

RELAÇÕES HÍDRICO-ECONÔMICAS DA PALMA FORRAGEIRA CULTIVADA EM AMBIENTE SEMIÁRIDO

MARIA GABRIELA DE QUEIROZ¹; THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA²; SÉRGIO ZOLNIER³; SÉRVULO MERCIER SIQUEIRA E SILVA⁴; CARLOS ANDRÉ ALVES DE SOUZA⁵ E HERICA FERNANDA DE SOUSA CARVALHO⁶

¹Doutoranda em Meteorologia Aplicada, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, mg.gabi@hotmail.com

²Professor Adjunto IV, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, thieres@pq.cnpq.br

³Professor Titular, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, zolnier@ufv.br

⁴Pesquisador, Instituto Agrônomo de Pernambuco, servulo.siqueira@ipa.br

⁵Mestrando do Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, carlosandre08@msn.com

⁶Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, hericafernanda_17@hotmail.com

1 RESUMO

Objetivou-se determinar índices hídrico-econômicos da palma forrageira irrigada no Semiárido brasileiro. O experimento foi conduzido em Serra Talhada, PE. O delineamento foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos baseados na evapotranspiração de referência e quatro repetições. Os dados do balanço de água no solo (BAS) e produtivos foram usados no cálculo de indicadores hídricos e econômicos para a cultura. Em relação aos componentes do BAS, apenas a variação do armazenamento de água revelou diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$). A evapotranspiração e coeficiente da cultura apresentaram valores médios de 2,59 mm dia⁻¹ e 0,52, nessa ordem, totalizando 985,77 mm no ciclo. As eficiências do uso de água evapotranspirada em base fresca e seca foram, em média, de 14,02 kg MV m⁻³ e 0,87 kg MS m⁻³, respectivamente. A produtividade econômica da água indicou um retorno econômico bruto de 5,50 dólares para cada m⁻³ de água fornecida à cultura (precipitação + irrigação), e de 6,18 US\$ m⁻³, com base na evapotranspiração. A produtividade econômica da terra na venda de cladódios para semente e forragem (13.340 US\$ ha⁻¹ e 6.000 US\$ ha⁻¹, nessa ordem) foram maiores aos relatos na literatura para outras culturas.

Palavras-Chave: Coeficiente de cultura, Eficiência do uso da água, Evapotranspiração da cultura, Viabilidade econômica bruta

QUEIROZ, M. G.; SILVA, T. G. F.; ZOLNIER, S.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.;
SOUZA, C. A. A.; CARVALHO, H. F. S
HYDRO-ECONOMIC RELATIONS OF FORAGE CACTUS CULTIVATED IN
SEMIARID ENVIRONMENT

2 ABSTRACT

This study aimed to determine hydro-economic indices of cactus forage irrigated in the Brazilian Semi-arid. The experiment was conducted in Serra Talhada, State of Pernambuco. The design was a randomized block with five treatments based on reference evapotranspiration in four replications. Soil water balance (SWB) and productive data were used in the calculation of water and economic indicators for crop. Regarding the components of the SWB, only the soil water storage variation revealed differences between treatments ($p < 0,05$). The evapotranspiration and crop coefficient showed values equal to 2.59 mm day^{-1} and 0.52 , in that order, totaling 985.77 mm for the cycle. The evapotranspired water use efficiencies on fresh and dry basis were on averaged, $14.02 \text{ kg GM m}^{-3}$ and $0.87 \text{ kg DM m}^{-3}$, respectively. The water economic productivity indicated a gross economic return of 5.50 dollars for each m^{-3} of water supplied to the culture (rain + irrigation) and $\$ 6.18 \text{ m}^{-3}$ dollars, based on the evapotranspiration. The land economic productivity for sale of cladode for seed and forage ($\$13,340 \text{ ha}^{-1}$ e $\$ 6,000 \text{ ha}^{-1}$, in that order) were higher than in reports for other crops.

Keywords: Crop coefficient, Water use efficiency, Crop evapotranspiration, Brute economic viability.

3 INTRODUÇÃO

No Semiárido, a sazonalidade dos elementos climáticos, em escala inter e intra-anual, torna a produção de forragem um desafio constante na busca por uma segurança alimentar para os animais (LEITE, 2009; DUBEUX JÚNIOR et al., 2010). Assim, é necessário o uso de estratégias de manejo, sobretudo no tocante ao uso de espécies resistentes ao déficit hídrico e de irrigação para complementar a demanda da cultura no período de estiagem.

Dentre essas culturas agrícolas, a palma possui características anatômico-morfo-fisiológicas que lhe confere boa adaptação ao ambiente semiárido, com alta eficiência no uso de água e grande produção de fitomassa de valor energético, reduzindo a variação estacional da produção de forragens (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010; RAMOS et al., 2011).

Embora seja uma prática incipiente no Nordeste, a irrigação em áreas de produção de palma é uma técnica de elevada importância (HERNÁNDEZ et al., 2004). Porém, a sua implementação depende de informações de exigência hídrica da cultura, a qual é função da demanda atmosférica, do conteúdo de água no solo e da resistência da planta à transferência de água para o ambiente (CAMPOS et al., 2008; SILVA et al., 2011a). Esses conhecimentos contribuem para o incremento da produtividade e dos lucros da área de cultivo (CAMPOS et al., 2008; SILVA et al., 2011a; PAYERO; IRMAK, 2013), e têm sido levantados em várias pesquisas (LI et al., 2008; PAYERO; IRMAK, 2008; BILLESBACH, 2011; GHIBERTO et al., 2011; SILVA et al., 2011b; EVETT et al., 2012).

