

SALDO DE RADIAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DO MILHO EM DIFERENTES ÉPOCAS DE CULTIVO NO SEMIÁRIDO

Samuel Silva; Carla Sabrina da Silva; Jonatas Emanuel de Souza; Amanda Cibele da Paz Sousa; Edmaíris Rodrigues Araújo

Instituto Federal de Alagoas- Campus Piranhas, e-mail: samuel.silva@ifal.edu.br

Resumo: A determinação da demanda hídrica de uma cultura é de extrema importância, pois permite o ajuste do custo da irrigação e da eficiência de utilização da água, principalmente nas épocas em que há limitações hídricas. O consumo de água pela cultura é denominado evapotranspiração da cultura (ETc), mas devido às condições do meio, é ajustado para a Evapotranspiração real da cultura (ETr) e pode ser medido ou estimado através de diferentes métodos. Devido às diferenças climáticas entre as estações do ano, a planta pode apresentar maior ou menor evapotranspiração em função da disponibilidade de calor para tal fim. Assim, o presente trabalho teve como objetivo estimar o saldo de radiação (Rn) e a energia disponível para a evapotranspiração real do milho (ETr) cultivado em duas épocas diferentes no Sertão Alagoano. O experimento foi desenvolvido no Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas, em que os tratamentos constaram de duas épocas de plantio com 10 repetições no delineamento em blocos casualizados no tempo. A primeira época foi de dez/2016 a mar/2018 e a segunda de mar a julho de 2018. O saldo de radiação (Rn, em MJ m⁻² dia⁻¹) foi estimado em função do balanço de ondas curtas (BOC) e do balanço de ondas longas (BOL) de Doorembos & Pruitt (1975). A ETc e a ETr foram calculadas pelo método de Kc único descrito no boletim FAO 56 (Allen *et. al.*, 1998). Os dados meteorológicos para a estimativa da ETc foram obtidos na estação automática do INMET, localizada próximo à área experimental. A irrigação foi feita via gotejamento de forma a atender a necessidade da cultura. Ao final, mediu-se a produtividade de grãos, a qual foi submetida ao teste t de Student. A chuva total no ciclo 1 e 2 foi de 42 e 78 mm, sendo muito abaixo da necessidade da cultura, em que se aplicou irrigação total de 640 e 430 mm, respectivamente. A evapotranspiração da cultura (ETc) somou 654 e 451 mm nas épocas 1 e 2, respectivamente, e foi igual à evapotranspiração real da cultura (ETr), mostrando que não houve déficit hídrico. O saldo de radiação (Rn) acumulado até o estágio R4 foi de 1.277 e 1.244 MJ m⁻² dia⁻¹ nas épocas 1 e 2, respectivamente. A produtividade de grãos do milho foi de 8,9 t ha⁻¹ e 6,7 t ha⁻¹ nas épocas 1 e 2, respectivamente, entretanto, a eficiência no uso da água foi maior na época 2 em função do alto consumo hídrico pela cultura. O cultivo de milho na estação seca do Semiárido requer um maior volume de água para irrigação devido às altas taxas de evapotranspiração. Entretanto, a produtividade de grãos é maior em função da alta disponibilidade de luz para a realização de fotossíntese.

Palavras-chave: *Zea Mays* (L.), Luz, Eficiência no uso da água.

Introdução

O milho é um dos cereais mais consumidos no Estado de Alagoas, tanto como produto industrializado como na forma in natura, devido à sua utilização na alimentação humana e animal, além de desempenhar importante papel socioeconômico, principalmente na região do semiárido como cultura de subsistência. Dentre os Estados nordestinos, Alagoas ocupa o oitavo lugar no ranking de produção de milho (CONAB, 2017) e seu baixo rendimento agrícola ocorre, principalmente, devido ao cultivo predominar no período chuvoso, quando a intensidade solar diminui, devido à declinação solar causada pelo movimento de translação da terra em torno do sol, e a atmosfera se mantém com mais vapor d'água, formando grande nebulosidade e impedindo, assim, a entrada de raios solares, o que reduz a energia disponível para a cultura.

