

Artigo

## Balanco de Energia, Emissao Foliar e Eficiencia do Uso da Radiao pela Cana-de-Acucar em Cultivo sem e com Palhada

Thieres George Freire da Silva<sup>1</sup> , Carlos André Alves de Souza<sup>1</sup>,  
Magna Soelma Beserra de Moura<sup>2</sup>, Fabio Ricardo Marin<sup>3</sup>, Herica Fernanda de Sousa Carvalho<sup>4</sup>,  
Mario de Mira Vilas Boas Ramos Leitão<sup>4</sup>, Josiclêda Domiciano Galvêncio<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, PE, Brasil.*

<sup>2</sup>*Laboratório de Agrometeorologia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Petrolina, PE, Brasil.*

<sup>3</sup>*Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil.*

<sup>4</sup>*Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, BA, Brasil.*

<sup>5</sup>*Departamento de Ciências Geográficas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.*

Recebido em: 16 de Setembro de 2017 - Aceito em: 11 de Abril de 2018

### Resumo

Nas últimas décadas houve mudança no sistema de colheita e manejo da palhada em canaviais de todo o Brasil, visando atender a legislação vigente e reduzir custos. A deposição de resíduos culturais sobre o solo, contudo, modifica as características micrometeorológicas do ambiente. Este trabalho reporta um estudo conduzido em Juazeiro-BA, para avaliar o efeito da manutenção da palhada no balanço de energia, emissão foliar e eficiência do uso da radiação da cana-de-açúcar. Medidas micrometeorológicas e da cultura foram feitas entre setembro de 2015 e julho de 2016. A magnitude e sazonalidade dos fluxos de calor latente, sensível e no solo foram afetadas pela presença da palhada ( $p < 0,0001$ ) com alteração na partição do LE/Rn de 84% para 64%, do H/Rn de 12% para 35% e do G/Rn de 4% para 2%, nessa ordem, para o cultivo sem e com palhada. A temperatura do ar foi maior no cultivo com palhada após o fechamento do dossel, enquanto, a umidade relativa do ar foi acrescida apenas nos primeiros meses. A modificação do microclima por causa da manutenção da palhada em campo alterou a velocidade de emissão foliar da cana-de-açúcar, mas, pouco afetou a eficiência do uso da radiação ( $2,51 \text{ g MJ}^{-1}$ ).

**Palavras-chave:** fluxo de calor sensível e latente, filocrono, uso da radiação.

## Energy Balance, Leaf Emission and Radiation Use Efficiency by Sugarcane Under Cultivation with and without Straw

### Abstract

In recent decades there has been a change in the system of harvesting and management of straw in sugarcane fields all over Brazil, aiming to comply with current legislation and reduce costs. The crop residues deposition on the soil, however, modifies the micrometeorological characteristics of the crop environment. This work reports a study conducted in Juazeiro-BA to evaluate the effect of field straw maintenance on the energy balance, development and radiation use efficiency by sugarcane. Micrometeorological and crop measurements were made between September 2015 and July 2016. The magnitude and seasonality of the latent, sensible and soil heat fluxes were affected by the presence of straw

( $p < 0.0001$ ) with a change in the LE/Rn from 84% to 64%, H/Rn from 12% to 35% and G/Rn from 4% to 2%, in that order, for the cultivation without and with straw. The air temperature was higher in the straw crop after the canopy closure, while the air relative humidity was increased only in the first months. The modification of the microclimate due to the maintenance of the straw altered the leaf emission speed of the sugarcane, but little affected the radiation use efficiency by crop ( $2.51 \text{ g MJ}^{-1}$ ).

**Keywords:** latent and sensitive heat fluxes, phyllochron, radiation use.

## 1. Introdução

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes do agronegócio brasileiro, com alta capacidade de produção de biomassa e derivados (palhada, açúcar, álcool, bagaço, vinhaça e energia), que atrelada aos incentivos do Governo Federal ou mercado consumidor sempre se mantém como foco dos investimentos e avanços tecnológicos.

A região Sudeste, com destaque para o Estado de São Paulo, é a maior produtora de cana-de-açúcar do país, seguida pelas regiões Centro-Oeste e Nordeste, que juntas totalizam 93% da área plantada (CONAB, 2015). Nessas regiões, a maioria das áreas de cultivo de cana-de-açúcar é conduzida em condição de sequeiro, mas o aumento de áreas irrigadas é expressivo (Silva *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2014). No Nordeste, dos 979 mil hectares cultivados com cana-de-açúcar, 18 mil estão situados no Semiárido brasileiro, especificamente no município de Juazeiro, BA, sob irrigação plena, utilizando água do Rio São Francisco. Com a transposição deste rio, surgem indícios do aumento da área plantada com cana-de-açúcar irrigada nesta região.

Historicamente, o setor sucro-alcooleiro-energético sofre pressão devido o uso demasiado dos recursos naturais e competição com culturas alimentícias de apelo regional. Logo, a busca pelo incremento da eficiência da irrigação tem sido constante. Simultânea à expansão de áreas irrigadas com cana-de-açúcar, na última meia década, o seu processo de colheita tem mudado de corte pós-queima para mecanizada da “cana crua”, com o intuito de atender a legislação vigente e melhorar a preservação do meio ambiente. Contudo, a produção de resíduos culturais nesta etapa é alta, embora dependa da variedade, produtividade, ciclo (cana-planta, primeira cana-soca, etc.), razão colmos:biomassa total e etapas da colheita (Fortes *et al.*, 2012). A manutenção da palhada em campo desponta como ótima alternativa de minimização do uso da água e destino do excedente de palhada da ocasião da colheita mecanizada.

A cana-de-açúcar gera mais de  $20 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de matéria seca, e sabe-se que a sua manutenção em campo pode maximizar a ciclagem de nutrientes (Van Antwerpen *et al.*, 2001; Fortes *et al.*, 2012) e a conservação da umidade do solo; com isso, a manutenção da palhada pode trazer boas contribuições para o manejo da irrigação.

A compreensão dos efeitos da manutenção da palhada em campo na resposta da cultura e de suas relações hídricas com o ambiente pode ser obtida pelo conhecimento dos processos que afetam a interação biosfera-

atmosfera. Medidas micrometeorológicas permitem quantificar a fração da energia destinada ao aquecimento do ar e do solo, bem como a energia usada no processo de transferência de vapor de água para a atmosfera (Silva *et al.*, 2011), que em conjunto, modificam o crescimento, desenvolvimento e a produtividade da cultura. Horton *et al.* (1996) descrevem o efeito da manutenção da palhada em campo sobre o balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar; já Olivier e Singels (2012) e Olivier e Singels (2015) mostram o efeito no desenvolvimento.