Todavia, a limitação dos recursos hídricos no Semiárido brasileiro induz a necessidade do conhecimento não apenas da demanda hídrica, mas também da eficiência do sistema de produção. Assim, a determinação de indicadores de eficiência do uso de água, torna-se bastante importante, logo que estabelece parâmetros essenciais para a otimização da produtividade das culturas (ARAYA et al., 2011; PEREIRA; CORDERY; IACOVIDES, 2012). Essa informação é inexistente para áreas irrigadas de palma forrageira, e pode ser mensurada por meio de indicadores hídrico-econômicos, que consideram dados de

produtividade, lâmina de água recebida ou consumida pela cultura e o ganho econômico por unidade de área (ARAYA et al., 2011). Esses indicadores têm sido relatados na literatura científica (RODRIGUES; PEREIRA, 2009; PEREIRA; CORDERY; IACOVIDES, 2012), e conforme Bos, Burton e Molden (2005) representam a capacidade econômica do sistema de cultivo em converter a água disponível em produção.

Face ao exposto, objetivou-se determinar indicadores hídrico-econômicos da palma forrageira sob diferentes condições de disponibilidade de água no Semiárido brasileiro.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Estação Experimental Lauro Ramos Bezerra, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco-IPA, a qual está situada no município de Serra Talhada (Lat. 7° 56' 18,18" S, Long. 38° 17' 31,76" O e Alt. 501 m). O solo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico franco arenoso (EMBRAPA, 1999).

O clone de palma forrageira avaliado foi a Orelha de Elefante Mexicana IPA-200016, do gênero *Opuntia*, que é resistente à principal praga da cultura na região, denominada cochonilha do Carmim (*Dactylopius opuntiae*). O estabelecimento da cultura foi realizado em março de 2011, com plantio em sulcos, utilizando espaçamento de 1,6 x 0,40 m, e 50% do comprimento dos cladódios enterrados. O primeiro corte das plantas foi realizado durante o mês de maio de 2012, quando se iniciou o período experimental desse estudo, e foi finalizado em junho de 2013, deixando-se apenas os cladódios basais das plantas. Esse período compreendeu o segundo ciclo produtivo da cultura (intervalo entre o 1º e 2º corte), com duração de 380 dias. No total, o experimento foi composto por vinte parcelas, com área total de 28,8 m², cada uma, contendo quatro fileiras de 6 m, e 15 plantas por fileira, totalizando 60 plantas por parcela. A adubação foi feita mensalmente a lanço, com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ da formulação NPK 14-00-18, segundo recomendações do IPA. Os tratamentos culturais e fitossanitários como capina, aplicação de herbicidas, controles de pragas e de doenças foram realizados quando necessários.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos, em quatro repetições, baseadas em lâminas de água, aplicadas de acordo com a evapotranspiração de referência, sendo elas: 0%, 8,75%, 17,5%, 26,25% e 35% da ETo, resultando em lâminas acumuladas ao final do ciclo de 976 mm, 1048 mm, 1096 mm, 1152 mm e 1202 mm, nessa ordem. Determinou-se a ETo diária utilizando a equação de Penman-Monteith, parametrizada conforme o Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 1998). Para isso, a aquisição de dados meteorológicos foi feita ao longo do ciclo da cultura, por meio da obtenção dos dados em uma PCD (plataforma de coleta de dados) automatizada, localizada a 700 m da área experimental, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Durante os primeiros 186 dias após o corte (DAC), todas as parcelas experimentais receberam igualmente uma lâmina de 607 mm, para compensação do déficit hídrico anual na região (precipitação igual a 29 mm). Após esta data, iniciou-se a diferenciação das lâminas a partir da aplicação dos tratamentos. Os eventos de irrigação foram feitos por um sistema de gotejamento, com orifícios espaçados a 0,40 m e vazão média de 1,32 ± 0,12 L/h, que foi acionado nas terças e sextas-feiras, no período da manhã. A irrigação foi controlada no tempo a fim de atender aos diferentes tratamentos.

Ao longo do tempo foi monitorado o conteúdo de água no solo utilizando uma sonda capacitiva (Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltda, Austrália), calibrada localmente de acordo com a metodologia citada pelo fabricante (SENTEK, 2001). Para o monitoramento, foram instalados

20 tubos de acesso no solo até a profundidade de 0,70 m, nas fileiras centrais e no centro de cada linha. As leituras foram realizadas a cada 0,10 m de profundidade nas segundas, quartas e sextas-feiras de cada semana.

Com os dados de conteúdo de água no solo, aplicou-se o método do balanço de água no solo (BAS) (REICHARDT, 1985) para a determinação do consumo de água da palma forrageira, considerando os ganhos e as perdas de água por escoamento superficial e, no caso do subsuperficial, desprezíveis ou que se anulam. Assim, o BAS foi descrito por meio dos processos que compõem os termos da Equação 1.

$$P + I \pm Q_z - ET \pm \Delta H_z = 0 \quad (1)$$

em que: P = precipitação (mm); I = irrigação (mm), referentes aos tratamentos; Q_z = Fluxo de água no solo (mm); ET = evapotranspiração real (mm) e ΔH_z = variação do armazenamento de água do solo até a profundidade de controle (0,60 m). A mensuração do Q_z foi feita por meio de equações físico-hídricas calibradas localmente em função do conteúdo de água no solo para cada profundidade, conforme descritas por Araújo Primo et al. (2015).

O balanço de água no solo foi conduzido em intervalos de 14 dias, sendo contabilizados 27 períodos até o final do experimento.