A energia oriunda da luz solar é um fator imprescindível para o milho, pois essa planta necessita de luminosidade para expressar sua alta eficiência de conversão de energia radiante em energia química. O aproveitamento da radiação por essa cultura indica o potencial da atividade fotossintética, o qual reflete diretamente na produtividade agrícola, uma vez que, por ser uma gramínea tropical C4, possui elevada eficiência fotossintética e apresenta elevadas produtividades quando submetida a ambientes favoráveis.

A radiação solar atua diretamente sobre o desenvolvimento e o crescimento das plantas, e indiretamente pelos efeitos no regime térmico de qualquer sistema terrestre (SANTOS *et al.*, 2018). Nos sistemas vegetados, essa energia captada pode ser utilizada no aquecimento do ar e das plantas (H, calor sensível), no aquecimento do solo (G), na evapotranspiração (LE, calor latente), e nos processos de sínteses biológicas (F). As medidas de balanço de radiação (Rn) em comunidades vegetais são necessárias para caracterizar as disponibilidades térmicas e hídricas, que serão fundamentais no entendimento das relações genótipos-ambiente, que determinarão a produtividade das culturas agrícolas (SOUZA *et al.*, 1999; SILVA NETO, 2006). Na evapotranspiração, parte da energia radiante é transformada em calor latente de vaporização. Portanto, toda vez que a superfície estiver bem umedecida, a maior parte da energia disponível será utilizada na evapotranspiração, o que representa aproximadamente 70% a 80% do Rn.

A evapotranspiração real (ETr) é a evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada, em crescimento ativo, com ou sem restrição hídrica, ou seja as saídas de água de um ecossistema através da transpiração das plantas e da evaporação do solo. Já a evapotranspiração da cultura (ETc) é a evapotranspiração de uma cultura em dada fase de seu

desenvolvimento, sem restrição hídrica e em ótimas condições de crescimento. A estimativa de ambas depende da evapotranspiração de referência (ET_o).

Informações quantitativas de evapotranspiração e evaporação são necessárias nos vários campos científicos que tratam dos numerosos problemas de manejo da água (Lima et al., 2001). O conhecimento da evapotranspiração real - ET_r das culturas e da vegetação em geral é de fundamental importância em atividades ligadas a gestão de bacias hidrográficas, em modelagens meteorológica e hidrológica e, sobretudo, no manejo hídrico da agricultura irrigada (Bezerra et al., 2008). Assim, o presente trabalho teve como objetivo analisar o saldo de radiação e a evapotranspiração real (ET_r) milho em duas épocas de cultivo numa região semiárida.

Materiais e Métodos

O experimento foi conduzido no Instituto Federal de Alagoas/Campus Piranhas, sendo a primeira época durante os meses de dezembro de 2016 a março de 2017 e a segunda época de março a julho de 2018, em uma área de 352 m². A cultivar de milho utilizada foi um híbrido de milho de alto potencial produtivo. O delineamento experimental utilizado em blocos ao acaso com 10 repetições. As parcelas foram compostas por 8 fileiras de 5,0 m de comprimento espaçadas a 0,80 m, resultando numa área total de 352 m², sendo que a área útil foi composta pelos 3 m centrais das três linhas do meio. O plantio foi feito em sulcos abertos manualmente, colocando-se duas sementes a cada 0,20 m. Aos 15 dias após a semeadura (DAS) será feito o desbaste, deixando a planta mais vigorosa e um estande final de 62.500 plantas por hectare. O controle de ervas daninhas foi realizada com capina manual. Foi aplicada cobertura morta na superfície do solo com uso de material vegetal cortado e seco, colocado logo após a emergência das plantas e reaplicado quando houve necessidade, na quantidade apenas para cobrir o solo, resultando em uma camada de 3 a 5 cm.

