



Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura

Cleber Pereira Alves¹, Thieres George Freire da Silva^{1(*)}, Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves², Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim¹, Luciana Sandra Bastos de Souza¹, José Francisco da Cruz Neto² e João Pedro Alves de Souza Santos¹

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-mail: cleberp.alves@hotmail.com, thieres.silva@ufrpe.br, alexandremrfj@gmail.com, sanddrabastos@yahoo.com.br e peualves02@gmail.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 e zenetto.agronomia@gmail.com

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 26 de fevereiro de 2019

Aceito em 11 de março de 2020

Termos para indexação:

Opuntia stricta

Sorghum bicolor (L.) Moench

balanço de água no solo

semiárido

RESUMO

Objetivou-se neste estudo quantificar a evapotranspiração real (ET_r) e máxima da cultura (ET_c) e os coeficientes da cultura (K_c) do consórcio palma-sorgo. O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada, PE. O delineamento usado foi em blocos ao acaso, envolvendo cinco lâminas de irrigação (0, 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência - ET_o), sob sistema de cultivo consorciado palma-sorgo. O clone de palma forrageira utilizado foi a Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) e o cultivar de sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, a SF 15. O sorgo foi conduzido durante dois ciclos (planta e rebrota) compreendidos em um ciclo anual da palma. A quantificação da ET_r e da ET_c foi realizada através do resíduo do balanço de água no solo (BAS) a cada 14 dias, com a mensuração dos componentes hidrodinâmicos. As determinações da ET_c e do K_c foram realizadas com base na lâmina de 75% da ET_o. Os componentes do BAS foram submetidos à análise de regressão, sendo testados modelos polinomiais. Com exceção da variação do armazenamento de água no solo, os demais componentes hidrodinâmicos do solo cultivado sob sistema consorciado palma-sorgo respondem linearmente ao aumento de lâminas de irrigação. A evapotranspiração média diária do consórcio palma-sorgo é igual a 3,0 mm dia⁻¹, independentemente da lâmina de irrigação. Os coeficientes do consórcio palma-sorgo são iguais a 0,40, 0,68, 0,90 e 0,52 durante as fases I, II, III e IV de emissão de cladódios.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

O Nordeste brasileiro tem como característica marcante a presença do clima semiárido, o qual apresenta precipi-

tação pluvial média inferior a 800 mm ano⁻¹ e distribuição irregular, elevadas temperaturas do ar e baixa umidade relativa do ar que, em conjunto, causam déficit hídrico no solo em diversos períodos do ano (Silva et al., 2015a; Santos

et al., 2017). Essas condições dificultam a produção de forragem, principalmente em períodos de estiagem, fazendo-se necessário a implantação de culturas que apresentem tolerância e adaptabilidade às elevadas temperaturas do ar e baixos regimes pluviométricos, a fim de mitigar tais adversidades (Maia & Gurgel, 2013).

Como alternativa para atenuar os baixos rendimentos da produção de forragem no Semiárido, destaca-se o cultivo da palma forrageira (*Opuntia* spp. e *Nopalea* spp.), adaptada às condições edafoclimáticas da região que, devido suas características morfofisiológicas, é uma fonte relevante de suprimento alimentar para animais nos períodos secos do ano (Silva et al., 2014; Amorim et al., 2017).

Embora apresente características adaptativas e boa aceitabilidade pelos animais, o baixo teor de fibras da palma forrageira remete a necessidade de incrementar, em seu fornecimento, outras culturas que possibilitem suprir esse déficit (Santos & Santos, 2018). Dentre essas alternativas, o sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) é uma opção, por apresentar elevados teores de fibra, características bromatológicas satisfatórias, adaptações às condições adversas e alta produção de biomassa (Aguiar et al., 2015; Silva et al., 2017).

Assim, para maximizar os níveis de produtividade, o emprego adequado dos manejos de cultivos é de grande relevância, pois auxiliam no aumento gradativo da produção das culturas implantadas (Erkossa et al., 2018). Nesse contexto, a adoção de sistema consorciado e o uso de irrigação, possibilitam melhorias no desenvolvimento e produtividade das culturas (Diniz et al., 2017).

O cultivo de duas ou mais culturas de espécies diferentes simultaneamente em uma mesma área, denominado de sistema consorciado, consiste na redução, de forma pronunciável, dos riscos advindos da irregularidade das chuvas da região (Souza et al., 2011). Aliada a esta prática de consórcio, a irrigação supre a demanda hídrica das culturas, atingindo elevadas produtividades (Diniz et al., 2017).

Dentre os consórcios da palma forrageira, o mais empregado é a configuração palma-sorgo, entretanto, em condição de sequeiro. Há poucos estudos com a aplicação de lâminas de irrigação nesta configuração de cultivo. Sob esta condição, espera-se maximização da produção quando comparado ao sistema exclusivo irrigado, aumentando a eficiência do sistema de cultivo, como citado por Diniz et al. (2017) e Lima et al. (2018).

Porém, este resultado depende de dados de evapotranspiração e de coeficiente da cultura para melhoria do manejo de água, a qual afeta de forma significativa os fatores de produção, planejamento agrícola, outorga de água, dimensionamento e práticas de irrigação, desempenhando um papel de extrema importância na agricultura (Costa et al., 2017).

A evapotranspiração e os coeficientes da cultura em

monocultivos, normalmente são inferiores aos de cultivos consorciados. Porém, em consórcio palma-sorgo essa tendência pode não ser observada, por causa de efeito compensatório, onde a palma transpira durante a noite e o sorgo no período diurno (Lima et al., 2018).

Considerando a importância do consórcio palma-sorgo e as poucas informações existentes, objetivou-se neste estudo, quantificar a evapotranspiração real (ET_r) e da cultura (ET_c) e, os coeficientes da cultura (K_c), visando a melhoria do manejo de água deste sistema de produção.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no município de Serra Talhada, PE (latitude: 07° 59' 31" S, longitude: 38° 17' 54" W e altitude: 429m), no período de novembro de 2014 a novembro de 2015, referente ao quarto ciclo da palma, com um ciclo planta e uma rebrota do sorgo.

