



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira

Elaine Cristina Batista da Silva¹, José Romualdo de Sousa Lima², Antonio Celso Dantas Antonino³, Airon Aparecido Silva de Melo⁴, Eduardo Soares de Souza⁵, Rodolfo Marcondes Silva Souza⁶, Vanilson Pedro da Silva⁷, Cássio Lopes de Oliveira⁷

¹ Mestre em Produção Agrícola, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. elaineagronomia@gmail.com.

² Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Professor Associado II, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. romualdo.lima@ufpe.br (autor para correspondência).

³ Dr. em Física do Solo, Professor Titular, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, CEP 50740-540 Recife, Pernambuco. (81) 2126-7973. acda@ufpe.br

⁴ Dr. em Zootecnia, Professor Associado IV, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. aironuas@hotmail.com.

⁵ Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Professor Associado II, Unidade Acadêmica de Serra Talhada (UAST), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Fazenda Saco, s/n, CEP 56900-000, Serra Talhada, Pernambuco. eduardo.souza.rd@gmail.com

⁶ Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Pesquisador INCT-ONDACBC, Departamento de Energia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Prof. Luiz Freire, 1000, CEP 50740-540 Recife, Pernambuco. (81) 2126-7973. rsouza@lavabit.com

⁷ Mestrando em Produção Agrícola, Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG), Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE), Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (87) 3764-5529. cassio.agronomo@yahoo.com; vanilsonpedrosilva236@gmail.com

Artigo recebido em 06/04/2020 e aceito em 16/07/2020

RESUMO

A irrigação suplementar pode ser uma técnica promissora para o aumento da produção da palma forrageira, contudo, depende da evapotranspiração (ET). A irrigação e a ET estão estritamente relacionados com a produtividade das culturas (P), de modo que a relação entre P e ET resulta na eficiência no uso de água (EUA). Assim, objetivou-se avaliar P, ET e EUA em palma, sob irrigação suplementar. O experimento foi conduzido em campo, com palma submetida a irrigação por gotejamento com intervalos de reposição de água no solo de 7 (T7), 14 (T14) e 21 (T21) dias, mais o tratamento de sequeiro (T0), em blocos ao acaso, com 4 repetições. O crescimento da palma foi monitorado por meio da medição da largura (LC), do comprimento (CC), da área (AC), do índice de área (IAC) e da espessura dos cladódios (EC). Ao longo do ciclo da cultura também foram monitoradas as condições meteorológicas. A ET foi obtida como termo residual da equação do balanço hídrico. Os tratamentos não tiveram efeitos significativos nas variáveis biométricas e na produtividade da palma forrageira. A menor ET foi obtida no T0 (406,1 mm total e 1,7 mm d⁻¹), sendo que o T7 apresentou a maior ET (664,4 mm total e 2,8 mm d⁻¹). A maior EUA (392,8 kg MF ha⁻¹ mm⁻¹) foi obtida no tratamento sob sequeiro (T0). Com base na produtividade e na EUA da palma forrageira, recomenda-se, para as condições do município de Garanhuns, que o cultivo da mesma seja realizado sob condições de sequeiro.

Palavras-chave: Umidade do solo; evapotranspiração; balanço hídrico.

Effect of the Supplemental Irrigation on Yield and Water Use Efficiency of Cactus Pear

ABSTRACT

The supplementary irrigation may be a promising technique to increase forage cactus yield, however, it depends of evapotranspiration (ET). Irrigation and ET are closely related to crop yields (P), so the relationships between P and ET result in water use efficiency (WUE). Thus, the objective was to evaluate P, ET and WUE in cactus pear, under supplementary irrigation. The experiment was conducted under field conditions with cactus pear submitted to drip irrigation with soil water replacement intervals of 7 (T7), 14 (T14) and 21 (T21) days, plus the rainfed treatment (T0), in blocks with 4 replicates. Cactus pear growth, by the measurements of width (WC), length (LC), area (CA), area index (CAI) and thickness of cladodes (CD), was monitored. Meteorological conditions along the cactus pear cycle were monitored. The ET was quantified by the soil water balance method. The treatments had no effects on the biometric

variables and yield of cactus pear. ET was lower in T0 (406.1 mm total and 1.7 mm day⁻¹), with T7 showing the highest values of ET (664.4 mm total and 2.8 mm day⁻¹). It was observed that the largest WUE (392.8 kg MF ha⁻¹ mm⁻¹) was in the rainfed treatment (T0). On the basis of the yield and WUE of the cactus pear, it is recommended, for the conditions of the municipality of Garanhuns that the cultivation of the same be carried out under conditions of rainfed.

Key words: Soil moisture; evapotranspiration; water balance.

Introdução

O Nordeste brasileiro ocupa uma área de aproximadamente 1.600.000 km², equivalendo a 18% do território nacional, sendo dividida em quatro sub-regiões: Meio-Norte, Zona da Mata, Agreste e Sertão (Pereira Filho e Bakker, 2010). O Agreste está numa zona de transição entre a Zona da Mata e o Sertão (Ribeiro et al., 2016), e por isso apresenta tanto vegetação de mata atlântica quanto de Caatinga. Os solos dessa região são bastante variáveis em profundidade, teor de argila, fertilidade, etc., encontrando-se desde Latossolos, Luvisolos, Neossolos (Flúvicos, Regolíticos, Quartzarênicos), Argissolos, Cambissolos, Planossolos, etc (Silva et al., 2000).

O clima no Agreste também é bem diversificado, encontrando-se desde clima semiárido até clima tropical (Alvares et al., 2014). Esta variação climática está relacionada, dentre outros aspectos, com a variação de altitude, devido a existência de planaltos e chapadas (como o Planalto da Borborema), os quais contribuem para temperaturas mais amenas e precipitações mais elevadas que o Sertão.

Na região agreste encontra-se também os chamados “Brejos de Altitude”, que são áreas de exceção dentro do domínio do nordeste semiárido (Lins, 1989). Os brejos de altitude, quando comparados com os seus entornos semiáridos, possuem condições privilegiadas quanto à umidade do solo e do ar, temperatura e cobertura vegetal (Tabarelli e Santos, 2004).

Na região agreste de Pernambuco as principais culturas alimentícias são a mandioca, o feijão e o milho, os quais são cultivados sob condições de sequeiro. Devido à alta variabilidade da precipitação pluvial, em alguns anos os requerimentos de água para as culturas são obtidos, e em outros anos, a falta de chuva pode levar a perda completa da produção (Lima et al., 2018a).

Essa região também é uma importante bacia leiteira do estado de Pernambuco (Farias et al., 2000), tendo a palma (*Opuntia ficus-indica*; *Nopalea cochenillifera*) como uma das principais culturas forrageiras cultivadas na região (Menezes et al., 2005; Freire et al., 2018).

As atividades agropecuárias devem ser planejadas para que o sistema de produção seja o mais sustentável possível em qualquer condição

climática. Para o Agreste, é essencial o uso de espécies de plantas adaptadas, como as de mecanismos fotossintético tipo CAM, que têm como principal vantagem o fechamento dos estômatos durante o dia, o que reduz as perdas excessivas de água por transpiração (Scalisi et al., 2016; Taiz et al., 2017; Léo et al., 2019).

A palma forrageira é considerada uma das melhores opções para a produção de forragem em sistema de sequeiro no semiárido, com capacidade de atingir altas produtividade, sendo a cultura mais estável ao longo do tempo (Menezes et al., 2005). A área de cultivo da palma no Brasil é aproximadamente 600 mil hectares predominantemente no Nordeste, devido a sua adaptação a regiões semiáridas (Moura et al., 2011; Dubeux Júnior et al., 2013).

Apesar desta boa adaptabilidade no semiárido do nordeste, alguns estudos vêm mostrando que quando a precipitação pluvial local não atinge os níveis considerados ideais, faz-se necessário o uso de irrigação suplementar para atender as necessidades hídricas da palma forrageira, sendo uma ótima opção para incrementar o rendimento da cultura, onde promove melhorias em características relacionadas à sua produtividade, como crescimento da planta, número de cladódios e índice de área do cladódio (Queiroz et al., 2015; Amorim et al., 2017; Barbosa et al., 2017a; Cruz Neto et al., 2017; Silva et al., 2017a; Lima et al., 2018b; Fonseca et al., 2019).