A partir da relação entre os valores de ET acima descrito e ETo (calculada pela equação de Penman-Monteith) foi obtido o coeficiente de cultura (K_c) ao longo do ciclo.

Na ocasião da colheita, em junho de 2013, aos 380 DAC, foi determinado o rendimento de matéria verde e seca. Para isso, retiraram-se as bordaduras, e foram colhidas 22 plantas por parcela, pesadas e contabilizados o número total de cladódios por planta (NCT). Foi analisada uma planta por parcela (20 plantas no total), para caracterização morfológica, de modo que foram registradas as dimensões lineares dos cladódios: comprimento (CC), largura (LC), espessura (EC) e perímetro (PC). Os mesmos foram pesados, fragmentados, colocados em sacos de papel e levados para uma estufa de circulação forçada a 65°C até alcançarem peso seco constante. Posteriormente, estes foram pesados em balança de precisão para obtenção da matéria seca da planta.

Com os dados do balanço de água no solo e de rendimento da cultura foram determinados indicadores hídrico-econômicos de desempenho do uso da água para a palma forrageira, de acordo com as metodologias sugeridas por Pereira, Cordery e Iacovides (2012) e Rodrigues e Pereira (2009), sendo utilizados os indicadores:

Fração do uso Consultivo (FC): representa a relação entre a quantidade de água que foi evapotranspirada pela cultura em relação à entrada de água no sistema, via precipitação e, ou, irrigação. Indica a quantidade de água que não está mais disponível no sistema solo-planta (Equação 2).

$$FC = \frac{ET}{(P + I)} \quad (2)$$

Produtividade de água da cultura (PA_c) ou eficiência no uso de água (EUA), que, para o caso específico da palma possuem o mesmo significado, visto que toda a parte aérea da planta é utilizada para comercialização. Estes termos traduzem a relação entre a biomassa alcançada pela cultura (em termos de matéria verde ou madeira seca) em função de determinada lâmina de água recebida (precipitação e irrigação) (Equação 3), ou em função da água evapotranspirada (Equação 4).

$$EUA_{(P+I)} = \frac{Y_a}{(P+I)} \quad (3)$$

$$EUA_{(ET)} = \frac{Y_a}{(P+I \pm Q \pm \Delta H_z)} \quad (4)$$

em que: Y_a representa a produtividade alcançada em cada tratamento (Kg), sendo que o denominador da Equação 4, é constituído pelos componentes do balanço de água no solo.

A produtividade econômica de água (PEA) representa, em termos monetários (US\$), o retorno financeiro alcançado, para um determinado rendimento máximo bruto. Este pode ser caracterizado pela venda de biomassa fresca em relação a cada m^3 de água fornecida à cultura (Equação 5) ou em relação ao total evapotranspirado (Equação 6).

$$PEA_{(P+I)} = \frac{\text{Valor}(Y_a)}{(P+I)} \quad (5)$$

$$PEA_{(ET)} = \frac{\text{Valor}(Y_a)}{(P+I \pm Q \pm \Delta H_z)} \quad (6)$$

Finalmente, a produtividade econômica da terra (PET) representa o retorno financeiro (US\$) da produtividade por área cultivada. Para o caso da palma forrageira, o valor da PET pode ser determinada em termos de cladódios, destinados para semente, e rendimento de matéria verde, destinada para forragem (Equações 7 e 8, respectivamente).

$$PET_{(\text{Cladódios})} = NCT (IDCP_{O1} + IDCP_{O2} + IDCP_{O3...} + IDCP_n) NP_{\text{final}} \text{ ValorUS\$} \quad (7)$$

em que: NCT é o número de cladódios totais médios por planta, IDCP é o índice de distribuição dos cladódios na planta, por ordem de inserção, expresso em percentagem, NP_{final} é o estande final da área, sendo 15625 plantas por hectare, oriundo do espaçamento adotado.

Neste trabalho, foram considerados aptos para “semente”, apenas aqueles de primeira e segunda ordem, representados pelo Índice de distribuição de cladódios na planta de primeira e segunda ordem ($IDCP_{O1}$ e $IDCP_{O2}$), devido ao seu desenvolvimento mais completo.

$$PET_{(\text{Rendimento})} = \text{Rendimento MV (ValorUS\$)} \quad (8)$$

Os valores monetários utilizados foram de US\$ 0,07 e US\$ 45,5 para os cladódios (unidade) e rendimento de matéria verde (tonelada), nesta ordem. Estes valores foram informados pelo Instituto Agronômico de Pernambuco e por agricultores locais, considerando a conversão de moedas de R\$ 2,20 / \$ 1,00. Os valores de PEA e PET foram determinados com base nas margens brutas da cultura e de água.

Os resultados dos componentes do balanço de água no solo e todos os índices hídrico-econômicos foram submetidos à análise de variância e, em seguida, as médias foram comparadas entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, por meio do programa “Genética Quantitativa e Estatística Experimental” - GENES.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os componentes do balanço de água no solo (Tabela 1), a ΔA foi o único que apresentou diferença entre os tratamentos ($p < 0,05$), evidenciando que a variação no armazenamento de água foi maior quando houve aumento das lâminas de irrigação aplicadas (Tabela 1).

Tabela 1. Componentes do balanço de água no solo acumulados (drenagem profunda - DP, ascensão capilar - AC, variação do armazenamento de água no solo - ΔA , evapotranspiração real acumulada - ET) e Fração de uso Consultivo (FC) do clone de palma forrageira, Orelha de Elefante Mexicana, sob diferentes lâminas de água (P+I), no Semiárido brasileiro.