No Semiárido brasileiro, a elevada demanda atmosférica associada à irregularidades das chuvas implicam no uso pleno de irrigação ao longo de todo o ciclo da cana-de-açúcar. Além disso, a alta incidência de radiação solar favorece o acúmulo de matéria seca pela cultura (Silva *et al.*, 2014). As condições microclimáticas resultantes no ambiente de cultivo podem alterar a dinâmica de decomposição da palhada e, logo, os seus efeitos sobre a cana-de-açúcar.

Neste estudo, os seguintes questionamentos foram elucidados: (a) quão alterada é a magnitude e a sazonalidade dos componentes do balanço de energia da cana-de-açúcar devido a presença da palhada; (b) que modificações microclimáticas são promovidas? (c) estas alterações influenciam na emissão foliar e na conversão de radiação em biomassa pela cultura como adaptação ao novo ambiente de cultivo?

Objetivou-se avaliar o efeito da manutenção da palhada em campo sobre o balanço de energia, emissão foliar e eficiência do uso da radiação da cana-de-açúcar, com vistas à melhoria do manejo da cultura e incentivo ao desenvolvimento de políticas agrícolas de uso desta prática.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Descrição do local e tratos culturais

O experimento foi conduzido em uma área comercial de cana-de-açúcar ( $9^{\circ}29'47''\text{S}$ ;  $40^{\circ}21'42''\text{W}$ ; 400 m), variedade VAT 90-212, em Juazeiro, BA. A cultura foi implantada em 15 de fevereiro de 2013 com colmos de 12 gemas por metro linear, em sucros de 0,20 m de profundidade dispostos em fileiras duplas espaçadas em 0,7 x 1,30 m.

O primeiro ciclo da cultura (cana-planta) teve duração de 18 meses, enquanto que o segundo foi de 12

meses (primeira cana-soca) com a colheita realizada em 21-agosto-2015. Nesta data, iniciou-se o período de coleta deste estudo (segunda cana-soca), ou seja, a segunda rebrota da cultura, que se persistiu até 28 de julho de 2016, totalizando 342 dias.

O solo da área experimental é do tipo Vertissolo (Sistema Brasileiro de Classificação de Solos) (EMBRAPA, 2013). O clima da região é semiárido, com precipitação pluviométrica de 513 mm ano<sup>-1</sup>, sobretudo entre as estações do verão e do outono, e evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) de 1887 mm ano<sup>-1</sup>, conforme série de 1965 a 2015 (EMBRAPA, 2017).

Durante o ciclo da cultura, a precipitação pluviométrica foi de 345 mm, dos quais 85% concentrados em janeiro de 2016, enquanto, a ET<sub>0</sub> foi igual a 1561 mm ano<sup>-1</sup> (Fig. 1a).

A irrigação foi feita com um sistema de gotejamento subsuperficial com emissores autocompensantes tipo labirinto, espaçados em 0,5 m e vazão 1,6 L h<sup>-1</sup>, embutidos nas mangueiras enterradas a 0,20 m. As irrigações foram executadas diariamente. Ao longo do tempo foram feitos 260 eventos, totalizando 1557 mm, que adicionados de 345 mm da chuva, resultou em lâmina de 1937 mm (Fig. 1a).

A cultura foi adubada, via fertirrigação, com 420 kg N ha<sup>-1</sup>, 6,1 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, 3,7 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 2,5 kg ha<sup>-1</sup> de produto comercial à base de micronutrientes. Tratamentos fitossanitários foram conduzidos, sempre que necessários.

## 2.2. Talhões experimentais

A cana-de-açúcar foi imposta a dois níveis de cobertura do solo, um sem manutenção de palhada (9°30'36''S; 40°22'15''; 401 m) e o outro com 100% de cobertura (9°30' 43''S; 40°22'20''; 401 m). Para isso, dois talhões experimentais adjacentes, cada com 5,0 ha, foram colhidos manualmente no dia 21 de agosto de 2015; o primeiro logo após a queima e o segundo com “cana crua” (sem queima).

Neste último, o nível de palhada foi estabelecido entre os dias 25 de agosto de 2015 e 01 de setembro de

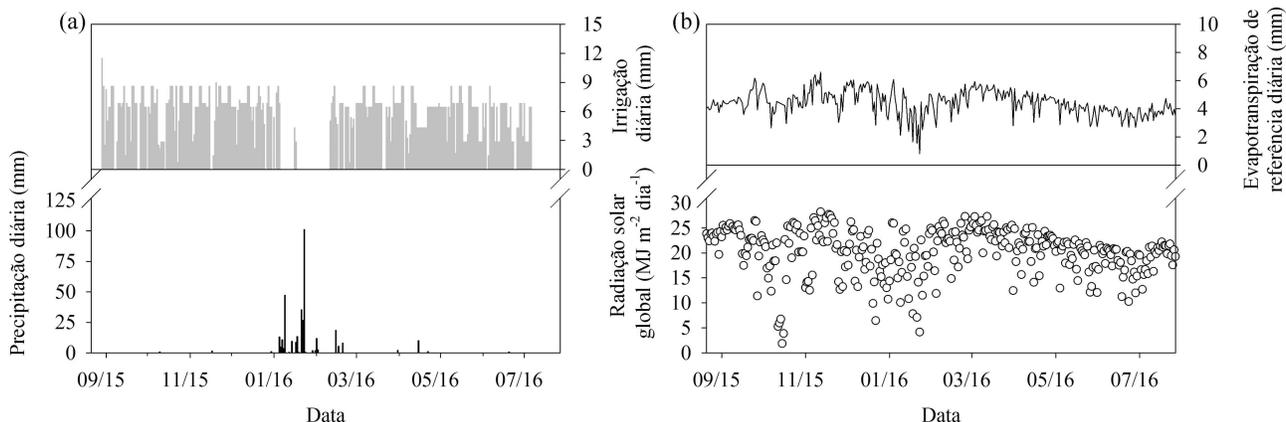
2015, a partir do enleiramento e uniformização de todo o resíduo da cultura gerado na colheita da própria área, com o intuito de garantir 100% de cobertura do solo, resultando em camada equivalente a 27,2 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca, formada por estruturas foliares (folhas e bainhas) e ponteiro (pseudocolmo e folhas emergentes), e composição média de 48 g kg<sup>-1</sup> de C e 0,41 g kg<sup>-1</sup> de N.