De acordo com a classificação de Köppen o clima característico da região é semiárido do tipo BSw_h, apresentando maiores índices pluviométricos nos meses mais quentes e seco nos meses mais frios (Alvares et al., 2013). A temperatura do ar apresenta variações mínimas e máximas de 20,1 a 32,9 °C, respectivamente, umidade relativa do ar em torno de 63% e precipitação pluvial média de 642 mm ano⁻¹ (Pereira et al., 2015a; Silva et al., 2015a). O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico franco arenoso (Silva et al., 2015a). As características físico-hídrica do solo são apresentadas na Tabela 1.

O clone de palma forrageira utilizada foi a Orelha de Elefante Mexicana (*O. stricta* (Haw.) Haw.), com espaçamento de 1,6 m entre linhas e 0,40 m entre plantas e a cultivar do sorgo (*S. bicolor* (L.) Moench) foi a SF 15, implantada a 0,25 m da palma forrageira. No caso da palma forrageira, as parcelas experimentais eram dispostas em quatro fileiras com 15 plantas cada, totalizando 60 plantas por parcela, das quais apenas 22 eram consideradas parcela útil. Para o sorgo considerou-se como parcela útil 20 plantas por metro linear, após o desbaste das plântulas.

O experimento foi disposto em delineamento em blocos ao acaso (DBC), com quatro repetições, utilizando-se um sistema de cultivo (consórcio palma-sorgo) e cinco lâminas de irrigação (sequeiro, 25, 50, 75 e 100% da evapotranspiração de referência - ET_o).

O monitoramento das variáveis meteorológicas ao longo do período experimental foi realizado a partir da estação meteorológica automática pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) localizada a 1,5 km da área experimental. Os dados obtidos foram utilizados no cálculo para determinação da ET_o, estimada pelo método Penman-Monteith parametrizado pela FAO (Allen et al., 1998).

A leitura do conteúdo de água no solo foi feita com um

Tabela 1. Características físico-hídrica de um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico de textura franco arenoso cultivado com palma forrageira (*Opuntia stricta*) clone Orelha de Elefante Mexicana, sob sistema consorciado com sorgo, em ambiente semiárido, Serra Talhada, PE.

Profundidades (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 H ₂ O	P		Ca	Al	Na	K
	mg dm ⁻³		cmolc dm ⁻³			
6,7	>4		3,25	0,0	1,52	0,45
	0,3					

* 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.

sensor capacitivo (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltd., Austrália), por meio de quatro tubos de acesso por tratamento, instalados a 0,70 m de profundidade. Os monitoramentos foram realizados três vezes por semana. A calibração do sensor foi realizada com base na metodologia descrita por Silva et al. (2015a).

Os componentes hidrodinâmicos do solo e a evapotranspiração da cultura (real - ETr; e máxima - ETC) foram obtidos por meio do balanço de água no solo. Os componentes foram calculados em intervalos de 14 dias, totalizando 21 períodos. Para isso, os componentes foram contabilizados considerando o volume de controle de 0,60 m (Z). O cálculo do balanço de água no solo foi baseado na conservação da massa da água em volume conhecido de solo (Libardi, 2005):

$$-ET = P + I \pm R \pm Q \pm \Delta A$$

em que: ET = evapotranspiração da cultura (mm), sendo ETr ou ETC; P = precipitação pluvial (mm); I = irrigação (mm); R = escoamento superficial (mm); Q = fluxo vertical de água no solo (mm); e, ΔA = variação de armazenamento de água no solo (mm).

A partir dos dados de ET foi estabelecida a razão ET/ETo. A ETC e os coeficientes da cultura (Kc) foram definidas com base nos dados coletados no tratamento da lâmina de irrigação de 75% da ETo, a qual obteve o melhor desempenho produtivo do consórcio (produtividade da palma forrageira mais do sorgo).

Para melhor aplicação dos valores de Kc foram delimitadas as fases fenológicas (fenofases) do consórcio com base na taxa do índice de área de cladódio (IAC) da palma

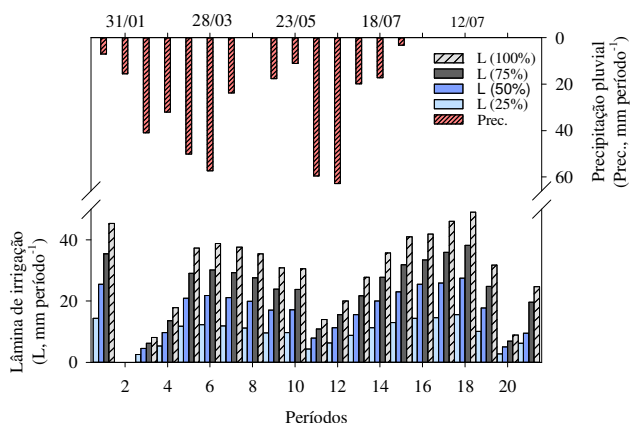
forrageira. O IAC foi obtido conforme metodologia proposta por Pinheiro et al. (2014). Os estádios fenológicos da palma forrageira considerou a mudança da fenofase I (F1) para a fenofase II (F2), correspondendo 50% do pico máximo da taxa de IAC; a fenofase III (F3) foi estabelecida quando se atingiu o pico máximo da taxa de IAC; a F3 foi finalizada quando o declínio da taxa de IAC correspondia a 25% do pico máximo, dando início a fenofase IV (F4). A duração de cada fenofase foi delimitada com base em Graus Dias Acumulados (GDA), estimado de acordo com Araújo Júnior et al. (2017), que assume 22 °C como temperatura base.

Os dados dos componentes do balanço de água no solo (BAS) foram submetidos à estatística descritiva e aos testes de normalidade e homocedasticidade. Após aplicou-se análise de regressão, sendo testados modelos polinomiais, adotando-se o modelo significativo pelo teste t com maior grau do coeficiente de determinação.