A irrigação se deu via sistema de gotejamento com vazão de 7,5 L h⁻¹ m⁻¹, pressão nominal de 10 mca e espaçamento entre gotejadores de 20 cm. A lâmina de irrigação foi estimada de acordo com a evapotranspiração da cultura (ET_c), em que os dados meteorológicos para essa estimativa foram obtidos na estação automática de aquisição de dados do INMET, localizada próximo à área experimental. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) para se fazer o balanço de água no solo (com profundidade radicular variando de 0,10 a 0,40 m) e estimar a ET_c:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e)}{\Delta + \left[\gamma (1 + 0,34 u_2) \right]} \quad (1)$$

em que: Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é o Saldo de radiação estimado ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ é o Coeficiente psicrométrico; T é a temperatura média do ar; u_2 é a velocidade média do vento a 2m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa) e e é a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

Nas estimativas de ET_c , o desenvolvimento da planta foi dividido em quatro estádios (inicial, crescimento, intermediário e final), onde consta no boletim FAO-56 (Allen et al., 1998) os comprimentos médios desses estádios e os procedimentos detalhados para o cálculo de ET_c pelo K_c único. Os coeficientes da cultura pelo método único tabelados no boletim foram ajustados e interpolados pela abordagem apresentada no próprio boletim. No ajuste de K_c foram considerados os dados climáticos reais do período e edáficos da área experimental escolhida. O ajuste para a ET_r foi feito através do coeficiente de estresse K_s .

O saldo de radiação (R_n , em $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foi estimado em função do balanço de ondas curtas (BOC) e do balanço de ondas longas (BOL) de Doorenbos & Pruitt (1975), conforme as equações 2, 3 e 4:

$$R_n = BOC + BOL \quad (2)$$

$$BOC = R_g - r R_g = R_g (1 - r) \quad (3)$$

$$BOL = - \left[4,903 \cdot 10^{-9} T_{AR}^4 (0,34 - 0,14 \sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_g}{R_{go}} - 0,35 \right) \right] \quad (4)$$

Em que: R_g é a radiação global diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); r é o coeficiente de reflexão da grama; T_{AR} é a temperatura média diária do ar (K); e_a é a pressão de vapor d'água do ar (kPa); e R_{go} é a radiação global em dias claros ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$).

A R_{go} foi estimada como:

$$R_{go} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} A) R_o \quad (5)$$

Em que: R_o é a radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); e A é a altitude do local (m).

Através da disponibilidade diária de calor latente (LE), foi feita a relação LE/Rn, em que se determinou a fração do saldo diário de radiação disponível para a evapotranspiração da cultura. Para isso, foi utilizada a ETr (mm dia⁻¹) e a constante de calor latente de vaporização (1 mm dia⁻¹ = 2,45 MJ m⁻² dia⁻¹).

$$LE = 2,45 ETr \quad (6)$$

Por ocasião da colheita a produtividade do milho foi determinada através do peso médio dos grãos na fase de maturação fisiológica, em que as amostras foram colocadas em estufa de secagem por 48 horas a 65°C para corrigir a umidade para 13%. Através dos dados de rendimento de grãos e da ETr foi determinada a eficiência no uso da água pela cultura (EUA) em mm por tonelada, conforme Hatfield et al. (2001).

$$EUA = \frac{W}{Pt} \quad (7)$$

em que: Pt é a produtividade agrícola (Mg ha⁻¹), W é a lâmina de irrigação utilizada (mm)

Os resultados obtidos foram submetidos ao teste t de Student.

Resultados e Discussão

Na época 1 a radiação global (Rg) variou de 11,02 MJ m⁻² d⁻¹ (18/03/2017) a 27,85 MJ m⁻² d⁻¹ (03/01/2017) com média de 21,50 MJ m⁻² d⁻¹ (Figura 4A), e na época 2 essa mesma variável teve mínimo, máximo e média de 11,26 MJ m⁻² d⁻¹ (22/04/2018), 35,45 MJ m⁻² d⁻¹ (27/05/2018) e média 20,55 MJ m⁻² d⁻¹, respectivamente (Figura 4B). Observa-se que na época 2 houve uma tendência de decréscimo na Rg em função de estar adentrando no período do inverno, que coincide com a estação chuvosa, quando a maior nebulosidade interfere na irradiância até a superfície. O saldo de radiação da época 1 variou de 7,71 MJ m⁻² d⁻¹ (18/03/2017) a 16,48 MJ m⁻² d⁻¹ (03/01/2017) com média 13,17 MJ m⁻² d⁻¹. Na época 2 houve uma maior variação no Rn, com mínima de 6,97 (MJ m⁻² d⁻¹) (23/04/2018), máxima de 18,91 MJ m⁻² d⁻¹ (21/05/2018) e média de 12,05 MJ m⁻² d⁻¹. O Rn total da época 1 foi de 1.290 MJ m⁻², enquanto na época 2 o acumulado foi 1.518 MJ m⁻² d⁻¹, sendo essa energia utilizada nos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar, do solo e das plantas, assim como para a fotossíntese.