## 2.3. Medidas micrometeorológicas

Dois torres micrometeorológicas de ferro galvanizado com 7 m de altura, uma em cada talhão, foram instaladas no dia 03 de setembro de 2015, para monitoramento das seguintes variáveis: temperatura e umidade relativa do ar em dois níveis acima da cultura (0,50 m e 2,0 m) (HMP155A, Vaisala Inc., Helsinki, Finland), saldo de radiação a 6,8 m do dossel (RN-Lite, Kipp and Zonen, Delft, the Netherlands) e fluxo de calor no solo a 0,05 m de profundidade no solo adjacente a fileira de cultivo (HFP01SC Soil Heat Flux Plate, Hukseflux, Delft, the Netherlands). Um pluviômetro (TR525 Tipping Bucket Rain Gage, Texas Electronics, Dallas, TX, USA) foi instalado em uma das torres para contabilização dos eventos de chuva na área. Todos os sensores, de cada torre, foram conectados a um data logger (CR1000, Campbell Scientific, Logan, UT, USA) para leituras a cada 60 s, e médias ou soma a cada 10 min. Dados de radiação solar global incidente (CS305, Campbell Scientific, Logan, UT, USA) foram adquiridos de uma estação automática (ET107, Campbell Scientific, Logan, UT, USA), situada a 800 m dos talhões experimentais, que realizava medidas meteorológicas, por meio de um datalogger CR1000, a cada 60 s e médias em 30 min.

## 2.4. Balanço de energia, análise de qualidade dos dados e partições

O balanço de energia nas áreas da cultura da cana-de-açúcar foi expresso por:



**Figura 1** - Chuva, irrigação e evapotranspiração de referência diária ao longo do ciclo da cana-de-açúcar em Juazeiro, BA.

$$R_n = LE + H + G$$

em que,  $R_n$  é o saldo de radiação ( $W m^{-2}$ );  $LE$  é o fluxo de calor latente,  $W m^{-2}$ ;  $H$  é o fluxo de calor sensível,  $W m^{-2}$ ; e,  $G$  é o fluxo de calor no solo,  $W m^{-2}$ .

O  $R_n$  e  $G$  foram medidos pelo saldo radiômetro e fluxímetro, nessa ordem, enquanto o  $LE$  e  $H$  foram estimados com base no método do balanço de energia com base na razão de Bowen ( $\beta$ ), conforme procedimentos citados por [Silva et al. \(2011\)](#). Os dados de  $\beta$  e, consequentemente, dos fluxos de  $LE$  e  $H$ , foram analisados quanto as suas consistências físicas por meio da aplicação dos critérios definidos por [Perez et al. \(1999\)](#), considerando o gradiente da pressão de vapor d'água no ar, erro de medição dos sensores ( $\epsilon$ ) e sinais dos fluxos de energia.  $\epsilon$  foi mensurado conforme recomendação do fabricante dos sensores HMP155A, como citado por [Savage \(2010\)](#). A partir da análise dos valores de  $\beta$ ,  $LE$  e  $H$ , de acordo com [Silva et al. \(2011\)](#), os dias foram considerados "válidos", quando pelo menos 80% dos dados do período diurno foram consistentes. O  $LE$  e  $H$  foram integrados e expressos em  $MJ m^{-2} dia^{-1}$ . As partições do balanço de energia foram obtidas pelas razões  $LE/R_n$ ,  $H/R_n$  e  $G/R_n$ .

## 2.5. Medidas biométricas

Medidas da quantidade inicial de palhada e variação ao longo do tempo, medidas em 4-set-15 (14 DAC); 3-dez-15 (104 DAC); 2-mar-16 (194 DAC); 4-mai-16 (257 DAC); 22-jun-16 (306 DAC); e 27-jul-16 (341 DAC), foram monitoradas por meio de amostragens de quatro replicas de  $1,0 m^2$  de resíduo escolhidas aleatoriamente na área. As amostras foram fracionadas e secas em estufa de ventilação forçada de ar com temperatura de  $55 ^\circ C$ , até obtenção de peso constante.

Doze plantas por talhão foram selecionadas para monitoramento, ao longo do tempo, do número de folhas completamente expandidas e, cinco amostradas para determinação da biomassa, aos: 104 DAC, 3 de dezembro de 2015; 147 DAC, 15 de janeiro 2016; 194 DAC, 2 de março de 16; 232 DAC, 9 de abril de 2016; 257 DAC, 4 de maio de 2016; 278 DAC, 25 de maio de 2016; 306 DAC, 22 de junho de 2016; e, 341 DAC, 27 de julho de 2016. A contagem do número de folhas seguiu etapas citadas por [Silva et al. \(2012\)](#).

As plantas amostradas foram fragmentadas, inseridas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar com temperatura de  $55 ^\circ C$ , até atingir massa constante. A biomassa foi extrapolada para  $g m^{-2}$ , a partir da massa seca média por planta e da contagem do número de colmos por metro linear, a qual foi feita a partir da demarcação de quatro subparcelas de 2 m lineares por talhão. Todas as etapas seguiram a metodologia descrita por [Silva et al. \(2014\)](#).

Medidas com um ceptômetro (AccuPAR L80, Decagon Devices Inc., Pulman, USA) foram feitas, ao longo do ciclo da cultura, entre 11 h e 13 h, com quatro medidas acima e quatro abaixo do dossel de maneira alternada, de modo que o instrumento cobria a metade da fileira dupla e da rua de cultivo. As leituras foram feitas em dez subparcelas, sempre nas mesmas posições, em condições de céu claro, conforme [Silva et al. \(2013\)](#), e permitiram a medição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) acima ( $RFA_{AC}$ ) e abaixo ( $RFA_{AB}$ ) do dossel e estimativa do índice de área foliar (IAF) da cana-de-açúcar.

## 2.6. Estimativas complementares

Por meio dos dados de temperatura do ar ( $^\circ C$ ), número de folhas acumuladas (unid.), biomassa (em  $Mg ha^{-1}$ ) e, de  $RFA_{AC}$  e  $RFA_{AB}$  nas duas áreas de cultivo foram estimadas as seguintes variáveis: graus dias acumulados (GDA,  $^\circ C dia$ ); filocrono (FIL,  $^\circ C dia folha^{-1}$ ); fração interceptada da RFA ( $fRFA_I$ ); e, a eficiência do uso da radiação (EUR,  $g MJ^{-1}$ ).

O GDA foi calculado a partir da integração dos valores de GD diário (graus dia, GD diário =  $t_m - t_b$ , sendo  $t_b$  a temperatura base da cultura igual a  $10 ^\circ C$ ) ([Smith; Singels et al., 2005](#)). O FIL é equivalente ao inverso da taxa de aparecimento foliar, a qual foi obtida a partir do coeficiente angular da regressão linear entre o número de folhas completamente expandidas acumuladas e GDA ([Sinclair et al., 2004](#)).

A  $fRFA_I$  foi estimada por  $fRFA_I = 1 - RFA_{AB}/RFA_{AC}$  ([Singels et al., 2005](#)). EUR, em  $g MJ^{-1}$ , foi estimada pela razão entre BSTPA, em  $t ha^{-1}$ , e  $RFA_I$ , em  $MJ m^{-2}$ . A EUR foi resultante do coeficiente angular da regressão entre a biomassa seca e a RFA interceptada acumuladas ( $10^6 \cdot Y / 10^4 / RFA_I$ , sendo  $10^6$  fator de conversão de Mg para g e  $10^4$  de hectare para  $m^2$ ) ([Silva et al., 2013](#)).