O manejo adequado da irrigação requer o conhecimento da evapotranspiração da cultura, que varia em função da disponibilidade de água no solo; ambos estritamente relacionados com o rendimento das plantas (Machado et al., 2016; Ribeiro et al., 2018). A evapotranspiração (ET) pode ser obtida por diversos métodos, desde de medições diretas, a partir de lisímetros (Oberholzer et al., 2017; Jayaram et al., 2018; Xu et al., 2018; Munitz et al., 2019; Rafi et al., 2019) ou de técnicas de correlação dos turbilhões - Eddy Covariance (Machado et al., 2016; Silva et al., 2017b; Ribeiro et al., 2018; Campos et al., 2019; Marques et al., 2020; Wang et al., 2020), a medições indiretas, como os dos balanços de energia – razão de Bowen (Lima et al., 2017; Buttar et al., 2018; Vanomark et al., 2018; Pozníková et al., 2018) e hídrico (Souza

et al., 2013; Souza et al., 2015; Liu et al., 2016; Tie et al., 2018; Hussain et al., 2019; Thapa et al., 2020). Vários pesquisadores propuseram o método do balanço hídrico no solo para estimar a ET na palma forrageira (Silva et al., 2015; Barbosa et al., 2017a; Barbosa et al., 2017b; Morais et al., 2017; Pereira et al., 2017; Lima et al., 2018b), devido o mesmo apresentar resultados confiáveis e ter menor custo que os métodos do balanço de energia e da correlação dos turbilhões.

Há quem ratifique que a adoção de uma prática de manejo, como a irrigação, deve ser estabelecida por meio da avaliação dos seus benefícios no sistema de produção (Cruz Neto et al., 2017). Assim, um indicador agrometeorológico muito usado para esse fim é a eficiência no uso de água (EUA).

A EUA relaciona a captura de carbono, por meio do processo de fotossíntese, e a perda de água (Tang et al., 2014), ou seja, é a relação entre a produção da cultura e a sua ET (Katerji e Mastroianni, 2009). A EUA é um importante indicador de como reage o metabolismo dos ecossistemas terrestres (Tang et al., 2014), quer sejam agrícolas ou florestais.

Assim, valores mais elevados de EUA são desejáveis, uma vez que estão associados com o aumento da produtividade e/ou com a redução das perdas de água das culturas.

Em face das mudanças climáticas projetadas para a região nordeste do Brasil, com redução da precipitação e intensificação dos eventos extremos como as secas, são necessárias pesquisas que relacione a ET com a produtividade, ou seja, quantifiquem a EUA, das principais culturas forrageiras da região, como a palma.

Na literatura existem diversos trabalhos que mediram o efeito da irrigação suplementar na produtividade, na ET e/ou na EUA de palma forrageira (Barbosa et al., 2017b; Cruz Neto et al., 2017; Morais et al., 2017; Pereira et al., 2017; Fonseca et al., 2019), contudo todas essas pesquisas foram realizadas em região de clima semiárido, com condições mais secas e quentes que a região agreste ou que os brejos de altitude de Pernambuco.

Desse modo, a hipótese da pesquisa é que

a irrigação suplementar na palma forrageira cultivada sob condições edafoclimáticas de brejo de altitude, não se faz necessário mesmo em ano de baixa restrição hídrica.

Com isso, o objetivo desse trabalho foi determinar a produtividade, a evapotranspiração (ET) e a eficiência no uso de água (EUA) de palma forrageira, sob irrigação suplementar no agreste pernambucano.

Material e métodos

Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido sob condições de campo, na Fazenda Didática da Unidade Acadêmica de Garanhuns, da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UAG/UFPE), sob as coordenadas 08°53'25" S; 36°29'34" O, com altitude média de 896 m.

O clima é tropical chuvoso, com verão seco; a estação chuvosa se inicia no outono e engloba o inverno e o início da primavera. A temperatura média anual é de 21 °C e a precipitação pluvial média anual é de 897 mm, sendo os meses mais chuvosos: maio, junho, julho e agosto (Borges Júnior et al., 2012). O solo da área experimental é um Argissolo Amarelo (Silva et al., 2000).

Foi realizada a caracterização física do solo, nas camadas de 0-15 cm e de 15-30 cm, constando de análise textural pelo método do densímetro; densidade do solo (DS), pelo método do anel volumétrico e porosidade total (PT), pela relação entre DS e densidade de partículas; capacidade de campo (CCam) e ponto de murcha permanente (PMP), usando-se o aparelho Extrator de Richards, nas pressões de 0,01 e 1,5 MPa, respectivamente. Essas características físicas do solo, que estão apresentadas na Tabela 1, foram determinadas de acordo com metodologias contidas em Teixeira et al. (2017).

Condução do experimento e design experimental

A área experimental foi preparada em janeiro de 2017, onde foram realizadas aração e gradagem para plantio da palma forrageira cv. Orelha de Elefante Mexicana (OEM). O plantio dos cladódios foi efetuado em fevereiro de 2017, enterrando-se 50% de sua área no solo, com espaçamento de 1,5 m entre fileiras e 0,4 m entre cladódios.

Tabela 1. Granulometria (areia, silte e argila), classificação textural, umidade na capacidade de campo (CCam) e no ponto de murcha permanente (PMP), densidade do solo (DS) e porosidade total (PT) do Argissolo Amarelo usado no experimento em Garanhuns – PE.

Camada	Areia	Silte	Argila	Classificação textural	CCam	PMP	DS	PT
cm	----- % -----				----- cm ³ cm ⁻³ -----			
0-15	74,6	4,5	20,9	Franco argilo-arenosa	0,265	0,150	1,44	0,455
15-30	68,7	8,0	23,3	Franco argilo-arenosa	0,271	0,158	1,47	0,443

Depois do primeiro ciclo (12 meses) foi feito a primeira colheita (fevereiro de 2018), mantendo-se somente o cladódio basal. Após 3 meses (maio de 2018), quando ocorreram a brotação de novos cladódios, iniciaram-se as medidas biométricas na palma forrageira. As medidas se encerraram com a nova colheita da palma (fevereiro de 2019). Os dados do 2º ciclo (fevereiro de 2018 a fevereiro de 2019) são os que foram analisados nesta pesquisa.

Durante o período experimental foi feito o controle de ervas daninhas manualmente usando-se enxada. A adubação foi efetuada conforme recomendações para a cultura da palma forrageira (IPA, 2008).

O experimento foi disposto em delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos consistiram da aplicação de irrigação suplementar (lâmina de 7,5 mm), com intervalos de reposição de água no solo de 7 (T7), 14 (T14) e 21 (T21) dias, mais o tratamento de sequeiro (T0). A irrigação foi aplicada via sistema de gotejamento, com gotejadores com vazão de 1,15 L h⁻¹.

Análises biométricas da palma forrageira

As análises biométricas consistiram nas medições de espessura (EC, mm), comprimento (CC, cm) e largura (LC, cm) dos cladódios, realizadas em um intervalo de aproximadamente 30 dias.

As medições de CC e LC foram realizadas com o auxílio de uma fita métrica, enquanto que a de EC foi obtida com o auxílio de um paquímetro no terço médio do cladódio.

A partir dos dados de CC e LC foram calculados os valores de área do cladódio (AC, cm²), para a palma forrageira OEM conforme Silva et al. (2014), por meio da equação:

$$AC = \frac{0,7086 * 1e^{(0,000045765 * CC * LC)}}{0,000045765} \quad (1)$$

Em seguida, a AC permitiu a obtenção do índice de área do cladódio (IAC, m² m⁻²) de acordo com Pinheiro et al. (2014):

$$IAC = \left(\frac{\sum_{i=1}^n AC}{10000} \right) / (E1 * E2) \quad (2)$$

sendo 10.000 o fator de conversão de cm² para m²; E1 e E2 são os espaçamentos entre linhas e entre plantas, respectivamente (1,9 m x 0,4 m).