Resultados e discussão

As lâminas de água aplicadas no consórcio palma-sorgo e a variação sazonal da precipitação pluvial durante o período de estudo podem ser observadas na Figura 1. A lâmina de 0% da ETo, correspondente apenas à precipitação, totalizou 418 mm. As demais lâminas aplicadas, soma da precipitação e água proveniente da irrigação, com base em 25%, 50%, 75% e 100% da ETo, foram de 615; 765; 904 e 1041 mm, respectivamente. A variação dos valores de irrigação acompanha a tendência da demanda atmosférica, que são maiores nos períodos 17 e 18, onde a ETo foi mais elevada. As chuvas se concentraram entre os períodos 1 e 14 e no período 8 houve ausência de precipitação. Os maiores

Figura 1. Lâminas de irrigação por período aplicadas com base em percentuais da ETo (mm) e Precipitação pluvial (mm), em ambiente cultivado com palma forrageira consorciada com sorgo, no período de janeiro a novembro de 2015. Serra Talhada, PE.



valores ocorreram nos períodos 5 e 12 (65 e 63 mm, respectivamente) e os menores durante os períodos 10 e 15 (11 e 3 mm, respectivamente). Os eventos de chuva cessaram do período 16 ao 21.

A precipitação (Figura 1) teve comportamento atípico durante o período de avaliação (418,2 mm), inferior a normal climatológica local, 642 mm (Pereira et al., 2015b e

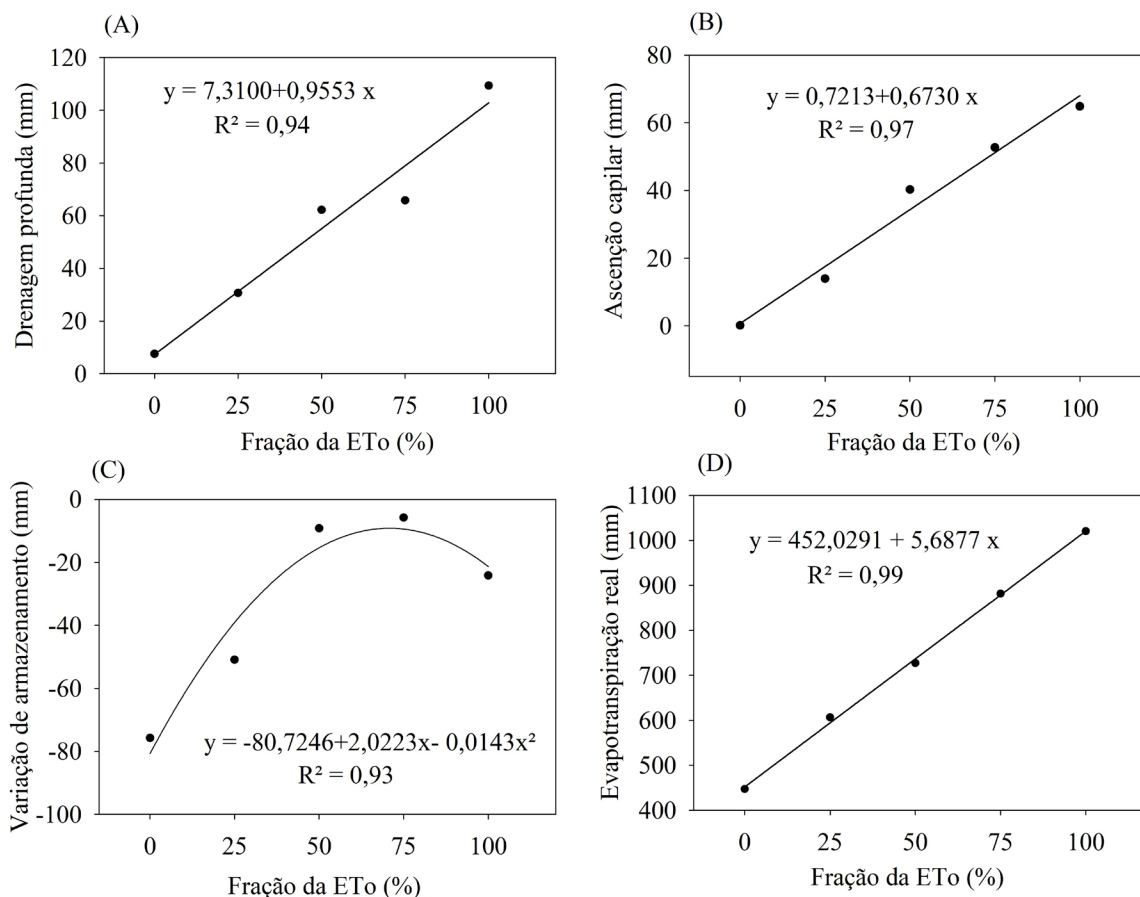
Silva et al., 2015a), apresentando redução de 35%. Em 2015 a redução das chuvas esteve relacionada ao fenômeno El Niño, o qual provoca eventos extremos (*i.e.*, cheias ou secas) em várias regiões do mundo (Marengo et al., 2016).

Os efeitos das lâminas aplicadas juntamente com a precipitação pluvial sobre os valores acumulados de drenagem profunda (DP), ascensão capilar (AC), variação de armazenamento (ΔA) e evapotranspiração real (ETr) durante o ciclo das culturas são apresentados na Figura 2.

Pode-se observar que apenas ΔA apresentou resposta quadrática ao acréscimo na lâmina de irrigação, tendo como pico máximo a lâmina de 75% da ETo. As demais variáveis estudadas do balanço de água no solo exibiram respostas lineares crescentes ao incremento da lâmina de irrigação, com a lâmina de 100% da ETo, proporcionando os maiores valores, devido a maior quantidade de água aplicada no tratamento. O escoamento superficial (R) não diferiu entre os tratamentos aplicados, apresentando um valor médio igual a 41,1 mm.