## 2.7. Análise de dados e procedimentos estatísticos

Os dados foram comparados entre as duas áreas para análise do efeito da manutenção da palhada nos fluxos de energia, suas partições, microclima e sazonalidades, IAF,  $fRFA$ , FIL e EUR da cana-de-açúcar. Para tanto, aplicouse o teste de Lilliefors para comprovação da não normalidade dos resíduos.

Quando o intuito foi avaliar a variação sazonal dos dados micrometeorológicos ao longo do tempo, os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Dunn foram aplicados ao conjunto de dados de cada área, com resultados de diferenças, expressas mensalmente. Por outro lado, quando o interesse foi analisar a existência de diferença entre as duas áreas de cultivo, no mesmo mês, o teste de Mann-Whitney foi usado.

Medidas do IAF e  $fRFA$  foram tratadas apenas na existência de diferenças entre as duas áreas de cultivo, data a data. Além disso, estatística descritiva foi estabelecida com os dados médios e intervalo de confiança de  $\alpha$  a  $1-\alpha$ , sendo  $\alpha$  igual a 5%. Todos os procedimentos estatísticos foram feitos por meio do aplicativo XLSTAT v.2016.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Efeitos da manutenção da palhada em campo no balanço de energia

Analisando-se os valores diários do saldo de radiação ( $Rn(\text{dia})$ ) e do fluxo de calor no solo ( $G(\text{dia})$ ), notou-se menor variação do  $Rn(\text{dia})$  no cultivo com palhada (Tabela 1, K-W,  $p < 0,001$ ), e magnitudes inferiores nos dois primeiros meses e maiores nos dois últimos, quando comparadas ao cultivo sem palhada (Tabela 1, M-W,  $p < 0,001$ ).

No início do ciclo, o baixo índice de área foliar e a camada espessa de palhada (Fig. 2) elevam o albedo e reduzem o fluxo de radiação de ondas longas entre a superfície e a atmosfera, e vice-versa, promovendo menores valores de  $Rn(\text{dia})$ . Ainda, a menor incidência de radiação solar acima da superfície do solo diminuiu o  $G(\text{diário})$ . Logo, diminuições expressivas são observadas na temperatura do solo, como citadas Horton *et al.* (1996) e por Awe *et al.* (2015).

O pico do índice de área foliar entre os meses de março e abril de 2016 (Fig. 2a), em ambas as áreas de cultivo, diminuiu a incidência de radiação acima da superfície do solo, no entanto, a presença da palhada amortizou as perdas de radiação de ondas longas, o que resultou em  $G(\text{diário})$  mais negativo quando comparado ao cultivo sem palhada (Tabela 1).

No final do ciclo, o aumento das folhas mortas nas plantas e suas exposições por causa do tombamento mais pronunciado da cultura no sistema sem palhada incrementou o albedo da superfície e, logo, diminuiu o  $Rn(\text{diário})$  (Tabela 1). Além disso, a redução do índice de área foliar intensifica a perda de radiação de ondas longas pela superfície.

No cultivo com palhada, por sua vez, o acréscimo da biomassa acima do solo devido a deposição de folhas mortas, como constatada nas últimas duas amostragens de biomassa de palhada remanescente (Fig. 2b), e tombamento das plantas, aumentou o albedo da superfície, logo, o  $Rn(\text{diário})$  foi superior ao do cultivo sem palhada. Neste momento, o efeito do albedo no  $Rn(\text{diário})$  foi maior do que a influência da perda de radiação de ondas longas, uma vez que o  $G(\text{diário})$  não foi diferente entre os cultivos (Tabela 1).

Em termos do saldo de radiação ( $Rn(+)$ ) e do fluxo de calor no solo ( $G(+)$ ) diurnos (Tabela 1), percebe-se a

influência da manutenção da palhada em campo no albedo da superfície, logo, na redução do  $Rn(+)$ , e na incidência de radiação acima da superfície do solo, o que diminuiu o  $G(+)$ .

Como consequência da redução da energia disponível no ambiente ( $Rn-G$ ), notou-se diminuição significativa do fluxo de calor latente ( $LE(+)$ ) e aumento do fluxo de calor sensível ( $H(+)$ ) no cultivo com a presença da palhada, em todos os meses (Tabela 1).

Pela Fig. 3, verifica-se que, com exceção do primeiro mês do ciclo do cultivo sem palhada e nos dois primeiros meses no sistema com palhada, ao longo de todo o ciclo, o  $LE$  foi superior ao  $H$  em função do suprimento hídrico promovido à cultura.

O  $LE$  e o  $H$  no cultivo sem palhada, ao longo do dia, atingiram, em média,  $638 \text{ W m}^{-2}$  e  $281 \text{ W m}^{-2}$  (Figs. 3a-3b), ao passo que no cultivo com palhada foi  $547 \text{ W m}^{-2}$  e  $448 \text{ W m}^{-2}$ , nessa ordem. Neste último, notou-se que o  $Rn$  e o  $G$  exibiram menores intensidades, variando de  $-68 \text{ W m}^{-2}$  a  $696 \text{ W m}^{-2}$ ; já no cultivo sem palhada oscilou de  $-96 \text{ W m}^{-2}$  a  $734 \text{ W m}^{-2}$ .

A palhada em campo também culminou em maior ocorrência de dados fisicamente inconsistentes entre as 15 h e 18 h nos três primeiros meses de ciclo (Fig. 3b). Sob essa condição, o aquecimento mais intenso do ar acima da superfície aumenta a instabilidade da atmosfera, o que incrementa a taxa de variação da temperatura e dificulta a formação do gradiente térmico dentro da camada de fluxo constante (Arya, 2001; Foken, 2008).

As partições  $LE/Rn$ ,  $H/Rn$  e  $G/Rn$  foram distintas entre os cultivos (M-W,  $p < 0,001$ ) e mudaram sazonalmente (K-W,  $p < 0,001$ ) (Figs. 3c, 3d). No ambiente sem palhada, no primeiro mês a partição para o  $H$  foi 51%, enquanto, no cultivo com palhada, nos dois primeiros meses atingiu 76% (setembro-2015) e 52% (outubro-2015).

A partição de energia para o  $G$  no sistema sem palhada variou de 11% a 1,6% do início ao final do ciclo, em resposta ao nível de cobertura causado pela cultura; a mesma tendência foi notada no cultivo com palhada, mas com valores menores (4% a 0,1%).

Em média, a partição  $LE/Rn$  nos cultivos sem e com palhada foram 84% e 64% (diminuição de 20% dos valores absolutos), enquanto, a razão  $H/Rn$  foi de 12% e 35% e  $G/Rn$  foi de 4% e 2%, nessa ordem, nessa ordem, com aumento de 23% e redução 2% dos valores absolutos).