Logo após a obtenção do IAC, foi possível estimar a produtividade de matéria fresca (MF) da palma forrageira, de acordo com Silva et al. (2014):

$$MF = \frac{258,5376}{(1 + \exp(-(IAC - 0,7061) / 0,2666))} \quad (3)$$

Variáveis meteorológicas

As condições meteorológicas ao longo do ciclo da palma forrageira foram monitoradas por meio de uma estação meteorológica automática, localizada a aproximadamente 50 m da área experimental. Essa estação estava equipada com um sistema de aquisição que permite o armazenamento dos dados medidos por sensores de temperatura (t, °C), precipitação pluvial (P, mm), e radiação solar (Rg, W m⁻²).

Determinação da ET e da EUA

Para a determinação dos componentes do balanço hídrico foram instalados sensores automatizados para medição da umidade volumétrica do solo (modelo CS 616, Campbell Scientific Inc.) na camada de 0-30 cm. As leituras foram realizadas a cada minuto, com o valor médio

de trinta minutos armazenado num sistema de aquisição de dados.

O balanço hídrico em determinado volume de solo, num certo período de tempo (Souza et al., 2013; Souza et al., 2015), é descrito pela equação:

$$\Delta A = P + I + AC - D - R - ET \quad (4)$$

sendo ΔA a variação de armazenamento de água no perfil de solo; P a precipitação pluvial; I a irrigação; AC a ascensão capilar; D a drenagem profunda; R o escoamento superficial; e ET a evapotranspiração. Todos os termos dessa equação estão em mm.

A irrigação foi contabilizada de acordo com os diferentes tratamentos (T7, T14 e T21), sendo que no T0, a mesma foi nula, pois foi o tratamento de sequeiro.

A precipitação pluvial foi monitorada por meio de um pluviógrafo instalado na estação meteorológica automática.

O armazenamento acumulado de água no solo foi calculado pela regra do trapézio, considerando-se que as medidas foram realizadas em intervalos igualmente espaçados, desde a superfície ($z = 0$) até a profundidade de interesse ($z = L$).

A variação no armazenamento de água no perfil de solo (ΔA) foi determinada pela diferença dos valores do armazenamento de água do perfil nos tempos inicial e final de cada período considerado, sendo expressa pela seguinte equação:

$$\Delta A = [\theta_{(f)} - \theta_{(i)}]L = A_f - A_i \quad (5)$$

sendo A_f e A_i os armazenamentos acumulados no perfil de solo (L) e obtidos a partir das umidades volumétricas de água no solo final (θ_f) e inicial (θ_i), respectivamente.

O fluxo total de água (Q), ou seja, as perdas por drenagem ($-Q$) ou os ganhos por ascensão capilar ($+Q$), de água da zona radicular por meio do limite inferior do volume de solo estudado ($z = 30$ cm), respectivamente, foram consideradas nulas, uma vez que a umidade do solo durante todo período experimental não foi superior aos valores da capacidade de campo e devido na área não se ter um lençol freático próximo da superfície, respectivamente.

O escoamento superficial foi considerado nulo, devido a área ter topografia plana.

Desse modo, a ET foi obtida como termo residual, de acordo com Thapa et al. (2020):

$$ET = P + I - \Delta A \quad (6)$$

Com os dados de MF (em t ha⁻¹) e de ET (em mm), obteve-se a EUA (t MF ha⁻¹ mm⁻¹) por meio da equação:

$$EUA = \frac{MF}{ET} \quad (7)$$

Análise estatística

Os dados da análise biométrica da palma, da produtividade, da ET e da EUA foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, caso fosse significativo, foi realizado o teste de Tukey, ao nível de significância de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico Software R (v.3.4.3).

Resultados e discussão

Variáveis meteorológicas e umidade do solo

A precipitação pluvial, a radiação solar global (R_g), bem como as temperaturas máxima, mínima e média durante o período experimental são apresentadas na Figura 1.

A precipitação pluvial ocorrida durante o período experimental foi de 511,2 mm (Figura 1a), o que caracteriza esse período como sendo abaixo da média histórica, uma vez que a normal climatológica do município de Garanhuns, no período de 1981-2010, é de 918,3 mm (INMET, 2020). No período de maio a fevereiro, geralmente, ocorre uma precipitação de 725 mm, dos quais 639 mm ocorrem de maio a dezembro e 86 mm de janeiro a fevereiro (Borges Júnior et al., 2012; INMET, 2020).

O período mais chuvoso foi de maio a agosto de 2018, o que está de acordo com a distribuição normalmente esperada para o município de Garanhuns (Borges Júnior et al., 2012; INMET, 2020). Em todo período experimental tiveram chuvas acima de 10 mm em apenas 09 dias, com os maiores valores (43,6 mm; 28,0 mm e 24 mm) ocorrendo nos meses de dezembro de 2018 e janeiro de 2019. Esse comportamento das chuvas, em termos de distribuição, é o normalmente esperado para Garanhuns, sendo que no período chuvoso ocorrem precipitações constantes e de baixa intensidade e

no período do verão, ocorrem chuvas de alta intensidade.

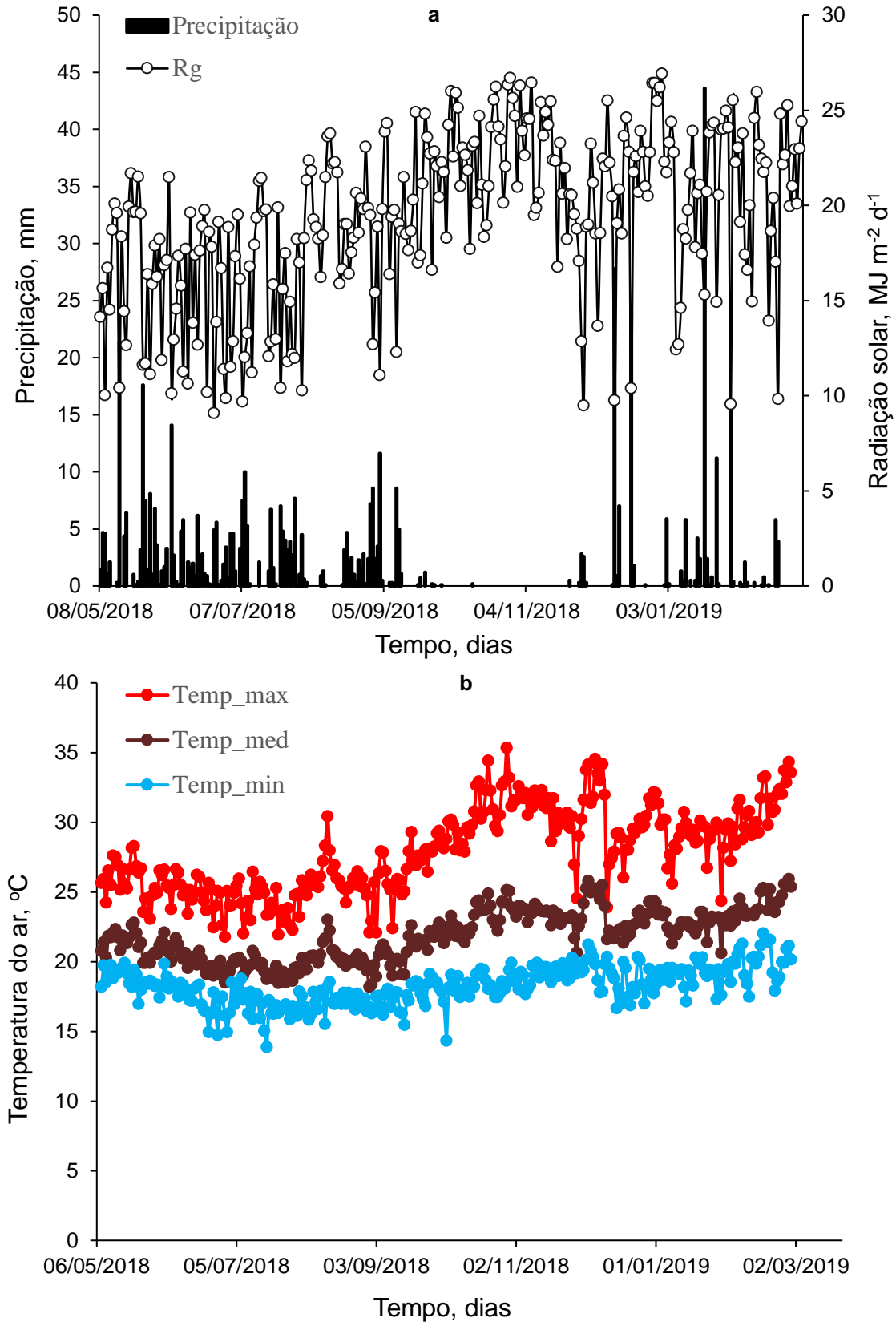


Figura 1. Precipitação pluvial e radiação solar global (a), temperatura máxima, média e mínima do ar (b) durante o período de condução do experimento em Garanhuns-PE.