A drenagem profunda (Figura 2A) máxima obtida foi -109,4 mm (-5,23 mm dia⁻¹), com a aplicação da lâmina de 100% da ETo. Estudando o mesmo clone de palma forrageira em cultivo exclusivo, Silva et al. (2015a) (em condição de sequeiro) e Queiroz et al. (2016) (irrigado durante

Figura 2. Valores acumulados de drenagem profunda (mm) (A); ascensão capilar (mm) (B); variação de armazenamento (mm) (C); e evapotranspiração real (mm) (D) em função das lâminas de irrigação, durante o período experimental. Serra Talhada, PE.



o segundo ciclo produtivo), obtiveram valores de DP menores, -94,3 mm (-0,18 mm dia⁻¹) e -78,26 mm (-0,20 mm dia⁻¹), respectivamente. Essa diferença pode ser explicada pelo sistema de cultivo e da lâmina de água aplicada, promovendo maior DP. A DP é determinada por fatores ligados a disponibilidade hídrica, uso do solo e suas propriedades físicas (Bennett et al., 2013).

A utilização das lâminas crescentes (25, 50, 75 e 100% da ETo) elevou a DP em -23,1, -54,6, -58,24 e -101,8 mm, comparativamente com a lâmina de 0% da ETo, que corresponde ao cultivo em sequeiro, onde o valor de DP obtido foi igual a -7,3 mm (0,02 mm dia⁻¹). Esse pequeno valor de DP se deve ao volume de água recebido ser exclusivo da precipitação e aos maiores intervalos entre as precipitações, diferentemente dos demais tratamentos, que foram irrigados três vezes por semana. Além do volume de água aplicada em cada tratamento, galerias abertas pelo sistema radicular da cultura em maiores profundidades podem causar aumento gradativo da DP (Silva et al., 2015a).

A AC (Figura 2B), por sua vez, apresentou oscilação de 0,7 a 64,9 mm durante o período experimental, seguindo a mesma tendência da DP, apresentando maior valor para a lâmina de 100% e menor para a lâmina de 0% da ETo. Isso ocorreu devido à maior taxa evapotranspirativa, principalmente por meio da evaporação, fazendo com que houvesse deslocamento da água em sentido ascendente, elevando os valores de AC à medida que se aumentava a lâmina de irrigação. Morais et al. (2017), estudando a cultura da palma forrageira sob cultivo exclusivo, com aplicação de água em diferentes turnos de rega, não observaram valores de ascensão capilar durante o período de estudo, mesmo com a utilização da lâmina de 727 mm ano⁻¹. O sentido ascendente da água ocorre devido à presença de microporos no solo, que forma uma franja capilar, favorecendo o movimento da água das camadas mais profundas para as de menor profundidade, por meio da diferença de potencial, havendo o movimento da água de um ponto de maior potencial para o de menor (Libardi, 2005).

A variação de armazenamento de água no solo (Figura 2C) também foi alterada pela aplicação das diferentes lâminas de irrigação, uma vez que a mesma é dependente da quantidade de água aplicada, das condições meteorológicas, da topografia local, dos aspectos físicos do solo e da cobertura vegetal (Araújo Primo et al., 2015; Mei et al., 2019).

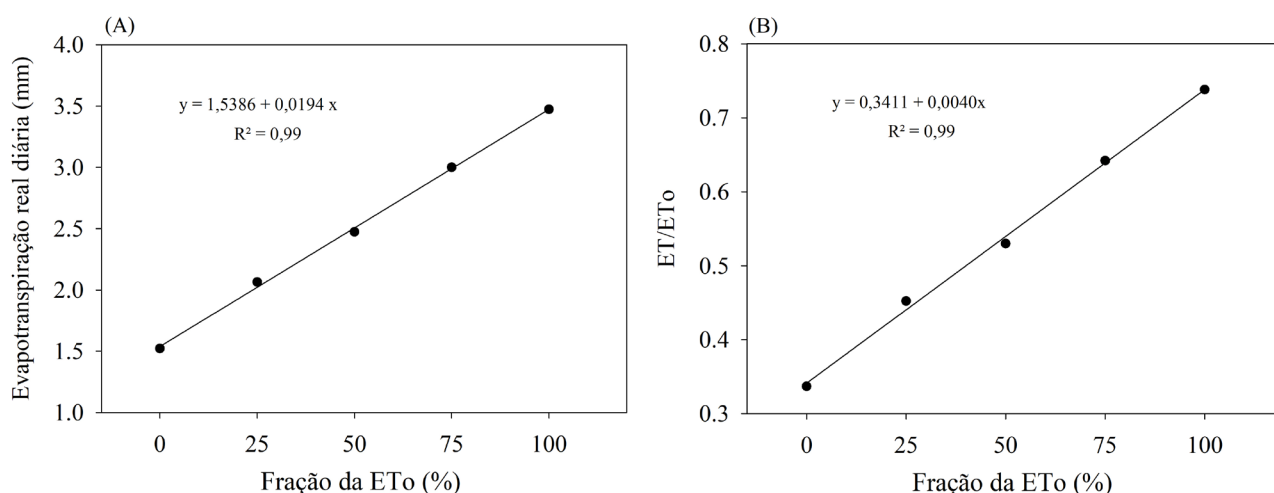
O valor máximo de ΔA encontrado refere-se à aplicação da lâmina de 75% da ETo (-5,7 mm / -0,02 mm dia⁻¹), havendo um decréscimo quando aplicada a lâmina de 100% da ETo. Silva et al (2015b) e Morais et al (2017), estudando a palma exclusiva, encontraram valores de ΔA superiores aos encontrados no presente estudo, 41,2 (0,08 mm dia⁻¹) e 30,2 mm (0,06 mm dia⁻¹), respectivamente. A diferença entre os valores está associada ao ciclo da cultura, pois neste estudo a palma forrageira encontrava-se em seu quarto

ciclo produtivo e, conseqüentemente, apresentava menor área de sombreamento, devido a menor emissividade de cladódios em relação aos ciclos iniciais. Além disso, havia a presença do sorgo, favorecendo a maior retirada de água do solo, por meio da transpiração. O decréscimo da ΔA na lâmina de 100% da ETo pode estar relacionado com o menor dossel da palma, uma vez que o excesso de água inibe o crescimento da cultura, o que promove maior incidência de radiação solar na superfície do solo, bem como a maior extração de água do solo pelo sorgo, resultando na redução no volume de água no solo. Já para a lâmina de 75% da ETo, observouse valores superiores de ΔA em relação às demais lâminas, supostamente por causa do maior dossel e melhor cobertura do solo, o que reduz a perda de água por evaporação. De acordo com Cui et al. (2018), em regiões semiáridas a ΔA é bastante dependente da entrada de água no solo e por sua saída através da evapotranspiração.