Silva *et al.* (2011) indicam para a cana-de-açúcar, cv. Rb 92-579, no Semiárido brasileiro, conduzida sob irrigação por sulco sem manutenção da palhada em campo, partição de  $LE/Rn$ ,  $H/Rn$  e  $G/Rn$  iguais a 81%, 16% e 3%. Reduções nas partições de  $LE/Rn$  e  $G/Rn$  em cultivos com a presença da palhada, em acréscimo ao  $H/Rn$ , foram citadas por Horton *et al.* (1996). Este resultado implica em diminuição da energia destinada à evapotranspiração da

**Tabela 1** - Variação sazonal e efeito da manutenção da palhada sobre os componentes do balanço de energia diurno na cana-de-açúcar irrigada, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

Mês	Rn(dia) (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )						G(dia) (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )					
	Sem palhada			Com palhada			Sem palhada			Com palhada		
	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$
Setembro-2015	10,9	10,4 <sup>CDEa</sup>	11,5	9,0	8,5 <sup>Cb</sup>	9,5	1,0	0,9 <sup>Aa</sup>	1,1	0,2	0,1 <sup>ABb</sup>	0,3
Outubro-2015	13,0	12,3 <sup>ABCa</sup>	13,8	11,1	10,4 <sup>ABCb</sup>	11,7	-0,2	-0,3 <sup>CDa</sup>	0,0	-0,1	-0,2 <sup>BCDa</sup>	0,0
Novembro-2015	14,7	14,2 <sup>Aa</sup>	15,2	13,6	13,1 <sup>Aa</sup>	14,2	0,0	-0,1 <sup>BCDa</sup>	0,1	0,1	0,0 <sup>ABCa</sup>	0,1
Dezembro-2015	14,0	13,2 <sup>Aa</sup>	14,8	13,8	13,0 <sup>Aa</sup>	14,5	0,4	0,3 <sup>ABa</sup>	0,5	0,2	0,1 <sup>Ab</sup>	0,2
Janeiro-2016	10,9	9,3 <sup>ABCDa</sup>	12,5	11,1	9,5 <sup>ABa</sup>	12,7	-0,3	-0,4 <sup>CDa</sup>	-0,2	-0,2	-0,3 <sup>CDEa</sup>	-0,1
Fevereiro-2016	13,2	12,2 <sup>ABCa</sup>	14,2	13,5	12,5 <sup>Aa</sup>	14,5	-0,2	-0,3 <sup>CDa</sup>	-0,2	-0,2	-0,2 <sup>CDa</sup>	-0,1
Março-2016	13,6	12,9 <sup>ABa</sup>	14,3	13,9	13,3 <sup>Aa</sup>	14,6	-0,1	-0,2 <sup>BCb</sup>	-0,1	0,0	-0,1 <sup>ABCa</sup>	0,0
Abril-2016	11,3	10,7 <sup>BCDa</sup>	11,9	11,4	10,8 <sup>ABa</sup>	12,0	-0,3	-0,3 <sup>CDb</sup>	-0,2	-0,1	-0,2 <sup>CDa</sup>	-0,1
Mai-2016	9,4	8,8 <sup>DEa</sup>	10,0	9,8	9,1 <sup>Bca</sup>	10,4	-0,3	-0,3 <sup>CDa</sup>	-0,2	-0,3	-0,3 <sup>DEFa</sup>	-0,3
Junho-2016	8,5	7,9 <sup>Eb</sup>	9,0	9,1	8,6 <sup>Ca</sup>	9,7	-0,3	-0,4 <sup>Da</sup>	-0,3	-0,4	-0,4 <sup>Ea</sup>	-0,4
Julho-2016	8,3	7,8 <sup>Eb</sup>	8,8	9,0	8,4 <sup>Ca</sup>	9,6	-0,3	-0,3 <sup>Da</sup>	-0,2	-0,3	-0,4 <sup>EFa</sup>	-0,3