Em relação a radiação solar global (Rg), observa-se que a mesma seguiu uma distribuição sazonal, com os valores variando de 9 a 27 MJ m⁻² d⁻¹, sendo o valor médio de 19,3 MJ m⁻² d⁻¹ (Figura 1a). Os valores mais elevados ocorreram no período de setembro de 2018 a janeiro de 2019, o que coincide com os períodos de menores ou nenhuma precipitação pluvial (época seca), e os menores valores de Rg ocorreram na época chuvosa. Gondim et al. (2015) mediram a Rg em área cultivada com capim braquiária na microrregião de Garanhuns e encontraram que os valores de Rg variaram de 6 a 27 MJ m⁻² d⁻¹, com valor médio de 17,7 MJ m⁻² d⁻¹, os quais são similares aos encontrados nessa pesquisa. Esses autores também encontraram uma sazonalidade da Rg, com os menores valores ocorrendo na época chuvosa e os maiores na época seca.

No Rio Grande do Norte, Marques et al. (2020) encontraram valores de Rg variando de 11,4 a 27,6 MJ m⁻² d⁻¹, com valor médio de 22,0 MJ m⁻² d⁻¹. Esses valores são mais elevados, devido a pesquisa ter sido realizada numa área de clima semiárido, portanto, uma região mais quente e seca que a dessa pesquisa.

A temperatura máxima, média e mínima do ar durante o período experimental são apresentadas na Figura 1b. Observa-se que a temperatura máxima variou de 22 a 35 °C, a mínima de 14 a 22 °C e a média de 18 a 26 °C. Os períodos de maiores temperaturas máxima, média e mínima foram de setembro de 2018 a fevereiro de 2019, enquanto as menores temperaturas ocorreram nos meses de julho e agosto de 2018. Do mesmo modo que a Rg, a temperatura do ar também mostrou um padrão sazonal. Borges Júnior et al. (2012) e Gondim et al. (2015) encontraram valores similares ao dessa pesquisa para as temperaturas máxima, média e mínima, bem como o mesmo comportamento sazonal, nos municípios de Garanhuns e São João, respectivamente, corroborando os dados dessa pesquisa.

Tendo em vista os valores das temperaturas máxima, mínima e média encontrados nessa pesquisa, pode-se dizer que nossa área experimental está dentro da faixa de temperatura considerada ideal para o cultivo de palma forrageira, uma vez que Davis et al. (2019) afirmam que a temperatura média ótima para o desenvolvimento da palma forrageira, *Opuntia ficus-indica*, é de 25 °C para o período diurno e de 15°C no período noturno, sendo que essa espécie tolera temperaturas variando de 7 até 65 °C. Assim,

pelos dados desses autores, os valores de temperatura do ar encontrados em nossa pesquisa estão dentro do intervalo para um bom desenvolvimento da palma forrageira.

Moura et al. (2011), realizaram o zoneamento agroclimático da palma para o estado de Pernambuco, e encontraram que a mesorregião do Agreste Pernambucano é a que apresenta as melhores condições para o cultivo da palma forrageira.

A precipitação pluvial, o armazenamento de água no solo na camada de 0-30 cm e a irrigação de cada tratamento são apresentadas na Figura 2.

Observa-se que, independentemente do tratamento de irrigação, o armazenamento de água no solo seguiu as variações da precipitação pluvial. No período mais chuvoso, de maio a setembro de 2018, o tratamento sem irrigação (T0), foi o que apresentou os maiores valores diários de o armazenamento de água no solo. Contudo, na época mais seca, o tratamento com irrigação a cada sete dias (T7) é o que apresenta maior valor de o armazenamento de água no solo, com os demais tratamentos com irrigação (T14 e T21) apresentando valores próximo ao sem irrigação (T0).

No tratamento T0 o armazenamento de água no solo variou de 39,3 a 80,1 mm com valor médio de 62 mm. No tratamento T7 variou de 47,7 a 68,7 mm, com valor médio de 55,8 mm; já no tratamento T14 o valor máximo foi de 63,9 mm, com mínimo de 35,1 mm e valor médio de 48 mm, enquanto no T21 os valores máximo, mínimo e médio foram 55,2; 34,0 e 42,4 mm, respectivamente.

Contudo, não foram encontradas diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os valores de variação do armazenamento de água nos diferentes tratamentos (Figura 3).

Carvalho et al. (2017) avaliando a umidade volumétrica do solo em palma forrageira OEM, num Argissolo Vermelho-Amarelo em Serra Talhada-PE, sob distintas condições de irrigação, encontraram que a umidade do solo variou de 0,176 a 0,191 cm³ cm⁻³ e sem diferença significativa entre os diferentes tratamentos de irrigação, corroborando os dados encontrados nessa pesquisa.

Lima et al. (2018b) encontraram em palma forrageira irrigada nas condições de Serra Talhada que as maiores lâminas de água (irrigação mais chuva) tiveram efeito significativo na variação do

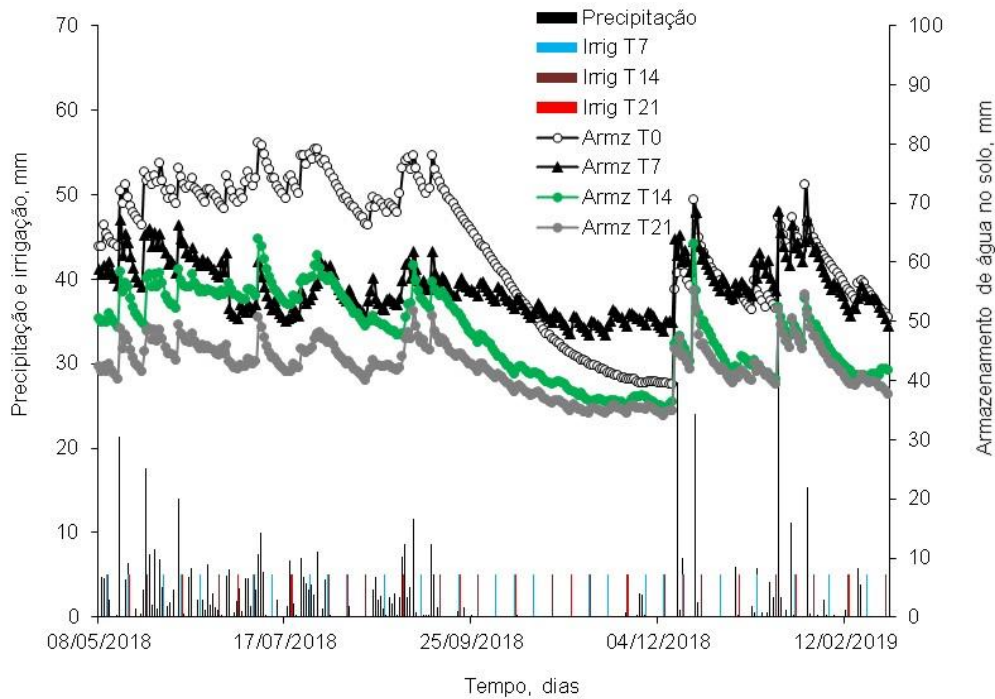


Figura 2. Precipitação pluvial, armazenamento de água no solo na camada de 0-30 cm e irrigação de cada tratamento (T7 – irrigação a cada 7 dias; T14 – irrigação a cada 14 dias e T21 – irrigação a cada 21 dias) durante o período de condução do experimento, Garanhuns-PE

