SP: Manole, 2012. 478 p.
- REYNOLDS, W. D.; BOWMAN, B. T.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; LU, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1–2, p. 131–146, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8)
- SALES, A. T.; LEITE, M. L. M. V.; ALVES, A. Q.; FARIAS, J. P. R.; NASCIMENTO, J. P. Crescimento vegetativo de palma forrageira em diferentes densidades de plantio no Curimatú Paraíba. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 1, n. 71, p. 19–24, 2013. <http://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-07-2013/volume-7-numero-1-marco-2013/tca7104.pdf>
- SAMPAIO, E. V. S. B. Produtividade de palma em propriedades rurais. In: MENEZES, R. S. C.; SIMÕES, D. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A palma no Nordeste do Brasil: conhecimento atual de novas perspectivas de uso**. UFPE: Recife, p. 129–141, 2005.
- SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, Noroeste do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 3, p. 142–149, 2010. <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/32>
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; LO BIANCO, R. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158–167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco**. 1. ed. Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, 2006. 104 p.
- SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215–225, 2008b. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.01.002>
- SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; SHAO, M. A.; JALEEL, C. A.; HONG-MEI, M. Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. **Comptes Rendus - Biologies**, v. 331, n. 6, p. 433–441, 2008a. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.03.011>
- SILVA, R. A. B.; LIMA, J. R. S.; DANTAS ANTONINO, A. C.; GONDIM, P. S. S.; SOUZA, E. S.; BARROS JÚNIOR, G. Balanço hídrico em neossolo regolítico cultivado com braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 1, p. 147–157, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832014000100014>
- SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515–525, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>

SOUZA, C.; ANDRADE, A. P.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. da. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 1, p. 3-10, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100001>

TONATO, F.; BARIONI, L. G.; GUILHERME, C.; PEDREIRA, S. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 522-529, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2010000500012>

VISCHI FILHO, O. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; SOUSA, A. C. M.; SILVA, R. B. Intervalo hídrico ótimo em área de cana-de-açúcar com diferentes ciclos de colheita mecanizada. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 96-108, 2016.
<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/1793>

XOCONOSTLE-CÁZARES, B.; RAMÍREZ-ORTEGA, F. A.; FLORES-ELENES, L.; RUIZ-MEDRANO, R. Drought tolerance in crop plants. **American Journal Plant Physiology**, v. 5, n. 5, p. 1-16, 2010.
<http://dx.doi.org/10.3923/ajpp.2010.241.256>

REFERENCIAÇÃO

JARDIM; A. M. R. F.; SILVA; T. G. F.; SOUZA; L. S. B.; ALVES; H; K; M; N.; ARAÚJO; J. F. N.; SILVA; G. I. N.; SILVA, J. O. N. Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.2, p.357-365, dez 2019.



Soil water dynamics with forage cactus cultivation under four planting systems

Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim¹, Thieres George Freire da Silva^{1(*)}, Luciana Sandra Bastos de Souza¹, Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves², Jandis Ferreira Nunes de Araújo¹, Gabriel Italo Novaes da Silva¹ and José Orlando Nunes da Silva¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PGPV. Caixa Postal 063, CEP 56900-000 Serra Talhada, PE, Brazil. E-mails: alexandremrfj@gmail.com, thieres.silva@ufrpe.br, sanddrabastos@yahoo.com.br, jandis_araujo@hotmail.com, gabrielitalo.novaes@gmail.com and joseorlanduu@hotmail.com

²Universidade Federal Rural de Pernambuco, UFRPE/Sede, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEA. Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, CEP 52171-900 Recife, PE, Brazil. E-mail: hygorkristoph22@gmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 January 2019

Accepted 11 March 2020

Index terms:

Opuntia stricta

cropping systems

water balance

irrigation management

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the water dynamics in the soil cultivated with forage cactus cultivation under sole cropping and intercropping systems under rainfed and irrigated conditions. The experiment was conducted in the municipality of Serra Talhada, PE, Brazil, between November 2014 and September 2015. The forage cactus, cv. “Orelha de Elefante Mexicana”, was submitted to four cropping systems resulting from the combination of two water conditions (rainfed and irrigated on the basis of 75% of the reference evapotranspiration) and of two cultivation configurations (sole cropping cactus forage and intercropping forage cactus with sorghum, cv. SF15). The soil water balance method was applied and its components integrated in five periods and throughout the experimental cycle. The Kruskal-Wallis and Dunn tests were applied in the comparison of the treatments at the 5% level. The deep drainage and the capillary rise were not affected by the cropping systems, resulting in averages of -11 and 9 mm, respectability. The variation in soil water storage showed oscillations between -53 mm and 35 mm. The accumulated actual evapotranspiration was 258 mm in the rainfed condition and 633 mm in the irrigated crop, regardless of the cultivation configuration. Irrigation depth and, rainfall events affected the variation of water storage and actual evapotranspiration. The water dynamics in the soil cultivated with forage cactus is more affected by the use of irrigation than by the intercropping with the sorghum.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

JARDIM; A. M. R. F.; SILVA; T. G. F.; SOUZA; L. S. B.; ALVES; H; K; M; N.; ARAÚJO; J. F. N.; SILVA; G. I. N.; SILVA, J. O. N. Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.2, p.357-365, dez 2019.