



## MODELAGEM E CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS DA PRODUTIVIDADE DA ÁGUA DA PALMA FORRAGEIRA E ECONÔMICA DA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO NO MÉDIO PAJEÚ PERNAMBUCANO

Thieres G. F. da Silva<sup>1</sup>, Luciana S. B. de Souza<sup>2</sup>, José Edson F. de Moraes<sup>3</sup>, Magna S. B. de Moura<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Prof. Adjunto, Agrometeorologia, UAST/UFRPE, Serra Talhada – PE, Fone: (0xx87) 3831-1927, thieres@uast.ufrpe.br

<sup>2</sup> Doutoranda em Meteorologia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa – MG

<sup>3</sup> Graduando do curso de Agronomia, UAST/UFRPE, Serra Talhada – PE

<sup>4</sup> Pesquisadora, Embrapa Semiárido, Petrolina – PE

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de  
Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos  
Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** Objetivou-se simular os efeitos de cenários futuros de mudanças climáticas sobre a eficiência produtiva e o retorno econômico da água de irrigação para a cultura da palma forrageira cultivada no Médio Pajeú, Pernambuco. Foi usado o modelo original de Penman Monteith e coeficiente de cultura na estimativa da evapotranspiração da palma forrageira. Foram consideradas as projeções de aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera [CO<sub>2</sub>], da temperatura do ar, da biomassa e do índice de área foliar, bem como as reduções dos valores de umidade relativa do ar e dos níveis pluviométricos. Observou-se que a evapotranspiração da cultura apresentou redução em torno de 4% e 5% para os cenários B2 e A2 do IPCC. Como consequência, a necessidade líquida de irrigação para o sistema de produção da cultura aumentará na ordem de 13% e 23%, promovendo redução na produtividade da água da cultura e na produtividade econômica da água de irrigação em 8% e 12%, para os dois cenários, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** cactácea, eficiência produtiva, semiárido.

### MODELING AND CLIMATE CHANGE FUTURE SCENARIOS OF CACTUS PEAR WATER AND IRRIGATION WATER ECONOMIC PRODUCTIVITY IN MIDDLE PAJEU, STATE OF PERNAMBUCO

**ABSTRACT:** The aim simulate the effects of climate change future scenarios on the productive efficiency and the economic return of irrigation water for the cactus pear crop cultivated in the Middle Pajeu, State of Pernambuco. The original model of the Penman Monteith and coefficient of culture was used in the estimation of the cactus pear crop evapotranspiration. They were considered the projections of increased concentration of carbon dioxide in the atmosphere [CO<sub>2</sub>], temperature of air, biomass and leaf area index, as well as the reductions in values of relative humidity and rainfall levels. It was observed that the crop evapotranspiration reduction around 4% and 5% for the scenarios B2 and A2 of the IPCC. As a result, the net need irrigation for crop production system will increase in the order of 13% and 23%, resulting reduction in crop water productivity and irrigation water economic productivity in 8% and 12%, for the two scenarios, respectively.