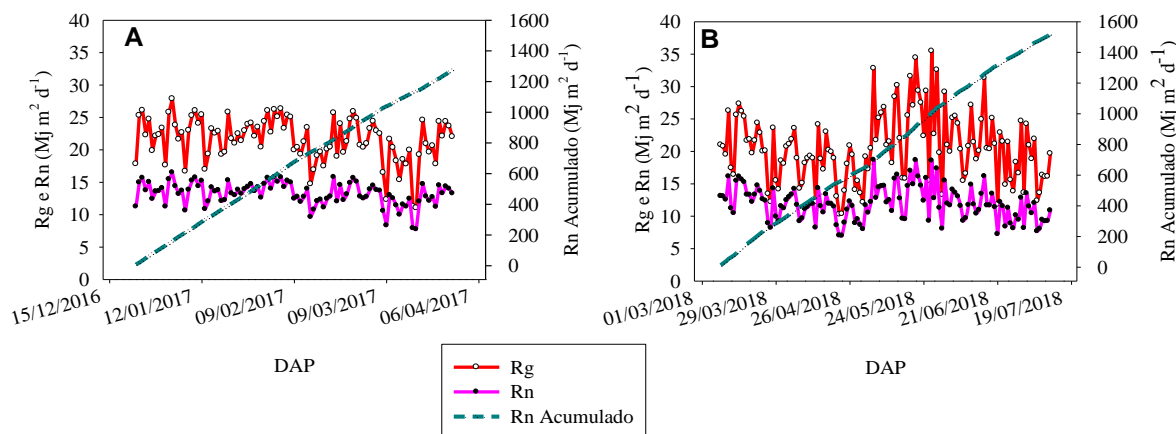


Figura 2. Valores diários de Rg e Rn e Rn acumulado de dezembro/2016 a março/2017 (A) e de março a julho/2018 (B) durante 2 épocas de cultivo de milho em Piranhas-AL.

A evapotranspiração real da cultura (ET_c) variou de 3,5 a 8,5 mm dia^{-1} e de 2,5 a 7,9 mm dia^{-1} nas épocas 1 e 2, respectivamente (Figura 3). Em que, em função da maior disponibilidade de calor na época 1, é possível observar a ET_r mais intensa.