P+I	DP	AC	ΔA	ET	FC
mm	mm	mm	mm	mm	%
976	-103,97 a	0,00 a	16,37 c	855,26 a	0,88 a
1048	-37,80 a	0,00 a	23,19 bc	985,77 a	0,94 a
1096	-23,14 a	0,00 a	35,14 ab	1036,04 a	0,95 a
1152	-104,56 a	0,00 a	43,71 a	1000,58 a	0,87 a
1202	-121,83 a	0,00 a	49,79 a	1026,76 a	0,85 a
Média	-78,26	0,00	-	980,88	0,90

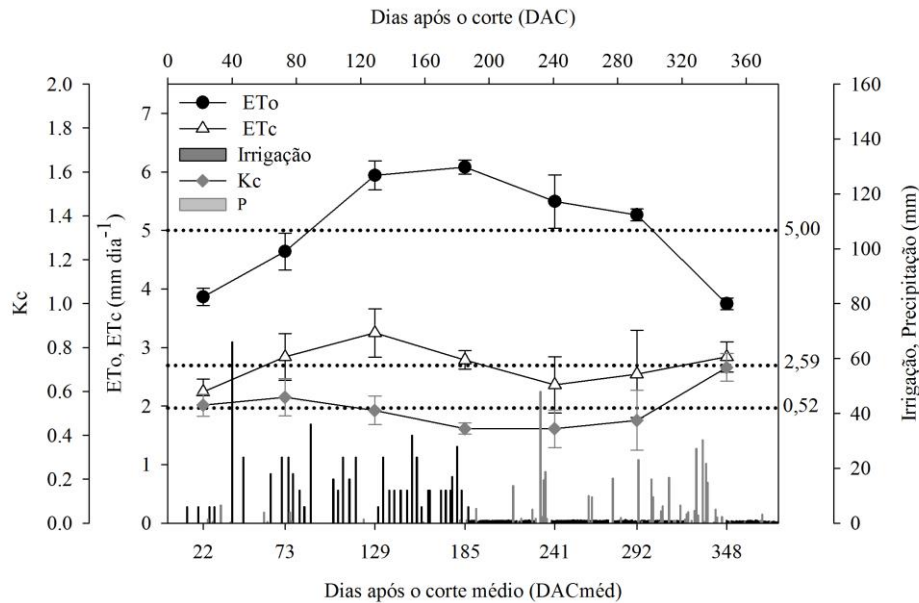
Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.

Verificou-se para as lâminas de 976 mm, 1048 mm e 1096 mm, uma tendência de aumento da ΔA , e conseqüentemente dos valores de ET. Para as lâminas 1152 mm e 1202 mm não foi verificado este comportamento. Deste modo, pode-se inferir que, o clone Orelha de Elefante Mexicana, em condições de maior disponibilidade de água no solo, não a utiliza plenamente no processo de evapotranspiração.

Essa afirmativa pode ser confirmada pelos dados da fração de uso consultivo da água (FC), que não apresentaram diferenças entre os tratamentos, e o valor médio para o ciclo foi igual a 0,90 (Tabela 1); isso indica que, 10% da quantidade de água aplicada no sistema (P+I) não foram utilizadas no processo de ET. Na literatura, a FC também é conhecida como fração de redução de água, que permite verificar as mudanças no consumo de água, sendo considerados como aceitáveis para regiões de clima semiárido entre 0,6 e 1,1 (BOS; BURTON; MOLDEN, 2005; SILVA et al., 2011b). O valor obtido neste trabalho encontra-se na faixa ideal admitida para a região. Silva et al. (2011b) encontraram o valor médio de 0,56 para a cana-de-açúcar, ciclo soca, nas condições climáticas Semiáridas do Submédio Vale do São Francisco. As perdas por DP foram baixas, e a umidade no solo foi mais elevada nas lâminas superiores por tempo mais prolongado. Como a palma forrageira não tolera solos mal drenados e muito úmidos, isto pode ser uma justificativa para as menores produtividades observadas nestas lâminas (<131,16 ton. MV ha⁻¹). Han e Felker (1997), analisando a espécie *Opuntia ellisiana* L., em sequeiro na região Semiárida de Kingsville, Texas, EUA, durante o quarto ano produtivo, mostraram que a variação do armazenamento de água no solo entre 0,15 e 1,35 m de profundidade, não foi superior a 15 mm e nem inferior a 10 mm, para a estação chuvosa e seca, nessa ordem, quando precipitação acumulada foi de 662 mm.

Em relação a evapotranspiração (ET) e o coeficiente de cultura (Kc) da palma forrageira (Figura 1), os mesmos foram determinados para a lâmina de água de 1048 mm, que promoveu a maior magnitude da produtividade da cultura (146,33 ton. MV ha⁻¹).

Figura 1. Valores médios da ETo, ETc e Kc do clone de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, ao longo do período experimental, submetida a diferentes lâminas de água no Semiárido brasileiro.



A ET observada aumentou nos períodos iniciais de crescimento da cultura até os 129 DAC (8/10/2012), alcançando um valor máximo de 3,25 mm dia⁻¹, com variação semelhante ao da ETo (Figura 1). Após este período, é observada redução da ET, chegando a 2,79 mm dia⁻¹ aos 185 DAC (4/12/2012). A partir dos 185 DAC, observa-se uma redução da ET em decorrência da diminuição da ETo, por causa do aumento da nebulosidade. Após os 292 DAC (20/03/2013), foi constatado uma redução da ETo, devido ao início da estação de outono, que promoveu menores valores de radiação e temperatura do ar. Porém, os valores de ET ainda se mantiveram maiores, devido ao estágio de desenvolvimento mais avançado da cultura. A ET acumulada foi de 985,77 mm para o ciclo de 380 dias, com média de 2,59 mm dia⁻¹.