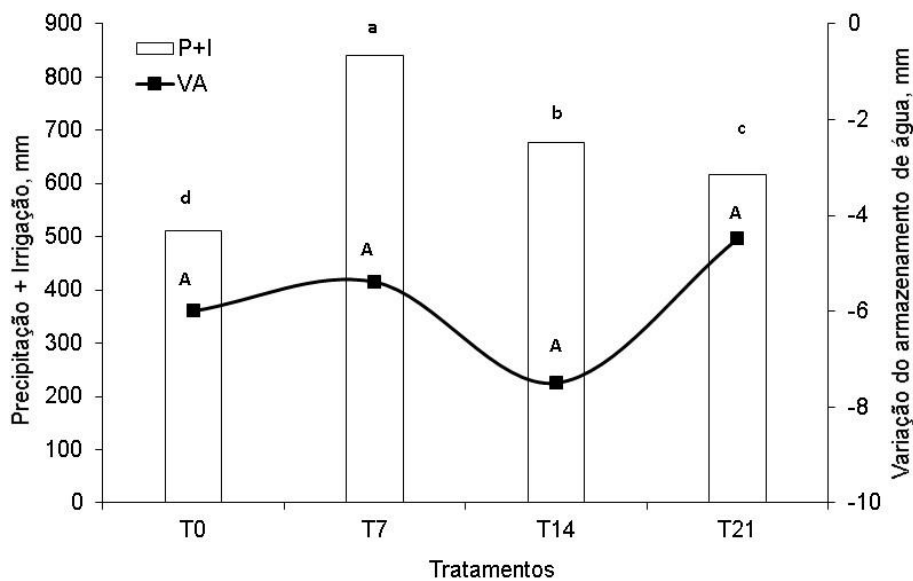


Figura 3. Precipitação pluvial mais irrigação total (P+I) de cada tratamento (T7 – irrigação a cada 7 dias; T14 – irrigação a cada 14 dias e T21 – irrigação a cada 21 dias), variação do armazenamento de água no solo (ΔA) durante o período de condução do experimento, Garanhuns-PE. Letras minúsculas comparam P+I e letras maiúsculas comparam ΔA , pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

armazenamento de água no solo, devido seus valores irrigação mais chuva serem superiores ao dessa pesquisa.

Observa-se que ao final do experimento, o tratamento de sequeiro (T0) tinha recebido 511,2 mm, provenientes da precipitação pluvial. O T7, recebeu 841,2 mm, dos quais 330 mm foram provenientes das irrigações a cada 07 dias e 511,2 mm da precipitação pluvial. O T14 recebeu 511,2 mm da precipitação pluvial mais 165 mm das irrigações, totalizando 676,2 mm; enquanto o T21 recebeu 616,2 mm, sendo 105 mm por meio das irrigações (Figura 3).

Esses valores totais de água (precipitação + irrigação), com exceção do T7, estão dentro dos valores normalmente encontrados para o desenvolvimento adequado da palma forrageira (Pereira et al., 2017). Contudo outros autores, a exemplo de Queiroz et al. (2015) e Lima et al. (2018b) encontraram valores mais elevados de precipitação + irrigação, variando de 976 a 1.202 mm ano⁻¹.

Para alguns autores, a exemplo de Flores-Hernández et al. (2004), a irrigação suplementar se faz necessária em palma forrageira quando a precipitação pluvial anual for inferior a 740 mm.

Características biométricas da palma forrageira

A análise biométrica da palma forrageira, constando de largura (LC), comprimento (CC), área (AC), índice de área (IAC) e de espessura (EC) do cladódio, nos diferentes tratamentos é apresentada na Tabela 2.

Observa-se que as diferentes condições de disponibilidade hídrica do solo não causaram efeito significativo ($p > 0,05$) para todas as variáveis biométricas analisadas.

A LC variou de 26,1 a 27,2 cm nos diferentes tratamentos. Os resultados obtidos nessa pesquisa estão de acordo com os de Silva et al. (2015), que encontraram valores variando de 11 a 29,0 cm em variedades de palma forrageira, em Serra Talhada-PE.

Já o CC variou de 14,6 a 15,2 cm, corroborando com os resultados de Pereira et al. (2017), que avaliando diferentes estratégias de irrigação de palma OEM em Serra Talhada-PE, encontraram valores de CC da ordem de 17,1 cm.

Como não foram observadas diferenças significativas nas variáveis LC e CC, conseqüentemente também não ocorreram diferenças na AC e no IAC (Tabela 2), uma vez que

a AC é obtida usando LC e CC (Equação 1), e a AC é utilizada para se obter o IAC (Equação 2).

Esses valores de AC e IAC estão dentro do intervalo de valores normalmente encontrados para palma forrageira OEM sob condições de sequeiro ou com irrigação (Silva et al., 2014; Silva et al., 2015; Queiroz et al., 2015; Barbosa et al., 2017a).

Os valores médios de EC variaram de 14,6 a 15,2 mm, os quais estão próximos dos encontrados por Queiroz et al. (2015), que obtiveram valores de EC variando de 15 a 21,6 mm em palma forrageira OEM, sob diferentes lâminas de irrigação suplementar em Serra Talhada-PE.

Produtividade, evapotranspiração e eficiência no uso de água

A produtividade (matéria fresca, MF) da palma forrageira OEM, bem como a sua ET e EUA são apresentadas na Tabela 3.

Observa-se que a MF da palma forrageira OEM variou de 155,5 a 171,7 t ha⁻¹, sem diferença significativa ($p > 0,05$) entre os diferentes tratamentos. Desse modo, pode-se afirmar que, nas condições de Garanhuns (brejo de altitude), a palma forrageira OEM tem uma produtividade de matéria fresca média de 164,23 t ha⁻¹.

Essa produtividade média da palma forrageira OEM está de acordo com várias outras pesquisas com essa mesma variedade. Por exemplo, Queiroz et al. (2015), sob diferentes lâminas de água no solo (precipitação + irrigação suplementar) encontraram valores de MF variando de 111,78 a 146,33 t ha⁻¹ em Serra Talhada-PE. Lima et al. (2018b), também sob condições de irrigação suplementar e em Serra Talhada-PE, encontraram produtividade de MF variando de 118,3 a 142 t ha⁻¹.

Quanto ao não efeito da irrigação suplementar na produtividade da palma forrageira, pode-se inferir que isso ocorreu devido as condições de disponibilidade hídrica, por meio da precipitação pluvial, terem sido suficientes para a palma forrageira expressar seu potencial produtivo.

De acordo com Davis et al. (2019) uma precipitação pluvial total anual de 500 mm é suficiente para que a palma forrageira possa produzir adequadamente. Da mesma forma, em pesquisa realizada na África do Sul, Snyman (2013) encontrou produtividade de *Opuntia ficus-indica* variando de 39 a 80 t de MF ha⁻¹, com precipitação pluvial variando de 425 a 690 mm por ano.

Tabela 2. Largura (LC), comprimento (CC), área (AC), índice de área (IAC) e espessura (EC) do cladódio de palma forrageira OEM, sob irrigação suplementar, Garanhuns-PE

Tratamento	LC, cm	CC, cm	AC, cm ²	IAC, m ² m ⁻²	EC, mm
T0	27,1 a	14,9 a	403,8 a	1,09 a	14,9 a
T7	27,2 a	14,6 a	397,1 a	1,18 a	14,6 a
T14	26,4 a	15,2 a	401,3 a	1,28 a	15,2 a
T21	26,1 a	14,9 a	388,9 a	1,03 a	14,6 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5%, pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Produtividade de matéria fresca (MF), evapotranspiração (ET) e eficiência no uso de água (EUA) de palma forrageira OEM, sob irrigação suplementar, Garanhuns-PE

Tratamento	MF, t ha ⁻¹	ET, mm	EUA (kg MF ha ⁻¹ mm ⁻¹)	*ET, mm d ⁻¹
T0	158,9 a	517,2 d	307,2 a	1,7 d
T7	171,7 a	846,6 a	202,8 c	2,9 a
T14	170,8 a	683,7 b	249,8 b	2,3 b
T21	155,5 a	618,7 c	251,3 b	2,1 c

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente ao nível de 5%, pelo teste de Tukey. *ET média diária

Nesta pesquisa o valor total anual de precipitação pluvial foi de 511,2 mm, portanto, dentro do intervalo predito por Snyman (2013) e Davis et al. (2019).