**KEY-WORDS:** cactacea, productive efficiency, semiarid.





## INTRODUÇÃO

No Brasil, a palma visa à subsistência dos rebanhos, sendo considerada como uma das principais forrageiras das estações secas da região Nordeste (OLIVEIRA et al., 2010). Por sua vez, a resposta das espécies as diferentes condições de cultivo tem sido avaliado por meio de modelos de simulação, que incorporam simplificações dos processos de crescimento das plantas e das suas interações com o ambiente. Quando bem elaborados permitem a avaliação dos impactos dos cenários de mudanças climáticas sobre a produção agrícola (OLESEN & BINDI, 2002). Apesar de sua resistência a ambientes áridos e semiáridos, a palma forrageira pode apresentar uma grande variabilidade em seu rendimento a depender da região de cultivo (OLIVEIRA et al., 2010). Assim, diante dos cenários de mudanças climáticas a necessidade de água e o desempenho podem ser modificados, alterando com isso a sua eficiência do uso da água. Para essa análise, pode-se utilizar indicadores como a produtividade da água da cultura, que expressa a relação entre a quantidade produzida e o volume de água aplicado ou consumido pela cultura (IGBADUN et al., 2006), bem como a produtividade econômica da água de irrigação, que é um indicador de grande importância, uma vez que permite mensurar o retorno econômico, gerados em função do uso de irrigação no sistema de produção (PEREIRA et al., 2012). Com base no exposto, objetivou-se simular os efeitos de cenários futuros de mudanças climáticas sobre a eficiência produtiva e o retorno econômico da água de irrigação para a cultura da palma forrageira cultivada no Médio Pajeú.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Esse estudo foi realizado para a palma forrageira com ciclo bienal, ou seja, com colheitas realizadas a cada dois anos. Foi usada uma série provisória de dados, resultante da média dos valores mensais dos anos de 1999 a 2011 da Estação Meteorológica Automática, pertencente à Agência Pernambucana de Águas e Clima, localizada no município de Serra Talhada, PE. A produtividade da água da cultura (CWP) foi determinada em função dos valores de requerimento líquido de água de irrigação (NIWR), por meio da seguinte expressão (ARAYA et al., 2011):  $CWP = YIELD/(NIWR \text{ ou } ETC)$ , em que, YIELD é o rendimento da cultura ( $kg \text{ ha}^{-1}$ ) e NIWR, em  $m^3 \text{ ha}^{-1}$ . O rendimento médio da palma irrigada foi assumido sendo de  $400.000 \text{ kg ha}^{-1}/2\text{anos}$ . Para a análise da produtividade econômica da água de irrigação (EWP,  $R\$ \text{ m}^{-3}$ ) foi considerado o ganho econômico por unidade de área (GI,  $R\$ \text{ ha}^{-1}$ ) e o requerimento bruto de água de irrigação (GIWR,  $m^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Assim, aplicou-se a seguinte expressão (ARAYA et al., 2011):  $EWP = GE/(GIWR)$ . O GE foi considerado de  $R\$ 150,00 \text{ ton}^{-1}$ . Os valores da GIWR foram determinados assumindo a NIWR no sistema de produção ( $m^3$ ) e a eficiência total de aplicação de água (Ef, adimensional):  $NIWR/Ef$ . No presente estudo foram assumidos três grupos de produtores quanto aos níveis de eficiência de aplicação de água no sistema de produção. O primeiro grupo é composto por produtores em que as perdas de água por evaporação são reduzidas, o solo apresenta textura média, favorecendo a retenção de água próximo ao sistema radicular das plantas, e o sistema de irrigação possui eficácia na condução de água, resultando em uma eficiência total de 95%. O segundo grupo é composto por produtores em que as perdas por evaporação são mais expressivas, o solo apresenta textura em que promove mais drenagem ou escoamento superficial são mais