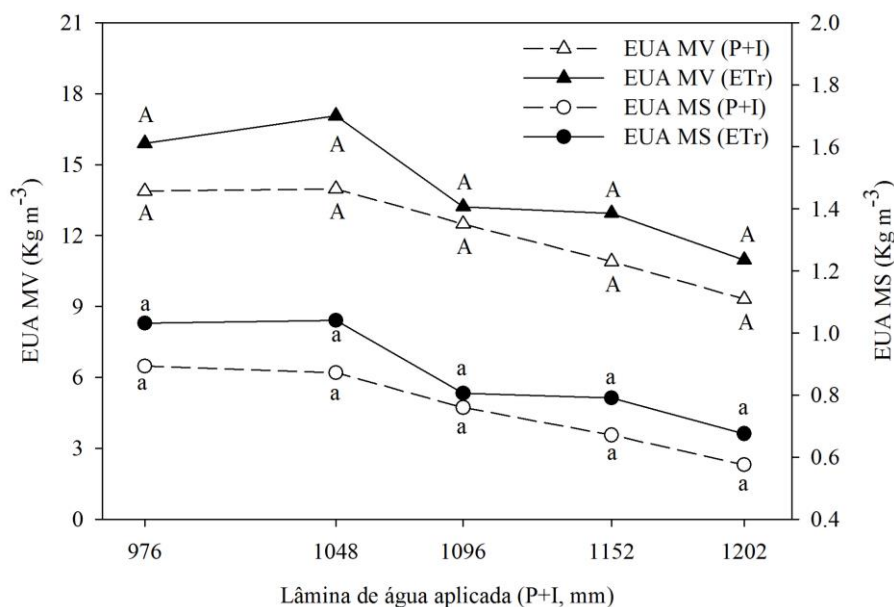
Os valores de ET obtidos no presente trabalho são superiores aos reportados por Han e Felker (1997), que, estudando a espécie *Opuntia ellisiana* L, sob condições de sequeiro do Kingsville, Texas, EUA, obtiveram uma ET média em torno de 1,53 mm dia⁻¹ e 1,73 mm dia⁻¹, quando os valores de precipitação por ano foram de 883 mm e 662 mm, respectivamente. Consoli, Inglese e Inglese (2013), no Mediterrâneo, Sicily, Itália, encontraram o valor médio de 2,5 mm dia⁻¹, para a palma, *Opuntia ficus indica*, quando esta recebeu 1329,1 mm de água.

Apesar de valores superiores aos relatados em outros trabalhos científicos para a palma forrageira, verifica-se que a ET média diária dessa espécie ainda é baixa, quando comparada com outras culturas agrícolas. Campos et al. (2008), usando o método do balanço de água no solo, encontraram valores entre 3,0 e 4,0 mm dia⁻¹ para um pomar de mangueira (C3), variedade Tommy Atkins, cultivado em condições irrigadas, em Petrolina, PE. Nas condições climáticas de Barbalha, CE, Bezerra et al. (2010) determinaram para o algodoeiro (C3), cultivar BRS-200 Marrom, irrigado por aspersores, por meio do método da Razão de Bowen, valores de 3,8; 5,0; 5,9 e 5,4 mm dia⁻¹, para as fases de desenvolvimento: emergência, crescimento vegetativo, desenvolvimento reprodutivo e período de maturação.

O comportamento do K_c acompanha similarmente a variação dos valores de ET, porém com menores amplitudes. Assim, como para a ET, os maiores valores de K_c também foram observados no período transcorrido até os 129 DAC. Essas alterações do K_c ao longo do ciclo, são, na sua maioria, devido aos ajustes fisiológicos da cultura ao ambiente, o que mostra a capacidade de adaptação de seus órgãos vegetativos às condições variáveis de solo e clima. O maior valor observado de K_c , ocorreu no final do ciclo, proporcionado pelo máximo crescimento vegetativo. A média do K_c foi de 0,52, com pouca variação ao longo do tempo.

Os dados referentes à eficiência do uso de água (EUA), em base verde (MV) e em base seca (MS), não apresentaram diferença entre os tratamentos ($p > 0,05$) (Figura 2), porém tendeu a reduzir a sua magnitude com o aumento das lâminas aplicadas.

Figura 2. Eficiência do uso de água (Lâminas e ETr) do clone de palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, aos 380 DAC, submetida a diferentes lâminas de água, no Semiárido brasileiro. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si estatisticamente ($p > 0,05$) pelo teste de Tukey.



A EUA foi maior quando se considerou a lâmina evapotranspirada, uma vez que a mesma foi menor que a recebida via precipitação pluviométrica ou que aplicada pela irrigação. Este comportamento foi semelhante aquele constatado por Sousa et al. (2000) para o meloeiro. Os valores médios da $EUA_{(ET)}$ durante o período analisado foram iguais a $14,02 \text{ Kg m}^{-3}$, para MV, e de $0,87 \text{ Kg m}^{-3}$, quando se considerou a MS (Figura 2). Em relação a $EUA_{(P+I)}$, em base fresca foi obtido o valor de $12,1 \text{ Kg m}^{-3}$, e em base seca de $0,75 \text{ Kg m}^{-3}$.