Em pesquisas conduzidas na região semiárida de Pernambuco, com palma forrageira sob condições de irrigação suplementar, vários autores (Queiroz et al., 2015; Queiroz et al., 2016; Barbosa et al., 2017b; Cruz Neto et al., 2017; Lima et al., 2018b) têm obtido resultados semelhantes ao dessa pesquisa, ou seja, a adoção da prática de irrigação suplementar não tem efeito na produtividade da palma forrageira.

O que pode explicar esse não efeito significativo das irrigações suplementares, no caso da nossa pesquisa, como dito anteriormente, é a disponibilidade hídrica adequada, por meio da precipitação pluvial, em termos de quantidade e de distribuição (Figura 1a), o que deixa o solo sempre com umidade acima do ponto de murcha permanente (Figura 2).

Além disso, a palma forrageira é uma planta CAM, a qual possui a habilidade de fechar os estômatos durante o dia e, com isso, reduzir as perdas de água (Scalisi et al., 2016; Taiz et al., 2017).

Adicionalmente, Pereira et al. (2017), enfatizam que a palma forrageira tem elevada capacidade de reidratação de seus cladódios, depois de longos períodos de seca. Além disso, Queiroz et al. (2015) afirmam que a palma forrageira, sob plena disponibilidade hídrica, não tem resposta imediata devido a sua alta capacidade

de armazenar água nos cladódios, baixa demanda hídrica e reduzida conversão de matéria seca.

Outros autores, como Flores-Hernández et al. (2004) no México, verificaram que a irrigação suplementar também não proporcionou incrementos na produtividade de matéria seca. Esses autores aplicaram lâminas anuais de 740, 1.060 e 1.380 mm, em quatro clones de palma forrageira de diferentes espécies do gênero *Opuntia*. De acordo com esses autores, a irrigação suplementar só tem efeito benéfico na produtividade da palma em regiões com elevados déficits hídricos, com precipitações pluviais abaixo de 740 mm anuais.

Com relação a ET da palma forrageira, observa-se que houve efeito significativo ($p > 0,05$) dos diferentes tratamentos (Tabela 3). Nota-se que os valores mais elevados de ET foram obtidos nos tratamentos com irrigação, sendo que o tratamento que foi irrigado a cada 07 dias (T7) apresentou as maiores perdas de água por ET (846,6 mm). Por outro lado, no tratamento sob condições de sequeiro (T0), observaram-se as menores perdas de água (517,2 mm). Os tratamentos T14 (683,7 mm) e T21 (618,7 mm) apresentaram ET superiores significativamente ao T0 e menores, significativamente, ao T7. Assim, a ordem das perdas de água via ET foram: T7 > T14 > T21 > T0.

Devido aos maiores aportes de água, via irrigação, os tratamentos com maior frequência de irrigação, tiveram maior ET. Esse mesmo comportamento da ET em palma forrageira OEM foi observado por Queiroz et al. (2016), que

obtiveram maiores valores de ET nas maiores lâminas de irrigação suplementar.

Os valores totais de ET (Tabela 3) são inferiores aos reportados por Queiroz et al. (2016), em palma forrageira OEM, em Serra Talhada-PE, que encontraram valores anuais de 855,26 a 1.026,76 mm, em função dos diferentes tratamentos de irrigação. Contudo, estão abaixo dos encontrados por Pereira et al. (2017), também sob condições de irrigação suplementar e em Serra Talhada-PE. Esses autores encontraram ET variando de 336 a 439 mm.

As diferenças na ET total de palma forrageira entre essas pesquisas podem ser devido a diversos fatores, como a quantidade de água disponível (precipitação e irrigação), as condições edafoclimáticas, bem como a duração total do experimento.

Desse modo, para uma melhor comparação entre os valores de ET, faz-se necessário calcular as perdas médias diárias, ou seja, a ET diária (Tabela 3). Assim, observa-se que nessa pesquisa, a mesma variou de 1,7 a 2,9 mm d⁻¹. Esses valores estão acima dos valores encontrados por Pereira et al. (2017), que obtiveram ET diária variando de 1,3 a 1,7 mm d⁻¹. Contudo, estão dentro do intervalo encontrado por outros pesquisadores. Por exemplo, Silva et al. (2015), avaliando a ET de palma forrageira OEM, encontraram ET média de 2,43 mm d⁻¹, corroborando com os dados dessa pesquisa. Jardim et al. (2020) encontraram ET de 2,63 e 2,53 mm d⁻¹, em palma forrageira OEM irrigada, cultivada solteira ou consorciada com sorgo, respectivamente.

Os tratamentos com as diferentes lâminas de irrigação suplementar tiveram efeito significativo ($p > 0,05$) na EUA da palma forrageira OEM (Tabela 3). Observa-se que a maior EUA (307,2 kg MF ha⁻¹ mm⁻¹) foi obtida no T0 (sequeiro) e a menor (202,8 kg MF ha⁻¹ mm⁻¹) no T7 (irrigado a cada 07 dias). Os tratamentos T14 e T21 também apresentaram menor EUA quando comparadas com o T0, mas superiores ($p < 0,05$) ao T7.

Com isso, pode-se afirmar, para as condições de Brejo de Altitude (Garanhuns, PE), que a irrigação suplementar tem efeito negativo na EUA, ou seja, ocorre uma diminuição (T0 - T7) de até 104,4 kg de MF ha⁻¹ para cada mm consumido de água pela palma forrageira.

Esse resultado é muito expressivo, pois mostra claramente que não existe a necessidade da prática de irrigação suplementar no cultivo de

palma forrageira OEM nessa região, o que, provavelmente, poderá diminuir os custos de produção e consequentemente aumentar o lucro dos produtores.

Outros pesquisadores (Queiroz et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017) avaliaram o efeito de lâminas de irrigação suplementar na EUA de palma forrageira e não encontraram efeito significativo, quando comparado ao tratamento de sequeiro.

Esses valores de EUA são maiores de que outros encontrados na literatura para a palma forrageira *Opuntia ficus-indica* (Snyman, 2013; Queiroz et al., 2016; Cruz Neto et al., 2017; Lima et al., 2018b). Contudo, pesquisadores, a exemplo de Fonseca et al. (2019), encontraram valores de EUA superiores ao dessa pesquisa.

Como a EUA é a relação entre produtividade e ET, o ideal é que os sistemas de manejo promovam redução das perdas de água e/ou aumentem a produtividade das culturas, para que ocorra um aumento de EUA. Nessa pesquisa, os tratamentos com irrigação, principalmente as irrigações mais frequentes (T7), promoveram um aumento da ET e, como, a produtividade não foi afetada, isso causou uma diminuição da EUA da palma forrageira OEM.

Conclusões

A produtividade de matéria fresca da palma forrageira OEM não foi influenciada pelas diferentes lâminas de irrigação suplementar.

As perdas de água por evapotranspiração foram menores nos tratamentos de sequeiro e com as menores lâminas de irrigação suplementar.

A eficiência no uso de água da palma forrageira foi reduzida com o aumento das lâminas de irrigação suplementar.

Com base na produtividade e na eficiência no uso de água recomenda-se que o cultivo de palma forrageira OEM, no município de Garanhuns, PE, seja realizado sob sistema de sequeiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela bolsa de estudos (processo IBPG-0789-5.01/16); da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES – Código de Financiamento 001), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processos 307335/2017-8, 409990/2018-3, 465764/2014-2,

448504/2014-6, 441305/2017-2, 438596/2018-8, 310537/2017-7), do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – Observatório Nacional da Dinâmica da Água e de Carbono no Bioma Caatinga (INCT-ONDACBC).