A evapotranspiração real acumulada (Figura 2D) também apresentou tendência crescimento linear com o aumento da lâmina de irrigação. Os maiores valores de ET são observados quando a disponibilidade hídrica é elevada, devido a existência da relação direta entre o volume de água aplicada e a evapotranspiração (Machado et al., 2015). Dessa forma, o maior valor de evapotranspiração foi 1020,3 mm, com a lâmina de 100% da ETo, seguida da de 75% (881,6 mm), 50% (726,8 mm), 25% (606,4) e 0% (446 mm), sendo este último ligeiramente superior a precipitação (418,2 mm), por causa da extração de água pelas plantas nas camadas abaixo do volume de controle (0,60 m). Valores superiores foram encontrados por Lima et al. (2018), em sistema consorciado palma-sorgo sob lâminas de irrigação (583 a 809 mm) com ET variando de 889 a 1070 mm. Silva et al (2015a), estudando a palma forrageira (*O. stricta* (Haw.) Haw.) sob cultivo exclusivo em condição de sequeiro, com precipitação pluvial igual a 1269,1 mm durante o período de análise (25 meses), obtiveram ET igual a 1214,2 mm.

Os valores de evapotranspiração diária e da razão ET/ETo (Figura 3) apresentaram a mesma tendência da evapotranspiração acumulada. Dessa forma, os maiores valores ocorreram na lâmina de 100% da ETo, com ET_r de 3,5 mm dia⁻¹ e razão ET/ETo de 0,74. Todavia, como já mencionado, a ET_c e K_c do consórcio palma-sorgo foram estabelecidos para a condição de 75% da ETo. Sob esta lâmina, as massas fresca e seca produzidos pelo sistema foram iguais a 80,83 e 14,86 t ha⁻¹, respectivamente, sendo superiores aos valores obtidos sob as demais condições de cultivo. Lima et al. (2018), estudando o consórcio palma-sorgo, sob diferentes lâminas de irrigação, obtiveram valor médio de 18,9 t ha⁻¹. O baixo valor encontrado no presente estudo, possivelmente está relacionado à idade da cultura palma, que se encontrava em seu quarto ciclo produtivo, e por causa do manejo de colheita adotado com a manutenção

Figura 3. Evapotranspiração real diária (mm) (A) e razão ET/ETo em função da aplicação de diferentes lâminas de irrigação no consórcio palma-sorgo. Serra Talhada, PE.

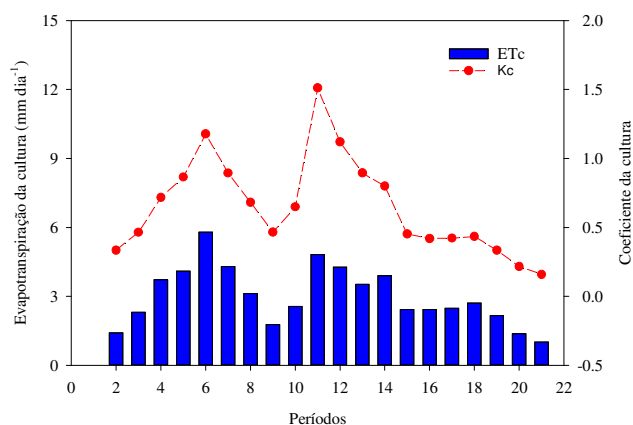


apenas do cladódio basal, o que reduz a longevidade do palmar, por causa da redução do número de gemas ativas para rebrota.

A variação dos valores de Kc seguiu a mesma tendência em relação a oscilação dos valores de ETc (Figura 4). Os maiores valores de ETc e Kc ocorreram no período 6 (28/03/2015 a 10/04/2015) e 11 (06/06/2015 a 19/06/2015), com 5,8 mm dia⁻¹ e 1,17 para o período 6 e 4,8 mm dia⁻¹ e 1,51 para o período 11. Esses valores estão relacionados à alta precipitação pluvial ocorrida nos períodos atual e anterior, a qual elevou a disponibilidade hídrica, favorecendo a evapotranspiração, devido ao aumento expressivo do componente evaporação, bem como por causa da maior área foliar do sorgo, o qual se encontrava no máximo crescimento, refletindo em maior transpiração.

Os menores valores foram observados nos períodos 2, 9, 20 e 21 com valores de ETc iguais a 1,4 mm dia⁻¹, 1,7 mm dia⁻¹, 1,4 mm dia⁻¹ e 1,0 mm dia⁻¹ e Kc iguais a 0,33, 0,46, 0,21 e 0,15, respectivamente. Esses baixos valores estão as-

Figura 4. Flutuação da evapotranspiração da cultura (ETc, mm dia⁻¹) e do coeficientes da cultura (Kc) do consórcio palma-sorgo. Serra Talhada, PE.



sociados à reduzida área foliar do sorgo, uma vez que, no período 2, a cultura estava na fase inicial, cerca de 5 cm de altura, nos períodos 9 e 20 foram feitas as colheitas e no período 21, tinha-se apenas a presença da palma. Nestes períodos, a ETc e o Kc variam muito pouco, logo, entende-se que as maiores taxas de evapotranspiração e dos dados de Kc se devem a contribuição da cultura do sorgo.