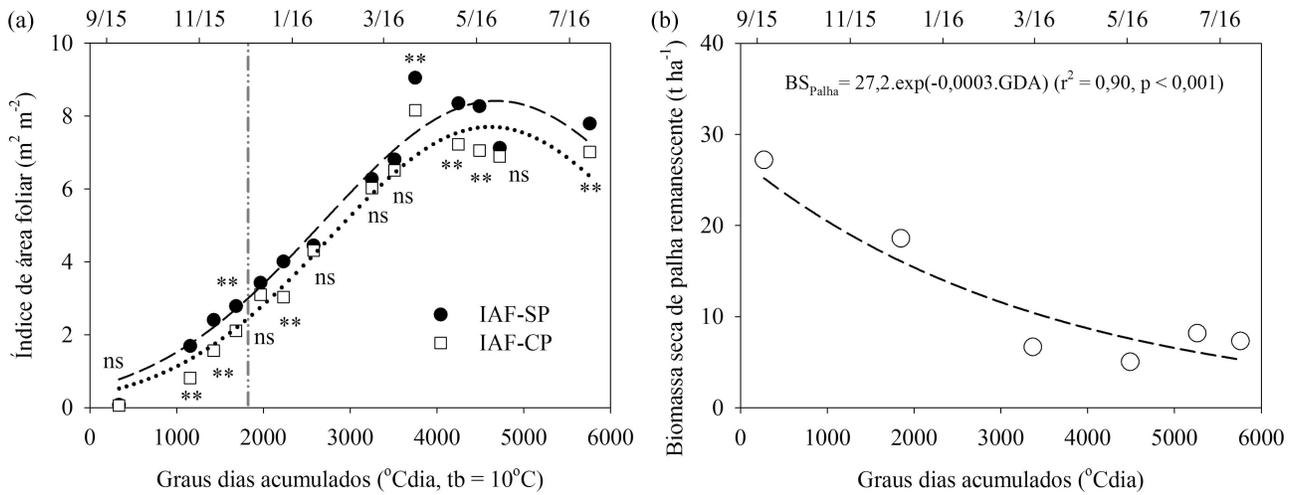
  

Mês	Rn(+) (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )						G(+) (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )					
	Sem palhada			Com palhada			Sem palhada			Com palhada		
	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$
Setembro-2015	5,2	13,8 <sup>ABCDa</sup>	14,4	11,1	11,7 <sup>CDb</sup>	12,2	1,5	1,6 <sup>Aa</sup>	1,7	0,4	0,4 <sup>Ab</sup>	0,5
Outubro-2015	3,0	15,5 <sup>ABa</sup>	16,3	12,7	13,5 <sup>BCDb</sup>	14,2	1,2	1,3 <sup>Aa</sup>	1,3	0,4	0,4 <sup>Ab</sup>	0,5
Novembro-2015	1,8	17,0 <sup>Aa</sup>	17,5	15,3	15,9 <sup>ABb</sup>	16,5	0,9	1,0 <sup>ABa</sup>	1,1	0,5	0,5 <sup>Ab</sup>	0,5
Dezembro-2015	0,9	16,3 <sup>Aa</sup>	17,1	15,3	16,1 <sup>Aa</sup>	16,8	0,6	0,7 <sup>ABa</sup>	0,8	0,4	0,4 <sup>Ab</sup>	0,4
Janeiro-2016	0,8	12,2 <sup>CDEa</sup>	13,9	10,7	12,4 <sup>BCDa</sup>	14,1	0,3	0,4 <sup>BCa</sup>	0,4	0,1	0,2 <sup>Bb</sup>	0,2
Fevereiro-2016	1,6	15,1 <sup>ABCa</sup>	16,2	14,3	15,4 <sup>ABa</sup>	16,5	0,3	0,3 <sup>CDa</sup>	0,4	0,1	0,2 <sup>Bb</sup>	0,2
Março-2016	1,1	15,6 <sup>ABa</sup>	16,3	15,2	15,9 <sup>Aa</sup>	16,7	0,3	0,3 <sup>CDa</sup>	0,3	0,1	0,2 <sup>Bb</sup>	0,2
Abril-2016	1,0	13,4 <sup>BCDa</sup>	14,0	12,9	13,5 <sup>BCa</sup>	14,1	0,2	0,2 <sup>DEa</sup>	0,2	0,1	0,1 <sup>BCb</sup>	0,2
Mai-2016	1,1	11,5 <sup>DEa</sup>	12,2	11,2	11,9 <sup>CDa</sup>	12,7	0,2	0,2 <sup>DEa</sup>	0,2	0,0	0,1 <sup>CDb</sup>	0,1
Junho-2016	1,2	10,7 <sup>Eb</sup>	11,3	10,7	11,3 <sup>Da</sup>	12,0	0,2	0,2 <sup>DEa</sup>	0,2	0,0	0,0 <sup>Db</sup>	0,0
Julho-2016	1,5	11,0 <sup>Ea</sup>	11,5	11,0	11,6 <sup>CDb</sup>	12,3	0,2	0,2 <sup>Da</sup>	0,2	0,0	0,0 <sup>Db</sup>	0,0