Referências

- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-28. <https://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., 2017. Phenophases and cutting time of forage cactus under irrigation and cropping systems. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 47, 62-71. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632016v4742746>
- Barbosa, M.L., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Araújo Júnior, G.N., Jardim, A.M.R.F., 2017a. Meteorological variables and morphological characteristics influencing the evapotranspiration of forage cactus. *Revista Ceres* 64, 465-475. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201764050003>
- Barbosa, M.L., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Morais, J.E.F., Assis, M.C., 2017b. Association of morphological and water factors with irrigated forage cactus yield. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 600-605. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n9p600-605>
- Borges Júnior, J.C.F., Anjos, R.T., Silva, T.J.A., Lima, J.R.S., Andrade, C.L.T., 2012. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 16, 380-390. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000400008>
- Buttar, N.A., Yongguang, H., Shabbir, A., Lakhari, I.A., Ali, I.U.A., Aleem, M., Yasin, M.A., 2018. Estimation of evapotranspiration using Bowen ratio method. *IFAC Papers On Line* 51, 807-810. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.096>
- Campos, S., Mendes, K.R., Silva, L.L., Mutti, P.R., Medeiros, S.S., Amorim, L.B., Santos, C.A.C., Perez-Marin, A.M., Ramos, T.M., Marques, T.V., Lucio, P.S., Costa, G.B., Silva, C.M.S., Bezerra, B.G., 2019. Closure and partitioning of the energy balance in a preserved area of a Brazilian seasonally dry tropical forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 271, 398-412. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.03.018>
- Carvalho, A.A., Silva, T.G.F., Souza, L.S.B., Moura, M.S.B., Araújo, G.G.L., Tolêdo, M.P.S., 2017. Soil moisture in forage cactus plantations with improvement practices for their resilience. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 481-487. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n7p481-487>
- Cruz Neto, J.F., Morais, J.E.F., Souza, C.A.A., Carvalho, H.F.S., Rodrigues, C.T.A., Silva, T.G.F., 2017. 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* 02, 98-106. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.2.2.2017.1170.98-106>
- Davis, S.S., Simpson, J., Gil-Vega, K.C., Niechayev, N.A., van Tongerlo, E., Castano, N.H., Dever, L.V., Búrquez, A., 2019. Undervalued potential of crassulacean acid metabolism for current and future agricultural production. *Journal of Experimental Botany* 70, 6521–6537. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz223>
- Dubeux Júnior, J.C.B., Santos, M.V.F., Cavalcante, M., Santos, D.C., 2013. Potential of cactus pear in South America. In: Nazareno, M.A., Ochoa, M.J., Dubeux Júnior, J.C.B. *Proceedings of the second Meeting of the Integral use of cactus pear and other cacti*. Cactusnet Newsletter, Santiago del Estero, pp.29-40.
- Farias, I., Lira, M.A., Santos, D.C., Tavares Filho, J.J., Santos, M.V.F., Fernandes, A.P.M., Santos, V.F., 2000. Manejo de colheita e espaçamento da palma-forrageira, em consórcio com sorgo granífero, no Agreste de Pernambuco. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35, 341-347. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000200013>
- Flores-Hernández, A., Castillo, I.O., Amador, B.M., Hernández, J.L.G., Troyo-Dieguez, E., 2004. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. *Agricultural Water*

- Management 70, 97-107.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2004.06.002>
- Fonseca, V.A., Santos, M.R., Silva, J.A., Donato, S.L.R., Rodrigues, C.S., Brito, C.F.B., 2019. Morpho-physiology, yield, and water-use efficiency of *Opuntia ficus-indica* irrigated with saline water. *Acta Scientiarum. Agronomy* 41, e42631.
<http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42631>
- Freire, J.L., Santos, M.V.F., Dubeux Júnior, J.C.B., Bezerra Neto, E., Lira, M.A., Santos, D.C., Amorim, S.O., Mello, A.C., 2018. Growth of cactus pear cv. Miúda under different salinity levels and irrigation frequencies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 90, 3893-3900.
<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201820171033>
- Gondim, P.S.S., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Hammecker, C., Silva, R.A.B., Gomes, C.A., 2015. Environmental control on water vapour and energy exchanges over grasslands in semiarid region of Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 3-8.
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p3-8>
- Hussain, M.Z., Hamilton, S.K., Bhardwaj, A.K., Basso, B., Thelen, K.D., Robertson, G.P., 2019. Evapotranspiration and water use efficiency of continuous maize and maize and soybean in rotation in the upper Midwest U.S. *Agricultural Water Management* 221, 92-98.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.049>
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2020. Normais Climatológicas do Brasil. Disponível:
<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso: 10 fev. 2020.
- IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008. Recomendação de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação, 3ª ed. IPA, Recife.
- 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., 2020. Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros* 27, 357-365.
<http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26446>
- Jayaram, S.H., Thippeswami, D.H., Rajashekar, G.B., Raj, L., Gowda, S., 2018. Estimation of Evapotranspiration for Onion Crop in Semi-Arid Region: Experimental Field Setup Using Lysimeter. *Urban and Regional Planning* 3, 1-5.
<https://doi.org/10.11648/j.urp.20180301.11>
- Katerji, N., Mastrorilli, M., 2009. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: Results of a multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. *European Journal of Agronomy* 30, 95-100.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.009>
- Lédo, A.A., Donato, S.L.R., Aspiazú, I., Silva, J.A., Donato, P.E.R., Carvalho, A.J., 2019. Yield and water use efficiency of cactus pear under arrangements, spacings and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 23, 413-418.
<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n6p413-418>
- Lima, J.R.S., Oliveira, C.L., Barbosa, A.C., Antonino, A.C.D., Souza, E.S., 2017. Variação sazonal dos fluxos de energia e evapotranspiração em caatinga no agreste Pernambucano. *Agrometeoros* 25, p.113-120.
<http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i1.26272>
- Lima, J.R.S., Silva, W.M., Medeiros, E.V., Duda, G.P., Correa, M.M., Filho Martins, A.P., Clermont-Dauphin, C., Antonino, A.C.D., Hammecker, C., 2018a. Effect of biochar on physicochemical properties of a sandy soil and maize growth in a greenhouse experiment. *Geoderma* 319, 14-23.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.12.033>
- Lima, L.R., Silva, T.G.F., Jardim, A.M.R.F., Souza, C.A.A., Queiroz, M.G., Tabosa, J.N., 2018b. Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22, 113-118.
<http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>
- Lins, R.C., 1989. As áreas de exceção do agreste de Pernambuco, Sudene, Recife.
- Liu, W., Wang, L., Zhou, J., Li, Y., Sun, F., Fu, G., Xiuping Li, X., Sang, Y-F., 2016. A worldwide evaluation of basin-scale evapotranspiration estimates against the water balance method. *Journal of Hydrology* 538, 82-95.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.006>
- Machado, C.B., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Souza, E.S., Souza, R.M.S., Alves, E.M., 2016. Daily and seasonal patterns of CO₂ fluxes and evapotranspiration in maize-grass intercropping. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20, p.777-782.