efetivas, de modo que o conteúdo de água na profundidade efetiva do solo é menor, e o sistema de condução possui uma eficácia mediana, de modo que a eficiência total é em torno de 60%. O terceiro grupo de produtores as perdas de água devido a evaporação, tipo de solo e por causa da condução da água são significativas, resultando em uma baixa eficiência total de aplicação de água no sistema de produção, com valor de 40%. Na determinação dos valores de NIWR foram usados os valores acumulados de evapotranspiração da cultura (ETc) e os valores de precipitação efetiva (ARAYA et al., 2011):  $NIWR = [ETc - P_m \cdot (1 - 0,25)] \cdot 10$ , em que, ETc e Pm são a evapotranspiração da cultura e a precipitação mensais acumuladas (mm mês<sup>-1</sup>), o termo (1 - 0,25) (ARAYA et al., 2011), refere-se a precipitação efetiva, assumindo 25% de perdas devido o escoamento superficial, e 10 é o fator de conversão de NIWR de mm mês<sup>-1</sup> em m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>. A ETc foi calculada por meio dos valores da evapotranspiração de referência (ETo, mm mês<sup>-1</sup>) e do coeficiente de cultura (Kc):  $ETc = ETo \cdot Kc$ . Esse último foi assumido, sendo igual a 0,40, conforme Consoli et al. (2013). A ETo foi calculada usando o modelo original de Penman Monteith (ALLEN et al., 1988):  $\lambda ET = \{ \Delta \cdot (R_n - G) + [t \cdot \rho_a \cdot c_p \cdot (e_s - e_a)] / r_a \} / \{ \Delta + \gamma \cdot (1 + [r_s / r_a]) \}$  em que,  $\Delta$  = declividade da curva da relação entre a pressão de saturação do vapor e a temperatura média do ar (kPa °C<sup>-1</sup>); Rn = radiação líquida (MJ/m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>); G = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); t = fator de integração para escala mensal;  $\rho_a$  = densidade média do ar a pressão constante (Kgm<sup>-3</sup>);  $c_p$  = calor específico do ar (MJ Kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>); (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) = déficit de pressão do vapor do ar (kPa);  $\gamma$  = constante psicrométrica (kPa °C<sup>-1</sup>); r<sub>a</sub> = resistência aerodinâmica (s m<sup>-1</sup>); r<sub>s</sub> = resistência da superfície (s m<sup>-1</sup>). r<sub>a</sub> foi estimada pela relação  $208/u_2$ , enquanto que a r<sub>s</sub> foi calculada usando a expressão:  $r_s = r_1 / (0,5 \cdot IAF_{ativo})$ , onde, r<sub>1</sub> = resistência dos estômatos da folha bem iluminada (s m<sup>-1</sup>), sendo de 100 sm<sup>-1</sup> para a folha; IAF = índice de área foliar, calculada em função da altura da grama (h = 0,12 m), usando a equação  $IAF = 24 h$ . Para análise dos efeitos das mudanças climáticas foram utilizadas as projeções regionalizadas anuais, nos cenários B2 (otimista) e A2 (pessimista) da temperatura do ar (t<sub>ar</sub>) e da umidade relativa do ar (UR) oriundas do modelo acoplado do Hadley Centre for Climate Prediction and Research, da Inglaterra (HadCM3). Na precipitação foi considerada reduções de 10% e 20%, nessa ordem. Os valores futuros de t<sub>ar</sub> e UR foram inseridos nos cálculos de  $\Delta$  e de (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>). Os cenários de precipitação foram inseridos no NIWR. Além das anomalias das variáveis meteorológicas, assumiu-se o efeito do incremento da [CO<sub>2</sub>] sobre a resistência estomática das folhas, a qual aumentará em torno de 22%, e no IAF<sub>ativo</sub>, que será incrementado em torno de 4%, conforme citado por Lovelli et al. (2010). Estas variações foram incorporadas no cálculo do valor de r<sub>s</sub> da equação de PM:  $r_s = [r_1 \cdot (1+x)] / [0,5 \cdot IAF \cdot (1+y)]$ , em que, r<sub>1</sub> é a resistência estomática de uma folha bem iluminada (s m<sup>-1</sup>), sendo igual a 100 s m<sup>-1</sup>, x e y são os incrementos da resistência estomática e do índice de área foliar, respectivamente, em decimal (nessa ordem, igual a 0,22 e 0,04), 0,5 é um fator que representa a área foliar que contribui ativamente para a transferência de calor e vapor para a atmosfera e IAF é o índice de área foliar, sendo função de h<sub>c</sub> (altura da cultura da grama), que assume a expressão  $IAF = 24 h_c$ , sendo h<sub>c</sub> = 0,12 m. No rendimento da cultura foi assumido incrementos de 4% e 8% nos cenários B2 e A2, respectivamente, incorporados nos cálculos da CWP e EWP. Não foi considerado o efeito da temperatura na duração do ciclo da cultura, em decorrência da falta de informação quanto a necessidade térmica da palma forrageira.





## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No cenário atual, a estimativa evapotranspiração da cultura foi próxima àquela citada por Araújo Primo (2013), que encontrou valor de 1418 mm ciclo<sup>-1</sup> no Semiárido brasileiro (Tabela 1). A produtividade da água da cultura e econômica da água de irrigação estimada foram entre 51,6 e 21,7 kg MV m<sup>-3</sup> e 7,7 e 3,3 R\$ m<sup>-3</sup>, sendo superior aos valores obtidos por Araújo Primo (2013) para a palma forrageira em condição de sequeiro, que foram de 9,71 kg MV m<sup>-3</sup> e 2,62 R\$ m<sup>-3</sup>. Para o cenário futuro, prevê-se um aumento da evapotranspiração da cultura, em resposta ao incremento de déficit de pressão de vapor d'água na atmosfera, sendo de 4% e 5% maiores para os cenários B2 e A2 em relação ao cenário atual. Em conjunto com a redução dos níveis pluviométricas (10% e 20%), a necessidade líquida de irrigação para o sistema de produção da cultura aumentará, na ordem de 13% e 23%, respectivamente. Essa necessidade de água para irrigação ainda será maior se considerar os diferentes níveis de eficiência de aplicação dos produtores (Tabela 1). Como consequência, será observada uma redução na produtividade da água da cultura e na produtividade econômica da água de irrigação, em ambas, de 8% no cenário B2 e de 12% no cenário A2. Esses resultados indicam que haverá uma redução da eficiência produtiva da cultura, mesmo com o incremento de rendimento, ao passo que, o retorno econômico do produtor com base na água aplicada no sistema por irrigação também será reduzida, podendo promover diminuição da lucratividade do sistema de produção da palma forrageira irrigada. Vários autores citam que o incremento de CO<sub>2</sub> do ambiente aumenta a eficiência do uso da água, em resposta ao incremento do rendimento e da redução da evapotranspiração da cultura (HUNSAKER et al., 2000; WU et al., 2004), porém o estresse hídrico pode reduzir os benefícios desse incremento, conforme observado por Wu e Wang (2000).