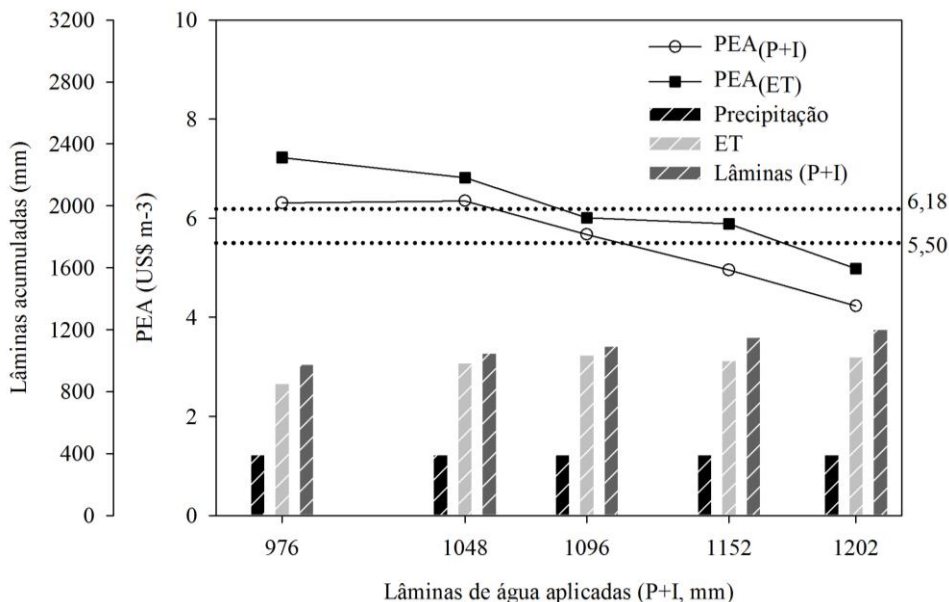
Na literatura são poucos os trabalhos que relatam a EUA da palma forrageira, com destaque para aqueles obtidos por Consoli, Inglese e Inglese (2013), os quais verificaram valores de EUA de $4,6 \text{ Kg MS m}^{-3}$ e $4,4 \text{ Kg MS m}^{-3}$, para o ano de 2009 e 2010, quando a ETC acumulada foi de 286 mm e 252 mm, nesta ordem. Han e Felker (1997) encontraram EUA equivalentes a $2,54 \text{ Kg MS m}^{-3}$, no terceiro ano produtivo da cultura, e na ordem de $3,51 \text{ Kg MS m}^{-3}$ no quarto ano. Em ambos os trabalhos, verifica-se que os dados de EUA foram superiores aos encontrados neste trabalho, em decorrência da maior idade da cultura quando comparada ao presente experimento, que foi conduzida por apenas um ano produtivo.

Os valores aqui obtidos para EUA, para matéria seca, estão mais próximos daqueles encontrados por Silva et al. (2014), para três clones de palma forrageira no Semiárido Pernambucano, considerando um ciclo de dois anos. Os autores obtiveram valores de $EUA_{(P)}$ de $0,81 \text{ Kg MS m}^{-3}$, durante dois anos de ciclo e em condições de sequeiro, e de $0,91 \text{ Kg MS m}^{-3}$ com base na ET. Em relação à base fresca, os valores encontrados por este autor foram inferiores aos do presente estudo, na ordem de $8,68 \text{ kg MV m}^{-3}$, com referência à precipitação pluvial e $9,71 \text{ kg MV m}^{-3}$ com referência à ET. Ramos et al. (2011) determinaram a eficiência no uso da água proveniente da chuva para a palma forrageira, cv. Italiana, em Soledade, Mesorregião do Agreste paraibano, encontrando o valor de $0,61 \text{ Kg MS m}^{-3}$ no sistema mais adensado de plantio (1,0 X 0,5 m), quando comparado ao presente estudo.

Esses valores de EUA são inferiores ao de espécies C3 e C4 relatados na literatura. Parizi et al. (2009), avaliando a cultura do milho (planta C4), com manejo de água baseado na relação entre as lâminas de irrigação e percentagens da evaporação do tanque classe A, obtiveram valores médios de EUA de $3,29 \text{ Kg MS m}^{-3}$, em relação ao total de água aplicado, com menores valores observados para a lâmina de 120% ($3,0 \text{ Kg MS m}^{-3}$). Coelho et al. (2006), realizando o manejo de irrigação de duas cultivares de banana (planta C3), na região Norte de Minas Gerais, possibilitou a obtenção de valores de EUA de $4,93 \text{ Kg MV m}^{-3}$, para a cultivar Prata Anã, e de $8,88 \text{ Kg MV m}^{-3}$, para a cultivar Grande Naine, com lâmina aplicada de 802 mm e precipitação acumulada de 1015 mm. Souza et al. (2011) avaliaram sistemas de plantio exclusivo e consorciado das culturas do milho e feijão-caupi (Plantas C4 e C3, respectivamente), com manejo de água baseado em valores relativos a 0%, 50%, 75%, 100% e 125% da ETo. Para o milho em plantio exclusivo, houve incrementos da EUA na medida em que se aumentaram as lâminas de irrigação, atingindo $77,3 \text{ Kg m}^{-3}$ na lâmina de 125% da ETo. Para a cultura do feijão-caupi, o valores de EUA foram crescente até o percentual de 75% da ETo ($31,3 \text{ Kg m}^{-3}$), com redução de seus valores em lâminas de água maiores.