- <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p777-782>
- Marques, T.V., Mendes, K., Mutti, P., Medeiros, S., Silva, L., Perez-Marin, A.M., Campos, S., Lúcio, P.S., Lima, K., Reis, J., Ramos, T.M., Silva, D.F., Oliveira, C.P., Costa, G.B., Antonino, A.C.D., Menezes, R.S.C., Silva, C.M.S., Bezerra, B.G. Environmental and biophysical controls of evapotranspiration from Seasonally Dry Tropical Forests (Caatinga) in the Brazilian Semi-arid. *Agricultural and Forest Meteorology* 287, 107957. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2020.107957>
- Menezes, R.S.C., Simões, D.A., Sampaio, E.V.S.B., 2005. A palma no nordeste do Brasil: conhecimento atual e novas perspectivas de uso, Editora Universitária da UFPE, Recife.
- Morais, J.E.F., Silva, T.G.F., Queiroz, M.G., Araújo, G.G.L., Moura, M.S.B., Araújo Júnior, G.N., 2017. Hydrodynamic changes of the soil-cactus interface, effective actual evapotranspiration and its water efficiency under irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21, 273-278. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n4p273-278>
- Moura, M.S.B., Souza, L.S.B., Silva, T.G.F., Sá, I.I.S., 2011. Zoneamento agroclimático da palma forrageira para o Estado de Pernambuco, Embrapa Semiárido, Petrolina.
- Munitz, S., Schwartz, A., Netzer, Y., 2019. Water consumption, crop coefficient and leaf area relations of *Vitis vinifera* cv. 'Cabernet Sauvignon' vineyard. *Agricultural Water Management* 219, 86-94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.051>
- Oberholzer, S., Prasuhn, V., Hund, A., 2017. Crop water use under Swiss pedoclimatic conditions - Evaluation of lysimeter data covering a seven - year period. *Field Crops Research* 211, 48-65. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.003>
- Pereira Filho, J., Bakke, O., 2010. Produção de forragem de espécies herbáceas da Caatinga, In: Gariglio, M.A., Sampaio, E.V.S.B., Cestaro, L.A., Kageyama, P.Y. (Org.), *Uso sustentável e conservação dos Recursos Florestais da Caatinga*. Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, pp. 145-159.
- Pereira, P.C., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Silva, M.J., 2017. Water Balance in Soil Cultivated with Forage Cactus Clones under Irrigation. *Revista Caatinga* 30, 776-785. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n9p777-782>
- Pinheiro, K.M., Silva, T.G.F., Carvalho, H.F., Santos, J.E.O., Moraes, J.E.F., Zolnier, S., Santos, D.C., 2014. Correlações do índice de área do cladódio com características morfogênicas e produtivas da palma forrageira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 49, 939-947, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014001200004>
- Pozníková, G., Fischer, M., van Kesteren, B., Orság, M., Hlavinka, P., Žalud, Z., Trnka, M., 2018. Quantifying turbulent energy fluxes and evapotranspiration in agricultural field conditions: a comparison of micrometeorological methods. *Agricultural Water Management* 209, 249-263. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.041>
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Lima, L.R., Alves, J.O., 2015. Características morfofisiológicas e produtividade da palma forrageira em diferentes lâminas de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 931-938. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p931-938>
- Queiroz, M.G., Silva, T.G.F., Zolnier, S., Silva, S.M.S., Souza, C.A.A., Carvalho H.F.S., 2016. Relações hídrico-econômicas da palma forrageira cultivada em ambiente Semiárido. *Irriga* 4, 141-154. <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v1n01p141-154>
- Rafi, Z., Merlin, O., Le Dantec, V., Khabba, S., Mordelet, P., Er-Raki, S., Amzirh, A., Olivera-Guerra, L., Hssaine, B.A., Simonneaux, V., Ezzahar, J., Ferre, F., 2019. Partitioning evapotranspiration of a drip-irrigated wheat crop: Inter-comparing eddy covariance-, sap flow-, lysimeter- and FAO-based methods. *Agricultural and Forest Meteorology* 265, 310-326. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.11.031>
- Ribeiro, A.A., Lima, J.R.S., Souza, R.M.S., Antonino, A.C.D., Souza, E.S., 2018. Fluxos de carbono e evapotranspiração de feijão comum sob condições de sequeiro. *Revista Engenharia na Agricultura* 26, 229-239. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i3.830>
- Ribeiro, K., Sousa-Neto, E.R., Carvalho, J.A., Lima, J.R.S., Menezes, R.S.C., Duarte-Neto, P.J., Guerra, G.S., Ometto, J.P.H.B., 2016. Land

- cover changes and greenhouse gas emissions in two different soil covers in the Brazilian Caatinga. *Science of the Total Environment* 571, 1048-1057. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.095>
- Scalisi, A., Morandi, B., Inglese, P., Lo Bianco, R., 2016. Cladode growth dynamics in *Opuntia ficus-indica* under drought. *Environmental and Experimental Botany* 122, 158-167. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.10.003>
- Silva, F.B.R.E., Santos, J.C.P., Souza Neto, N.C., Silva, A.B., Riche, G.R., Tonneau, J.P., Correia, R.C., Brito, L.T.L., Silva, F.H.B., Souza, L.G.M.C., Silva, C.P., Leite, A.P., Oliveira Neto, M.B., 2000. Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico, Embrapa Solos, Recife.
- Silva, P.F., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Souza, R., Souza, E.S., Silva, J.R.I., Alves, E.M., 2017b. Seasonal patterns of carbon dioxide, water and energy fluxes over the Caatinga and grassland in the semi-arid region of Brazil. *Journal of Arid Environments* 147, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.09.003>
- Silva, T.G.F., Araújo, G.G.L., Moura, M.S.B., Souza, L.S.B., 2017a. Agrometeorological research on forage cactus and its advances in Brazil. *Amazonian Journal of Plant Research* 2, 45-68. <http://dx.doi.org/10.26545/b00006x>
- Silva, T.G.F., Miranda, K.R., Santos, D.C., Queiroz, M.G., Silva, M.C., Cruz Neto, J.F., Araújo, J.E.M., 2014. Área do cladódio de clones de palma forrageira: modelagem, análise e aplicabilidade. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 9, 633-641. <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v9i4a4553>
- 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., 2015. Soil water dynamics and evapotranspiration of forage cactus clones under rainfed conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 50, 515-525. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015000700001>
- Snyman, H.A., 2013. Growth Rate and Water-Use Efficiency of Cactus Pears *Opuntia ficus-indica* and *O. robusta*. *Arid Land Research and Management* 27, 337-348. <http://dx.doi.org/10.1080/15324982.2013.771232>
- Souza, C., Andrade, A.P., Lima, J.R.S., Antonino, A.C.D., Souza, E.S., Silva, I.F., 2013. Balanço hídrico da cultura da mamona sob condições de sequeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17, 3-10. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000100001>
- Souza, R.M.S., Souza, E.S., Antonino, A.C.D., Lima, J.R.S., 2015. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 19, 449–455. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>
- Tabarelli, M., Santos, A.M.M., 2004. Uma Breve Descrição sobre a História Natural dos Brejos Nordestinos. In: Porto, K.C., Cabral, J.J.S.P., Tabarelli, M. Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp. 17–24.
- Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I.M., Murphy, A., 2017. Fisiologia e desenvolvimento vegetal, 6ª ed. Artmed, Porto Alegre.
- Tang, X., Li, H., Desai, A.R., Nagy, Z., Luo, J., Kolb, T.E., Olioso, A., Xu, X., Yao, L., Kutsch, W., Pilegaard, K., Köstner, B., Ammann, C., 2014. How is water-use efficiency of terrestrial ecosystems distributed and changing on Earth? *Scientific Reports* 4, 7483. <https://doi.org/10.1038/srep07483>
- Teixeira, P.C., Donagema, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G., 2017. Manual de Métodos de Análises de Solo, 3ª ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.
- Thapa, S., Xue, Q., Jessup, K.E., Rudd, J.C., Liu, S., Devkota, R.N., Baker, J.A., 2020. Soil water extraction and use by winter wheat cultivars under limited irrigation in a semi-arid environment. *Journal of Arid Environments* 174, 104046. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104046>
- Tie, Q., Hu, H., Tian, F., Holbrook, N.M., 2018. Comparing different methods for determining forest evapotranspiration and its components at multiple temporal scales. *Science of the Total Environment* 633, 12–29. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.082>
- Vanomark, G.M.M.S., Espínola Sobrinho, J., Bezerra, J.R.C., Santos, C.A.C., Azevedo, P.V., Silva, S.T.A., Bezerra, B.G., 2018. Energy balance partitioning and evapotranspiration from irrigated Muskmelon under Semi-Arid Conditions. *Bragantia* 77, 168-180. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.2016453>

Wang, X., Huo, Z., Shukla, M.K., Xianghao Wang, X., Guo, P., Xu, X., Huang, G., 2020. Energy fluxes and evapotranspiration over irrigated maize field in an arid area with shallow groundwater. *Agricultural Water Management* 228, 105922. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105922>

Xu, G., Xue, X., Wang, P., Yang, Z., Yuan, W., Liu, X., Lou, C., 2018. A lysimeter study for the

effects of different canopy sizes on evapotranspiration and crop coefficient of summer maize. *Agricultural Water Management* 208, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.040>