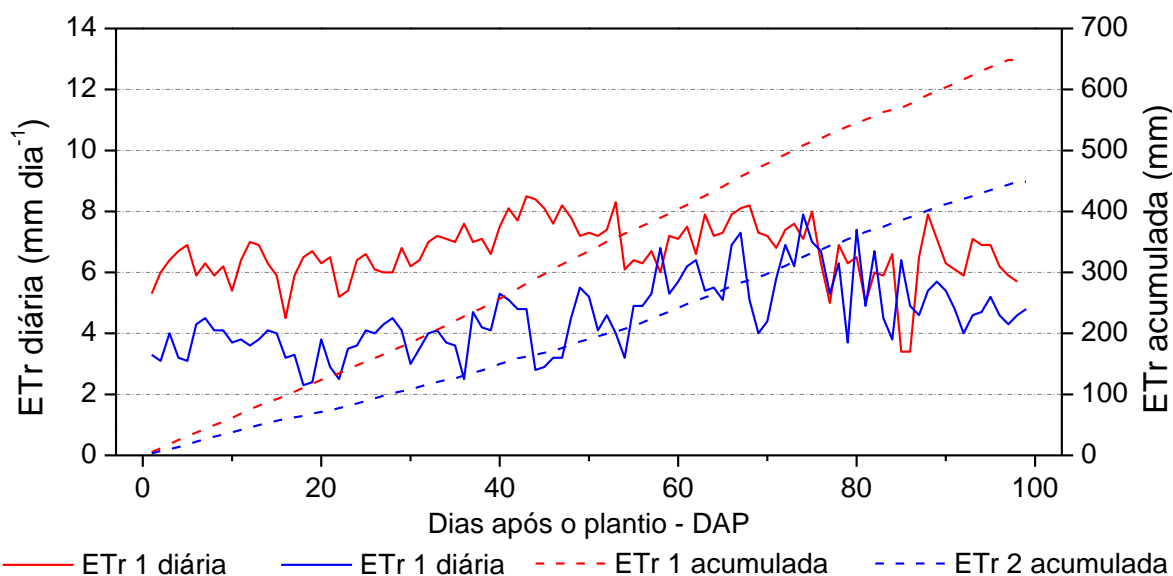


Figura 3. ET_r diária e acumulada do milho irrigado em épocas diferentes no Semiárido Alagoano.

A duração da época 1 e 2 até o estágio R4 foi de 98 e 99 dias, em que a evapotranspiração da cultura (ET_c) somou 654 e 451 mm, respectivamente, sendo igual à evapotranspiração real da cultura (ET_r), mostrando que não houve déficit hídrico (Tabela 1). O total de chuva mais irrigação foi de 787 e 484 mm nas épocas 1 e 2, respectivamente. Observa-se que na época 1 todo o saldo de radiação foi utilizado como o calor latente de vaporização. Na época 2, apenas 89% do Rn foi destinado ao LE. A produtividade agrícola foi

de 8,9 t ha⁻¹ na época 1 e 6,7 t ha⁻¹ na época 2, sendo que esta última teve maior eficiência no uso da água (14,9 kg mm⁻¹), uma vez que a demanda atmosférica e da cultura também foram menores.

Tabela 1. Variáveis avaliadas de dezembro de 2016 a março de 2017 (Época 1) e de março a julho de 2018 (Época 2) durante 2 ciclos de cultivo de milho em Piranhas-AL.

Época	Duração até o R4 (dias)	Valores totais e médios										
		ETc	ETr	P	I	P + I	Calor		Rn acumulado (MJ m ⁻²)	Relação LE/Rn	Prod.* (t ha ⁻¹)	EUA * (kg mm ⁻¹)
							latente-	LE				
							(MJ m ⁻²)					
(mm)												
1	98	654	654	42	745	787	1.602	1.277	1,25	8,9a	13,6a	
2	99	451	451	78	406	484	1.105	1.244	0,89	6,7b	14,9b	

Conclusão

A produtividade de grãos do milho irrigado é maior na estação seca da região de Piranhas-AL devido à maior disponibilidade de luz. Entretanto, a eficiência no uso da água é menor, pois requer um maior volume de água para irrigação devido às altas taxas de evapotranspiração real.

Referências

ALLEN, R. A.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (Irrigation and drainage paper, 56).

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J.; Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.3, 305-317, 2008.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO-CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2016/17**. Décimo segundo levantamento, Brasília: CONAB, setembro, 2017. 158p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Rome, 179p. 1975.

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. **Agronomy Journal**, Wisconsin, v.93, p.271-280, 2001.

LIMA, J. E. F. W.; SILVA, C. L.; OLIVEIRA, C. A. S. Comparação da evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia hidrográfica em condições naturais de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.33-41, 2001.

SANTOS, B. C.; PERUSSI, R.; PEREIRA DIEGO, N. B.; SOUZA, P. H. Agricultura Sintrópica na Bacia do Ribeirão do Feijão: uma proposição a partir dos balanços hídrico e energético na Região. **Caderno de Geografia**, v.28, n.53, 2018.

SILVA NETO, J.L. **Balanco de radiação como subsídio ao cultivo do milho nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas.** Maceió: ICAT – UFAL, 2006. 53 f. Dissertação de mestrado.

SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F.; TORNERO, M. T. T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1763-1774, 1999.