Tabela 1 - Produtividade da água da palma forrageira e econômica da água de irrigação para os cenários atual e futuro (B2 – otimista e A2 - pessimista) no Médio Pajeú, considerando três níveis de eficiência de aplicação de água no sistema de produção (A – 95%, B – 60% e C – 40%).

Indicadores ou parâmetros		ETc	NIWR	GIWR	CWP <sub>(GIWR)</sub>	EWP <sub>(GIWR)</sub>
Cenários	Nível	mm ciclo <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> 2anos <sup>-1</sup>	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> 2anos <sup>-1</sup>	kg m <sup>-3</sup>	R\$ m <sup>-3</sup>
Atual	A	1277	7361	7748	51,6	7,7
	B	1277	7361	12268	32,6	4,9
	C	1277	7361	18403	21,7	3,3
B2	A	1322	8352	8792	47,3	7,1
	B	1322	8352	13920	29,9	4,5
	C	1322	8352	20880	19,9	3,0
A2	A	1338	9056	9532	45,3	6,8
	B	1338	9056	15093	28,6	4,3
	C	1338	9056	22639	19,1	2,9





ETc = evapotranspiração da cultura, NIWR = necessidade líquida de água de irrigação, GIWR = necessidade bruta de água de irrigação, CWP = produtividade de água da cultura, EWP = produtividade econômica da água de irrigação.

## CONCLUSÃO

Conclui-se que, a eficiência produtiva da palma forrageira e o retorno econômico da água de irrigação serão reduzidos com os cenários futuros de mudanças climáticas das variáveis meteorológicas e da concentração do dióxido de carbono.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO PRIMO, J. T. **Dinâmica de água no solo e eficiência do uso de água em clones de palma forrageira no semiárido pernambucano**. 2013. 108 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration**. In: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome. 1998.

ARAYA, A.; STROOSNIJDERB, L.; GIRMAY, G.; KEESSTRA, S.D. Crop coefficient, yield response to water stress and water productivity of teff (*Eragrostis tef* (Zucc.). *Agricultural Water Management*, n.98, p.775-783, 2011.

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**, Submitted September 18, 2012; January 31, 2013; posted ahead of print February 2, 2013. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000589

HUNSAKER, D.J.; KIMBALL, B.A.; PINTER JR., P.J.; et al. CO<sub>2</sub> enrichment and soil nitrogen effects on wheat evapotranspiration and water use efficiency. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.104, p.85–105, 2000.

IGBADUN, H. E.; MAHOO, H. F.; TARIMO, ANDREW K. P. R.; BAANDA A. S. Crop water productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. **Agricultural Water Management**, v.85, p.141-150, 2006.

LOVELLI, S.; PERNIOLA, M.; TOMMASOA, T. DI; VENTRELLAB, D.; MORIONDOC, M.; AMATOA, M. Effects of rising atmospheric CO<sub>2</sub> on crop evapotranspiration in a Mediterranean area. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1287-1292, 2010.





XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA  
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia  
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013  
Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade  
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia



OLESEN, J. E.; BINDI, M. Review: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, v.16, p.239–262, 2002.

OLIVEIRA, F. T. de; SOUTO, J. SILVA; SILVA, R. P. da; FILHO, F.C. de ANDRADE; JÚNIOR, E. B. PEREIRA. Palma forrageira: Adaptação e importância para os ecossistemas áridos e semiárido. **Revista Verde**, v.5, n.4, 2010.

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

WU, D. X., WANG, G. X. Interaction of CO<sub>2</sub> enrichment and drought on growth, water use, and yield of broad bean (*Vicia faba*). **Environmental and Experimental Botany**, v.43, p.131–139, 2000.

WU, D. X.; WANG, G. X.; BAI, Y. F.; LIAO, J. X. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on growth, water use, yield and grain quality of wheat under two soil water levels. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.104, p.493–507, 2004.