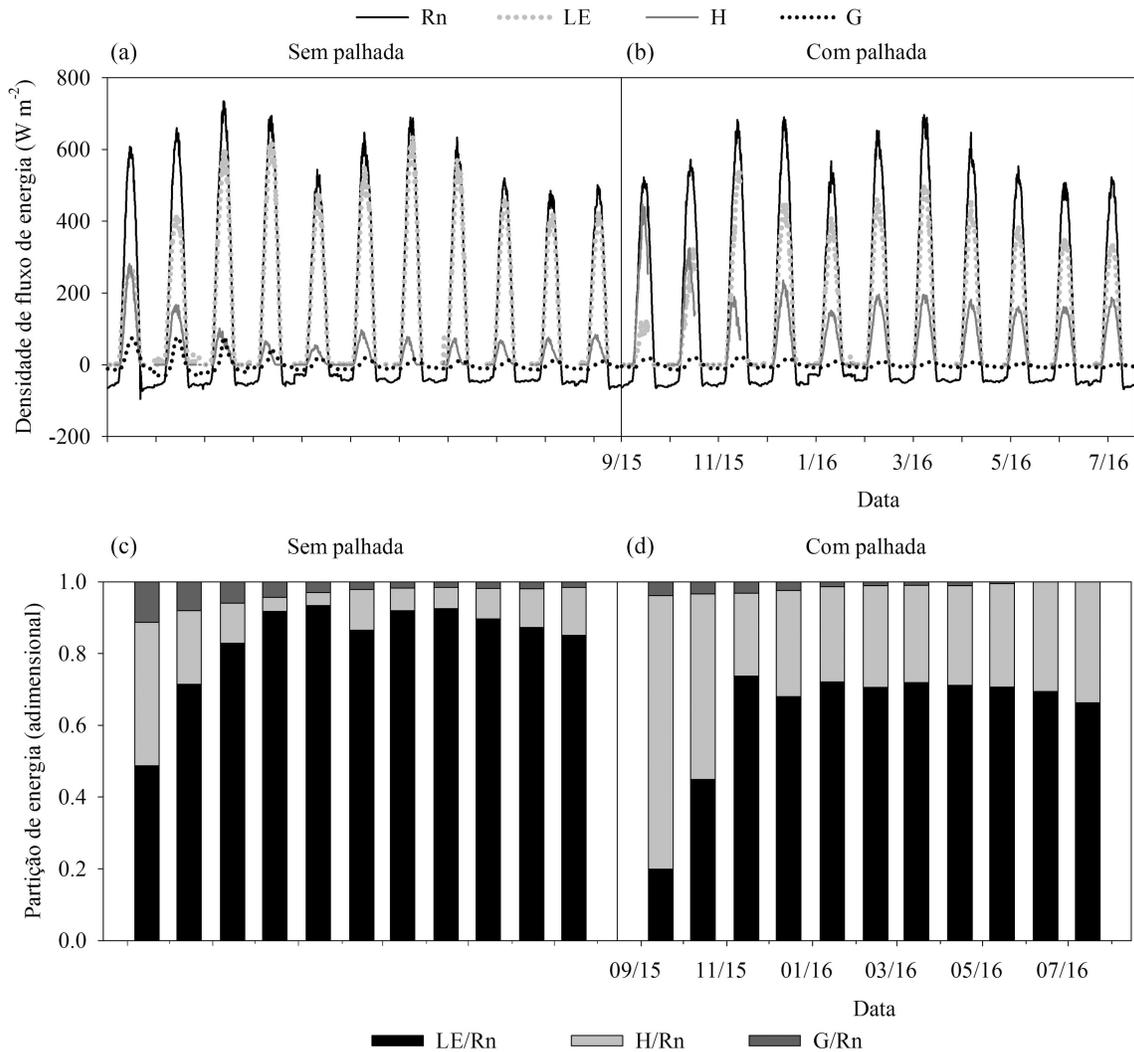
  

Mês	LE(+) (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )						H(+) (MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )					
	Sem palhada			Com palhada			Sem palhada			Com palhada		
	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$
Setembro-2015	6,4	6,7 <sup>Ea</sup>	7,0	2,0	2,3 <sup>Eb</sup>	2,6	13,2	5,6 <sup>Ab</sup>	6,0	7,0	7,7 <sup>Aa</sup>	8,3
Outubro-2015	10,4	11,1 <sup>BCDa</sup>	11,8	4,7	6,1 <sup>DEb</sup>	7,4	14,7	3,4 <sup>ABb</sup>	3,8	5,0	6,0 <sup>ABa</sup>	7,0
Novembro-2015	13,6	14,1 <sup>ABa</sup>	14,6	10,6	11,7 <sup>ABb</sup>	12,9	16,5	2,1 <sup>BCDEb</sup>	2,4	2,7	3,6 <sup>CDa</sup>	4,5
Dezembro-2015	14,1	14,9 <sup>Aa</sup>	15,8	10,4	10,9 <sup>ABb</sup>	11,4	15,5	1,0 <sup>Eb</sup>	1,1	4,5	4,8 <sup>ABa</sup>	5,1
Janeiro-2016	9,9	11,4 <sup>BCDa</sup>	12,9	7,8	8,9 <sup>BCb</sup>	10,1	10,5	1,0 <sup>Eb</sup>	1,2	2,9	3,4 <sup>CDa</sup>	3,9
Fevereiro-2016	12,1	13,1 <sup>ABa</sup>	14,0	10,1	10,9 <sup>ABb</sup>	11,6	14,0	1,8 <sup>BCb</sup>	2,0	4,1	4,5 <sup>BCa</sup>	4,8
Março-2016	13,7	14,3 <sup>Aa</sup>	15,0	11,0	11,5 <sup>Ab</sup>	12,0	14,8	1,2 <sup>DEb</sup>	1,3	4,2	4,4 <sup>BCa</sup>	4,6
Abril-2016	11,8	12,4 <sup>ABCa</sup>	13,0	9,2	9,6 <sup>BCb</sup>	10,0	12,8	1,1 <sup>Eb</sup>	1,1	3,6	3,8 <sup>CDa</sup>	4,0
Mai-2016	9,6	10,3 <sup>CDa</sup>	11,1	7,9	8,4 <sup>Db</sup>	8,9	10,8	1,2 <sup>Eb</sup>	1,2	3,3	3,5 <sup>Da</sup>	3,8
Junho-2016	8,6	9,3 <sup>DEa</sup>	10,0	7,4	7,9 <sup>Db</sup>	8,3	10,1	1,3 <sup>CDEb</sup>	1,4	3,3	3,6 <sup>Da</sup>	3,8
Julho-2016	8,7	9,3 <sup>DEa</sup>	9,9	7,3	7,7 <sup>DEb</sup>	8,1	10,4	1,6 <sup>BCDb</sup>	1,7	3,7	4,0 <sup>BCDa</sup>	4,3

Médias ( $\mu$ ) na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ( $\alpha < 0,05$ ) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras), ou seja, não há diferença da magnitude da densidade de fluxo entre os meses avaliados. Enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ( $\alpha < 0,05$ ) pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras), ou seja, não há efeito da manutenção da palhada sobre a densidade de fluxo.  $\alpha$ , 1- $\alpha$  - indicam o intervalo de confiança.



**Figura 2** - (A) Índice de área foliar em duas áreas de cana-de-açúcar, uma sem e outra com manutenção da palha, em Juazeiro, BA. (B) Biomassa de palhada remanescente. \*\*, indica diferença significativa dentro da mesma data pelo teste de Mann-Whitney ( $\alpha=0,05$ ). ns, não significativa.



**Figura 3** - Densidades de fluxos horários (A e B) e partição do balanço de energia (C e D) ao longo de 11 meses de duas áreas de cultivo de cana-de-açúcar, uma sem e a outra com manutenção da palhada no campo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

cultura e, conseqüentemente, na economia de água para a irrigação.

### 3.2. Efeito da manutenção da palhada em campo no microclima acima da cana-de-açúcar

As modificações causadas pela palhada em campo no balanço de energia culminaram em alterações da temperatura e umidade relativa do ar (M-W,  $p < 0,0001$ , Tabela 2), com menor efeito nas suas sazonalidades (K-W,  $p < 0,0001$ , Tabela 2).

A variação da temperatura do ar ao longo do ciclo variou de 24,0 °C a 28,8 °C no cultivo sem palhada e de 24,8 °C a 28,9 °C no cultivo com palhada (vide a sequência de letras “AB” em setembro de 2015 a “D” em julho de 2016 no cultivo sem palhada, que pouco diferencia da sequência de letras no cultivo com palhada). A magnitude diária dessa variável, embora esteja associada ao fluxo de calor sensível diurno (H(+)) depende da emissividade de radiação de ondas longas pela superfície no período noturno e da velocidade do vento.

De setembro de 2015 a dezembro de 2015 e março de 2016 a abril de 2016 na área sem palhada, e de outubro de 2015 a dezembro de 2015 e março de 2016 a abril de 2016 no cultivo com palhada, houve maiores temperaturas do ar. Nestes primeiros meses (antes de dezembro de 2015), a intensidade de radiação é maior na região por causa da menor inclinação dos raios solares e baixa nebulosidade. Entre os meses de março de 2016 e abril de 2016 compreendeu o período chuvoso da região, porém os baixos níveis de chuva deste ano (Fig. 1) promoveram menor nebulosidade e maior incidência de radiação, logo temperaturas com magnitudes superiores (Tabela 2).

O efeito da palhada foi significativo apenas a partir de fevereiro de 2016, quando houve acréscimo de 0,8 °C (fevereiro-2016 e julho-2016) a 1,2 °C (abril-2016), em relação ao cultivo sem palhada (M-W,  $p < 0,0001$ , Tabela 2). As maiores diferenças ocorreram no período chuvoso (fevereiro de 2016 a março de 2016, Fig. 1), e quando há plena cobertura do dossel (Fig. 2). Nesta condição, o incremento de umidade na palhada atrelada ao calor sensível do ambiente favorece a decomposição da massa vegetal e liberação de energia, causando ainda mais o aumento da temperatura do ar.

Por outro lado, a umidade relativa do ar foi afetada pela presença da palhada apenas nos dois primeiros meses (M-W,  $p < 0,0001$ , Tabela 2) com diferenças entre os valores absolutos variando entre 2,5% e 3,2%. A alta retenção de umidade no solo com os eventos de irrigação e o baixo IAF da cultura favorece a injeção de vapor d’água no ambiente. Nos meses subsequentes, com o avanço do IAF há aumento da retenção de umidade próximo ao dossel, além disso, o incremento da temperatura do ar no cultivo com palhada induz a umidade relativa do ar a valores similares ao ambiente sem palhada (Tabela 2).

### 3.3. Efeitos da manutenção da palhada no flocrono e na eficiência do uso da radiação

A taxa de aparecimento foliar foi maior no cultivo com palhada (3,0%) apenas na primeira fase de emissão foliar (Fase I, Tabela 3), quando a temperatura do ar foi 0,29 °C superior a do sistema sem palhada. O atraso inicial promovido ao desenvolvimento da cultura por causa da presença da palhada e aumento da temperatura do ar em

**Tabela 2** - Variação sazonal e efeito da manutenção da palhada sobre a temperatura e umidade relativa do ar na cultura da cana-de-açúcar irrigada, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro.