Desse modo, a média dos valores de evapotranspiração para o cultivo consorciado palma-sorgo foi igual a 3 mm dia⁻¹, independente do período avaliado, na lâmina de 75% da ETo. Este valor é maior do que o encontrado por Silva et al. (2015a), estudando a palma forrageira (*O. stricta* (Haw.) Haw.), sob monocultivo, com média igual a 2,43 mm dia⁻¹. O valor superior obtido no presente estudo quando comparada ao encontrado na literatura está relacionado com a presença do sorgo no cultivo consorciado, refletindo em maior área foliar, favorecendo a transpiração e, contribuindo para uma maior evapotranspiração do sistema. Murgu-Orrillo et al. (2016), estudando o milho sob monocultivo, obtiveram valor igual a 4,1 mm dia⁻¹, enquanto Santana et al. (2016), estudando a cultura do Tifiton-85 (metabolismo tipo C4) obtiveram 3,62 mm dia⁻¹. Estes resultados demonstram que mesmo com a adoção do consórcio palma-sorgo, a ETc foi inferior ao averiguado para outras espécies de metabolismo C4, o que se deve ao metabolismo da palma, a qual possui fixação do CO₂ no período noturno, quando a demanda evapotranspirativa é baixa (Silva et al., 2015b). Além disso, a cobertura viva do sorgo reduz de significativamente a evaporação do solo. De acordo com Rosas-Anderson et al. (2018), a evaporação do solo pode corresponder a 80% do total da ETc, mas depende do dossel cultura.

Para a condição de cultivo do presente estudo, sob a lâmina de 75% da ETo, a média do Kc foi igual a 0,64, valor esse superior aos encontrados por Lima et al. (2018),

que estudando a palma sob diferentes sistemas de cultivo e lâminas de irrigação, encontraram um valor médio de Kc igual a 0,50, independente da lâmina de irrigação e do sistema utilizado, e por Queiroz et al. (2016), que estudando a palma forrageira sob cultivo exclusivo, obtiveram um valor médio de Kc igual a 0,52. Quando comparado a culturas C4, o consórcio palma-sorgo apresentou valor médio de Kc inferior ao da cultura do tifton-85, citado por Santana et al. (2016), com valor médio de Kc igual a 1,07, e por Souza et al. (2015), que estudando a cultura do milho, em cultivo exclusivo, obtiveram valor médio de Kc igual a 0,89.

No presente estudo, os valores de Kc do consórcio palma-sorgo foram definidos para quatro fenofases da palma, estas de acordo com a taxa de índice de área do cladódio (IAC) em função dos graus dias acumulados (GDA), conforme delimitação demonstrada na Figura 5. As duas primeiras fenofases (F1 e F2), a planta apresenta uma taxa de IAC crescente, até atingir o pico, devido à emissão de cladódios. Depois, inicia-se a terceira fenofase (F3), sendo caracterizada pela expansão da área do cladódio, seguida da fenofase quatro (F4), com a estabilização do crescimento. A taxa de crescimento das culturas em sistema consorciado pode ser retardada devido à competição entre as culturas por luz, água e nutrientes, refletindo em menor taxa de crescimento (Souza et al., 2014; Brito et al., 2018), o que impacta nos valores de Kc. Amorim et al. (2017) relataram que a maior taxa de emissão de cladódios de primeira ordem é vista em cultivo exclusivo, quando comparada ao sistema palma-sorgo.

No presente estudo, verificou-se que a fenofase I, caracterizada por 50% do pico da taxa IAC teve duração de 92 GDA (26 dias). A fenofase II teve duração de 153 GDA (32 dias), esta ocorrendo até o pico de máxima taxa de IAC. Scalisi et al. (2016), estudando a palma forrageira sob cultivo irrigado e sequeiro, observaram que sob sistema ir-

rigado a cultura apresentou uma maior área de cladódio, quando comparada ao cultivo em sequeiro, demonstrando a influencia direta da lâmina de irrigação na expansão dos mesmos. Na fenofase III, a taxa de IAC apresentou declínio inicial, com duração de 357 GDA (70 dias). E a última fenofase constatada foi a IV, quando a taxa de IAC correspondeu a 25% do pico, com duração 921 GDA (237 dias). Scalisi et al. (2016) explicaram que a taxa de crescimento do cladódio é cessada quando a cultura atinge seu tamanho final. Assim, a duração das quatro fenofases da palma forrageira consorciada com sorgo foi de 1523 GDA.

Os valores de Kc para cada fenofase do cultivo consorciado palma-sorgo são apresentados na Tabela 2. Constatou-se que, para o sistema utilizado no presente estudo, o Kc médio da fenofase I foi de 0,40. Com o crescimento das culturas consorciadas, na fenofase II, houve acréscimo na evapotranspiração e, portanto, do Kc, com valor médio para a fase igual a 0,68. A maior demanda de água ao longo do ciclo foi constatada na fenofase III, apresentando um valor de Kc médio igual a 0,90. Na fenofase IV, a colheita do sorgo e a estabilização do crescimento da palma forrageira, causaram diminuição no valor de Kc para 0,52.

Conclusões

A maioria dos componentes hidrodinâmicos do solo cultivado sob sistema consorciado palma-sorgo responde linearmente e ascendente ao incremento de lâminas de irrigação, com exceção da variação do armazenamento de água no solo, que possui tendência polinomial.

A evapotranspiração média diária do consórcio palma-sorgo é igual a 3,0 mm dia⁻¹;

Os coeficientes do consórcio palma-sorgo são iguais a 0,40, 0,68, 0,90 e 0,52 durante as fases I, II, III e IV de emissão de cladódios.

Figura 5. Taxa de índice de área de cladódio (IAC) e delimitação das fenofases do sistema palma-sorgo em função dos graus dias acumulados, sob lâmina de 75% da ETo, em ambiente semiárido, durante o período experimental, no município de Serra Talhada, PE. F1 - Fenofase 1; F2 - Fenofase 2; F3 - Fenofase 3; F4 - Fenofase 4.