Em relação aos valores obtidos para PEA, em termos de lâminas recebidas (P+I) e de água evapotranspirada (ET), observa-se que não houve diferenças entre as lâminas aplicadas (Figura 3).

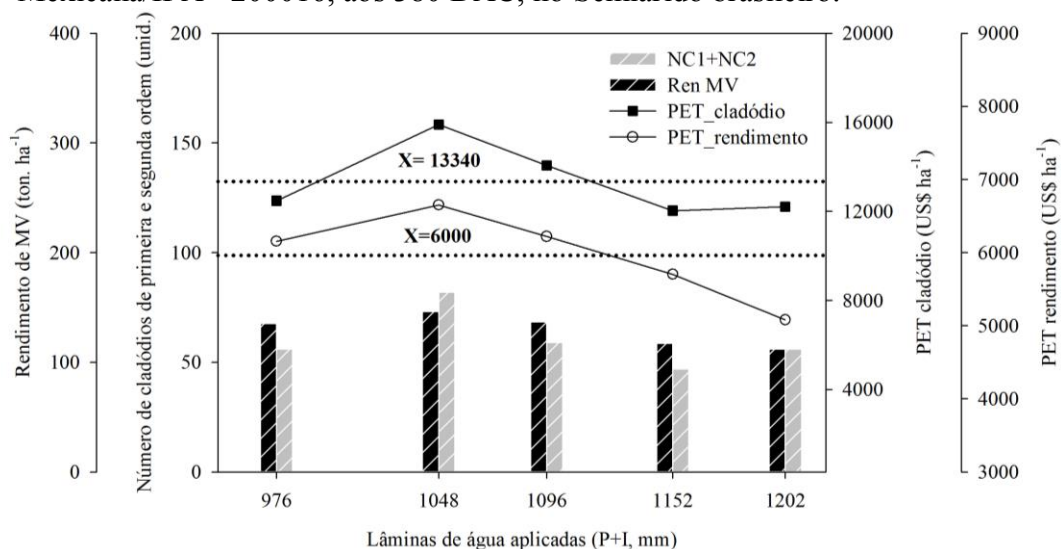
Figura 3. Produtividade econômica da água (PEA), considerando as entradas (P+I) e saída (ET) de água no sistema, em função de diferentes lâminas de água, em área cultivada com palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, aos 380 DAC, no Semiárido brasileiro.



Os valores médios obtidos para a $PEA_{(P+I)}$ e $PEA_{(ET)}$ foram, respectivamente, 5,50 e 6,18 US\$ m⁻³. No primeiro caso, o retorno econômico bruto do produtor foi de 5,50 US\$ por cada m³ de água aplicada. Silva et al. (2014) para a região Semiárida Pernambucana, encontraram $PEA_{(P)}$ e $PEA_{(ET)}$ de 3,54 e 3,95 R\$ m⁻³ (equivalente a 1,61 e 1,80 US\$ m⁻³, assumindo 1,00 US\$ equivalente a R\$ 2,20), para uma precipitação acumulada de 1269,1 mm e evapotranspiração real acumulada de 1056,7 mm. Araya et al. (2011) obtiveram valores médios de $PEA_{(I)}$ variando de 0,78 US\$ m⁻³ a 1,01 US\$ m⁻³ para o capim teff. Teixeira, Bastiaanssen e Bassoi (2007) determinaram valores médios de $PEA_{(P+I)}$ e $PEA_{(ET)}$ equivalentes a 0,49 e 0,93 US\$ m⁻³ para uva de vinho e de 2,77 e 6,51 US\$ m⁻³ para uva de mesa.

Em termos de produtividade econômica da terra (PET), adotando os preços pagos por unidade de cladódio e toneladas de MV, verificou-se efeito não significativo dos tratamentos (Figura 4).

Figura 4. Produtividade econômica da terra (PET), em termos de cladódios semente e de rendimento de matéria verde para forragem, submetida a diferentes lâminas de água, em área cultivada com palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA - 200016, aos 380 DAC, no Semiárido brasileiro.



Todavia, na lâmina de 1048 mm, houve um aumento dos valores de $PET_{\text{cladódio}}$, em decorrência do maior número de cladódios de primeira e segunda ordem, observados nesta lâmina. Para a $PET_{\text{cladódio}}$, o valor médio foi de 13.340 US\$ ha⁻¹. Por sua vez, em relação à $PET_{\text{rendimento}}$, o valor médio observado foi igual a 6.000 US\$ ha⁻¹. Essa diferença entre os valores de PET, em torno de 7.340 US\$ ha⁻¹, deve-se ao maior valor econômico de cladódios destinados para semente. Pereira, Cordery e Iacovides (2012) determinaram a PEA e PET para as culturas do milho e do trigo, em duas condições climáticas (normais e com alta demanda atmosférica), na região do Sudeste de Portugal. Estes autores mostraram que, para a cultura do milho, que é fortemente influenciada pela disponibilidade hídrica, os valores de PEA e PET aumentam com o acréscimo da água. Já para o trigo, a PEA diminui quando aplicada irrigação suplementar às chuvas, uma vez que é uma cultura de inverno, sendo mais exigente em termos de valores de temperatura do ar. Vale salientar que devido ao fato dos valores de PEA e PET serem determinados em função dos preços do produto, seu valor pode oscilar de acordo com a sua oferta e demanda, e ao longo do tempo (ARAYA et al., 2011).

6 CONCLUSÕES

A evapotranspiração acumulada para o ciclo da palma forrageira, cv. Orelha de Elefante Mexicana/IPA-200016, irrigada por gotejamento no Semiárido brasileiro, foi de 985,77 mm, com média de 2,59 mm dia⁻¹, e valor de coeficiente de cultura de 0,52, sendo superiores aos relatados na literatura para a espécie. A eficiência no uso de água pela palma forrageira tendeu a diminuir com o aumento das lâminas de água aplicadas, e o retorno econômico bruto, representada pela PEA, foram maiores aos relatos para outros cultivos na literatura.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro (processo n.º. 475279/2010-7) e pela concessão da Bolsa de pós-graduação.

8 REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, Irrigation and drainage, paper 56, 1998. 300p.
- ARAÚJO PRIMO, J. T.; SILVA, T. G. F.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; 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**, Viçosa, v. 62, n.1, p. 020-029, 2015.
- ARAYA, A.; STROOSNIJDER, L.; GIRMAY, G.; KEESSTRA, S. D. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.)). **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 775-783, 2011.
- BEZERRA, J. R. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B.; DIAS, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom, irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 6, p. 625-632, 2010.
- BILLESBACH, D. P. Estimating uncertainties in individual eddy covariance flux measurements: a comparison of methods and a proposed new method. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 151, n. 3, p. 394-405, 2011.
- BOS, M. G.; BURTON, M. A.; MOLDEN, D. J. Performance indicators for irrigation and drainage. In: BOS, M. G.; BURTON, M. A.; MOLDEN, D. J. (Ed.). **Irrigation and drainage performance assessment, practical guidelines**. Cambridge: CABI, 2005. p. 26-61.
- CAMPOS, J. H. B. C.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V.; BORGES, C. J. R.; SOARES, J. M., MOURA, M. S. B.; SILVA, B. B. Evapotranspiração e produtividade da mangueira sob diferentes tratamentos de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 2, p. 150-156, 2008.
- COELHO, E. F.; COSTA, E. L.; LEDO, C. A. S.; SILVA, S. O. Produtividade e eficiência de uso de água das bananeiras ‘Prata Anã’ e ‘Grand Naine’ sob irrigação no terceiro ciclo no Norte de Minas Gerais. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 460-468, 2006.
- CONSOLI, S.; INGLESE, G.; INGLESE, P. Determination of evapotranspiration and annual biomass productivity of a cactus pear (*Opuntia ficus-indica* L. (Mill.) orchard in a Semi-arid Environment. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 139, n. 8, p. 680-690, 2013.

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. T.; SANTOS, M. V. F.; LIRA, M. A.; SANTOS, D. C.; PESSOA, R. A. S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira - Clone IPA-201. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 1, p. 129-135, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

EVETT, S. R.; SCHWARTZ, R. C.; CASANOVA, J. J.; HENG, L. K. Soil water sensing for water balance, ET and WUE. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 104, p. 1-9, 2012.

GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. S.; TRIVELIN, P. C. O. Components of the water balance in soil with sugarcane crops. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 102, p. 1-7, 2011.

HAN, H.; FELKER, P. Field validation of water-use efficiency of the CAM plant *Opuntia ellisiana* in south Texas. **Journal of Arid Environments**, Amsterdam, v. 36, p. 133-148, 1997.

HERNÁNDEZ, A. F.; CASTILLO, I. O.; AMADOR, B. M.; HERNÁNDEZ, J. L. G.; TROYO-DIEGUEZ, E. Yield and physiological traits of prickly pear cactus 'nopal' (*Opuntia* spp.) cultivars under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 70, p. 97-107, 2004.

LEITE, M. L. M. V. **Avaliação de clones de Palma forrageira submetidos a adubações e sistematização de informações em propriedades do Semiárido paraibano**. 2009. 186 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2009.

LI, H.; ZHENG, L.; LEI, Y.; LI, C.; LIU, C.; LIU, Z.; ZHANG, S. Estimation of water consumption and crop water productivity of winter wheat in North China Plain using remote sensing technology. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 95, p. 1271-1278, 2008.

PARIZI, A. R. C.; ROBAINA, A. D.; GOMES, A. C. S.; SOARES, F. C.; RAMÃO, C. J.; PEITER, M. X.; CALEGARO, L. Efeito de diferentes estratégias de irrigação suplementar sobre a produção de grãos e seus componentes na cultura do milho. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 14, p. 254-267, 2009.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. **Irrigation Science**, v. 26, p. 191-202, 2008.

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

PEREIRA, L. S.; CORDERY, I.; IACOVIDES, I. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 108, p. 39-51, 2012.

RAMOS, J. P. A. F.; LEITE, M. L. M. V.; OLIVEIRA JÚNIOR, S.; NASCIMENTO, J. P.; SANTO, E. M. Crescimento vegetativo de *Opuntia ficus-indica* em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 41-48, 2011.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445 p.

RODRIGUES, G. C.; PEREIRA, L. S. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. **Biosystems Engineering**, Amsterdam, v. 103, p. 536-551, 2009.

SENTEK. **Calibration of Sentek Pty Ltd soil moisture sensors**. Stepney: Sentek Pty Ltd, 2001.

SILVA, T. G. F.; ARAÚJO PRIMO, J. T.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Revista Bragantia**, Campinas, v.73, p.184-191, 2014.

SILVA, A. C.; LIMA, L.A.; EVANGELISTA, A. W. P.; MARTINS, C. P. Evapotranspiração e coeficiente de cultura do cafeeiro irrigado por pivô central. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 1215-1221, 2011a.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S.; GOMES JÚNIOR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, p. 1257-1265, 2011b.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo Meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, p. 183-188, 2000.

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. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in Sao Francisco River basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 94, p. 31-42, 2007.