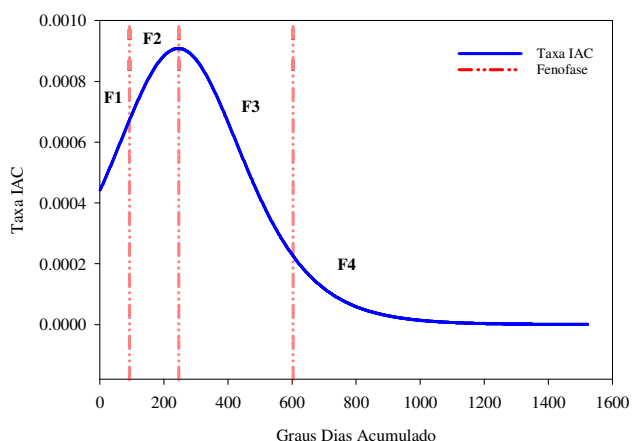


Tabela 2. Valores médios do coeficiente de cultura (Kc), em função da fenofase, para o sistema de cultivo consorciado palma-sorgo, sob a lâmina de 75% da ETo, em ambiente semiárido, Serra Talhada, PE.

Parâmetro	Fenofases			
	I	II	III	IV
Kc	0,40	0,68	0,90	0,52

Referências

- AGUIAR, M. do S. M. A.; SILVA, F. F.; DONATO, S. L. R.; RODRIGUES, E. S. O.; COSTA, L. T.; MATEUS, R. G.; SOUZA, D. R.; SILVA, V. L. Forage cactus in diets of confined dairy cattle: performance and economic viability. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 1013-1030, 2015. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p1013>
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 310p. Irrigation and Drainage, 56.
- 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>
- AMORIM, D. M.; SILVA, T. G. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, L. S. B.; MINUZZI, R. B. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 1, p. 62-71, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; QUEIROZ, M. G.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO, J. F. N.; SILVA, T. G. F. Temperatura base da palma forrageira em sistema de cultivo consorciado com o sorgo. **Anais... XX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e V Simpósio de Mudanças Climáticas e Desertificação do Semiárido Brasileiro**. Juazeiro/Petrolina, p. 139-143, 2017.
- 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>
- BENNETT, S. J.; BISHOP, T. F. A.; VERVOORT, R. W. Using SWAP to quantify space and time related uncertainty in deep drainage model estimates: A case study from northern NSW, Australia. **Agricultural Water Management**, v. 130, p. 142-153, 2013.
- BRITO, A. U. PUIATTI, M.; CECON, P. R.; PUIATTI, G. A. Agroecologic viability of mangarito intercropped with green corn in four seasons of association. **Revista Ceres**, v. 65, n. 4, p. 364-372, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.020>
- COSTA, J. A.; RODRIGUES, G. P.; SILVA, N. D.; LOPES SOBRINHO, O. P.; COSTA, L. D. A. Avaliação de métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para Alagoas. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, p. 173-179, 2017. <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26277>
- CUI, Z.; LIU, Y.; JIA, C.; HUANG, Z.; ELE, H.; HAN, F.; SHEN, W.; WU, G. L. Soil water storage compensation potential of herbaceous energy crops in semi-arid region. **Field Crops Research**, v. 223, p. 41-47, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.03.026>
- DINIZ, W. J. da 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 Semiárido Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724-733, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2017000900004>
- ERKOSSA, T.; WILLIAMS, T.; LAEKEMARIAM, F. Integrated soil, water and agronomic management effects on crop productivity and selected soil properties in Western Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 6, n. 4, p. 305-316, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.06.001>
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da Água no Solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, v. 61, 2005. 329 p.
- LIMA, L. R.; SILVA, T. G. F.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, C. A. A.; QUEIROZ, M. G.; TOBOSA, J. B. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 2, p. 113-118, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- MACHADO, C. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; ALVES, E. M.; SOUZA, E. S.; RIBEIRO, A. A.; FIRMINO, F. H. T. Fluxos de água no consórcio milho-pastagem na microbacia hidrográfica do Rio Mundaú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, p. 731-740, 2015. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p731-740>
- MAIA, A. L.; GURGEL T. C. N. P. Um olhar sobre a utilização de plantas forrageiras da caatinga como estratégia de convivência com a seca no alto oeste potiguar. **GEOTemas**, v. 3, n. 1, p. 31-43, 2013. <http://ojs.uern.br/index.php/geotemas/article/viewFile/556/358>
- MARENGO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Climanálise**, v. 3, p. 49-54, 2016. <http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/revista/pdf/30anos/marengoetal.pdf>
- MEI, X.; MA, L.; ZHU, Q.; LI, B.; ZHANG, D.; LIU, H.; ZHANG, Q.; GOU, Q.; SHEN, M. The variability in soil water storage on the loess hillslopes in China and its estimation. **Catena**, v. 172, p. 807-818, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.09.045>
- MORAIS, J. E. F.; SILVA, T. G. F.; QUEIROZ, M. G.; ARAÚJO, G. G. L.; MOURA, M. S. B.; ARAÚJO JUNIOR, G. do 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>
- MURGA-ORRILLO, H.; ARAÚJO, W. F.; RODRIGUEZ, C. A.; LOZANO, R. M. B.; SAKAZARI, R. T.; VARGAS, A. R. P. Influência da cobertura morta na evapotranspiração, coeficiente de cultivo e eficiência de uso de água do milho cultivado em cerrado. **Irriga**, v. 21, n. 2, p. 352, 2018. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n2p352-364>
- PEREIRA, L. S. ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4-20, 2015a. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>
- PEREIRA, P. C. SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; MORAIS, J. E. F.; SANTOS, D. C. Morfogenese da palma forrageira irrigada por gotejamento. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 184-195, 2015b. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n321rc>
- PINHEIRO, K. M.; SILVA, T. G. F.; CARVALHO, H. F. de S.; SANTOS, J. E. O.; MORAIS, J. E. F.; ZOLNIER, S.; SANTOS, D. C. Correlações do índice de área do cladódio com características morfológicas e produtivas da palma forrageira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 12, p. 939-947, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SILVA, S. M. S.; SOUZA, C. A. A.; CARVALHO, H. F. de S. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente semiárido. **Revista Irriga**, Edição Especial, p. 141-154, 2016. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- ROSAS-ANDERSON, P.; TAGGART, M. J.; HEITMAN, J. L.; MILLER, G. L.; SINCLAIR, T. R.; RUFTY, T. W. Partitioning between evaporation and transpiration from *Agrostis stolonifera* L. during light and dark periods. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 260, p. 73-79, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.05.018>
- SANTANA, M. J.; WACHSMUTH, R.; SGOBI, M. A.; ALMEIDA, F. DA S. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do tifton-85 em Uberaba, MG. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 39-50, 2016. <https://rv.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/829>
- SANTOS, M. A.; SANTOS, B. R. C. Silagem da palma forrageira consorciada com resíduos da mandioca e bagaço da cana-de-açúcar: Revisão. **PUBVET**, v. 12, p. 133, 2018.
- SANTOS, W. M.; SOUZA, R. M. S.; SOUZA, E. S.; ALMEIDA, A. Q.; ANTONINO, A. C. D. Variabilidade espacial da sazonalidade da chuva no semiárido brasileiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 368-376, 2017. <http://www.pubvet.com.br/uploads/596a50d4f91a34218ae0ba25e34ddad5.pdf>
- SCALISI, A.; MORANDI, B.; INGLESE, P.; BIANCO, R. L. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. **Environmental and Experimental Botany**, v. 122, p. 158-167, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- SILVA, J. R. I.; SOUZA, R. M. S.; SANTOS, W. A.; ALMEIDA, A. Q.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 2017. <https://www.scientiaplenua.org.br/sp/article/view/3767>

SILVA, L. M.; FAGUNDES, J. L.; VIEGAS, P. A. A.; MUNIZ, E. N.; RANGEL, J. H. A.; MOREIRA, A. L.; BACKES, A. A. Produtividade da palma forrageira cultivada em diferentes densidades de plantio. **Ciência Rural**, v.44, n.11, p. 2064-2071, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20131305>

SILVA, T. G. F.; ARAUJO PRIMO, J. T.; MORAIS, J. E. F.; DINIZ, W. J. S.; SOUZA, C. A. A.; SILVA, M. C. Crescimento e produtividade de clones de palma forrageira no semiárido e relações com variáveis meteorológicas. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 10-18, 2015b. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/3630>

SILVA, T. G. F.; ARAUJO PRIMO, J. T.; MOURA, M. S. B.; SILVA, S. M. S.; MORAIS, J. E. F.; PEREIRA, P. C.; SOUZA, C. A. A. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 7, p. 515-525, 2015a. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Crescimento e produtividade do milho e feijão-caupi em diferentes sistemas e disponibilidade hídrica no Semiárido. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 524-539, 2014. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233245>

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p. 715-721, 2011. <http://www.scielo.br/pdf/brag/v70n3/a30v70n3.pdf>

SOUZA, L. S. B. MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 151-160, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n417rc>

REFERENCIAÇÃO

ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F.; ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; JOSÉ FRANCISCO DA CRUZ NETO, J. F. C.; SANTOS, J. P. A. S. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.2, p.347-356, dez 2019.



Forage cactus-sorghum intercropping under irrigation depths: soil water balance and crop coefficient

Cleber Pereira Alves¹, Thieres George Freire da Silva^{1(*)}, Hygor Kristoph Muniz Nunes Alves², Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim¹, Luciana Sandra Bastos de Souza¹, José Francisco da Cruz Neto² and João Pedro Alves de Souza Santos¹

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-mail: cleberp.alves@hotmail.com, thieres.silva@ufrpe.br, alexandremrfj@gmail.com, sanddrabastos@yahoo.com.br and peualves02@gmail.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 and zenetto.agronomia@gmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 February 2019

Accepted 11 March 2020

Index terms:

Opuntia stricta

Sorghum bicolor (L.) Moench

soil water balance

semi-arid

ABSTRACT

The objective of this study was to quantify the crop actual (ET_r) and maximum (ET_c) evapotranspiration and the crop coefficients (K_c) of the forage cactus-sorghum intercropping. The experiment was conducted in the municipality of Serra Talhada, PE, Brazil. The experimental design was a randomized block design involving five irrigation depths (0, 25, 50, 75 and 100% of the reference evapotranspiration - ET_o) under a cactus forage-sorghum intercropping system. The forage cactus clone used was the Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta* (Haw.) Haw.) and sorghum, *Sorghum bicolor* (L.) Moench, cv. SF 15. Sorghum was harvested during two cycles (plant and regrowth) comprised in an annual forage cactus cycle. The quantification of ET_r and ET_c was carried out through the residual soil water balance (SWB) every 14 days, with the measurement of the hydrodynamic components. The ET_c and K_c measurements were performed based on the depth of 75%ET_o. The SWB components were submitted to regression analysis, and polynomial models were tested. With the exception of soil water storage variation, the other hydrodynamic components of the soil cultivated under a forage cactus-sorghum intercropping system respond linearly to the increase of irrigation slides. The average daily evapotranspiration of the forage cactus-sorghum intercropping is equal to 3.0 mm day⁻¹, regardless of the irrigation depth. The crop coefficients of the forage cactus-sorghum intercropping are equal to 0.40, 0.68, 0.90 and 0.52 during the phenophases I, II, III and IV.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

ALVES, C. P.; SILVA, T. G. F.; ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; JOSÉ FRANCISCO DA CRUZ NETO, J. F. C.; SANTOS, J. P. A. S. Consórcio palma-sorgo sob lâminas de irrigação: balanço de água no solo e coeficientes da cultura. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.2, p.347-356, dez 2019.