Mês	Tm (°C)						UR (%)					
	Sem palhada			Com palhada			Sem palhada			Com palhada		
	$\alpha$	$\mu$	1- $\alpha$									
Setembro-2015	26,5	26,9 <sup>ABa</sup>	27,3	26,6	26,9 <sup>BCa</sup>	27,3	46,4	48,7 <sup>Eb</sup>	50,9	50,0	52,2 <sup>Ea</sup>	54,4
Outubro-2015	27,1	27,5 <sup>ABa</sup>	27,8	27,2	27,6 <sup>ABCa</sup>	28,0	47,4	49,0 <sup>DEb</sup>	50,7	50,5	52,2 <sup>DEa</sup>	53,9
Novembro-2015	28,3	28,8 <sup>Aa</sup>	29,2	28,5	28,9 <sup>Aa</sup>	29,3	45,5	46,9 <sup>Ea</sup>	48,2	48,2	49,6 <sup>Ea</sup>	50,9
Dezembro-2015	27,9	28,3 <sup>Aa</sup>	28,7	28,3	28,7 <sup>Aa</sup>	29,0	49,5	51,9 <sup>DEa</sup>	54,3	50,2	52,6 <sup>Ea</sup>	55,1
Janeiro-2016	25,0	25,7 <sup>BCa</sup>	26,3	25,7	26,3 <sup>Ca</sup>	26,9	72,6	76,6 <sup>Aa</sup>	80,6	73,9	78,0 <sup>Aa</sup>	82,2
Fevereiro-2016	25,3	25,7 <sup>BCDb</sup>	26,0	26,1	26,5 <sup>CDa</sup>	26,8	68,6	70,8 <sup>ABa</sup>	73,0	69,9	72,1 <sup>ABa</sup>	74,3
Março-2016	27,3	27,5 <sup>Ab</sup>	27,7	28,4	28,6 <sup>Aa</sup>	28,8	59,0	60,1 <sup>Ca</sup>	61,2	60,4	61,5 <sup>CDa</sup>	62,7
Abril-2016	26,5	26,8 <sup>ABb</sup>	27,1	27,7	28,0 <sup>ABa</sup>	28,3	58,4	59,9 <sup>CDa</sup>	61,5	59,6	61,1 <sup>CDa</sup>	62,7
Mai-2016	25,4	25,8 <sup>BCb</sup>	26,1	26,4	26,7 <sup>Ca</sup>	27,1	60,3	62,9 <sup>BCa</sup>	65,5	62,0	64,6 <sup>BCa</sup>	67,2
Junho-2016	23,8	24,4 <sup>CDb</sup>	24,9	24,8	25,3 <sup>CDa</sup>	25,9	61,8	63,9 <sup>ABCa</sup>	66,1	63,5	65,6 <sup>ABCa</sup>	67,8
Julho-2016	23,7	24,0 <sup>Db</sup>	24,2	24,5	24,8 <sup>Da</sup>	25,1	57,9	60,3 <sup>CDa</sup>	62,7	59,3	61,7 <sup>CDa</sup>	64,1

Médias na vertical seguidas pela mesma letra maiúscula não se diferem entre si ao nível de significância ( $\alpha < 0,05$ ) pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis (comparação de k amostras), ou seja, não há diferença da magnitude da densidade de fluxo entre os meses avaliados. Enquanto, médias na horizontal seguidas pela mesma letra minúscula não se diferem entre si ao nível de significância ( $\alpha < 0,05$ ) pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney (comparação entre duas amostras), ou seja, não há efeito da manutenção da palhada sobre a densidade de fluxo.

**Tabela 3.** - TAF, FIL, RFA<sub>1</sub> e EUR da cana-de-açúcar sob sistemas de cultivo sem e com a manutenção da palhada acima do solo, em Juazeiro, BA, Semiárido brasileiro

TAF, folha °Cdia <sup>-1</sup>				FIL, °Cdia folha <sup>-1</sup>				RFA <sub>1</sub>		EUR	
Sem palhada		Com palhada		Sem palhada		Com palhada		Sem palhada	Com palhada	Sem palhada	Com palhada
Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II	MJ m <sup>-2</sup>	MJ m <sup>-2</sup>	g MJ <sup>-1</sup>	g MJ <sup>-1</sup>
0,0067	0,0060	0,0069	0,0058	149	167	145	172	2434	2294	2,50	2,51

TAF - taxa de aparecimento foliar, FIL - filocrono, RFA<sub>1</sub> - radiação fotossinteticamente ativa interceptada; EUR - eficiência do uso da radiação.

função da transição de estações do ano (inverno/primavera) justificam o acréscimo da emissão foliar e, logo, menor filocrono do cultivo com palhada (145 °C folha<sup>-1</sup> contra 149 °C folha<sup>-1</sup>).

Na Fase II, embora, a temperatura do ar tenha sido 1,0 °C maior no cultivo com palhada, o filocrono foi 3,3% superior ao do cultivo sem palhada (172 °C folha<sup>-1</sup> contra 167 °C folha<sup>-1</sup>). Este resultado pode está associado ao efeito da temperatura do ar na relação fonte-dreno da cultura, de modo que promoveu a antecipação da partição da biomassa para os colmos, induzindo a redução de fotoassimilados às folhas (Silva *et al.*, 2014).

Embora o filocrono da cana-de-açúcar na Fase I tenha sido maior no cultivo com palhada, percebeu-se que, antes das primeiras emissões foliares, a presença da palhada em campo afetou o desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar, promovendo maior IAF no cultivo sem palhada (Fig. 2). O efeito da palhada em campo no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar é relatado por Olivier e Singels (2015).

A taxa de emissão foliar apresentada neste estudo para a cv. VAT 90-212, independente do sistema de cultivo, foi inferior ao citado por Silva *et al.* (2012) para a RB 92-579, no Semiárido brasileiro, durante a Fase I (0,0079 folhas °Cdia<sup>-1</sup>), mas foi bem superior ao obtido na Fase II (0,0018 folhas °Cdia<sup>-1</sup>), indicando ser um atributo peculiar à variedade.

Em média, a maior emissão foliar do cultivo sem palhada resultou em interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (RFA<sub>1</sub>) superior ao do sistema com palhada (Tabela 3). Porém, isto não foi suficiente para alterar expressivamente a eficiência do uso da radiação ( $\mu = 2,51 \text{ g MJ}^{-1}$ ), já que o acúmulo da biomassa foi afetado de maneira proporcional (4305 g m<sup>-2</sup> no cultivo sem palhada e 4278 g m<sup>-2</sup> no cultivo com palhada). Sob condições do Semiárido brasileiro, Silva *et al.* (2014) encontraram para a cana-de-açúcar RB 92-579, RFA<sub>1</sub> de 2778 MJ m<sup>-2</sup>, em 13 meses de ciclo, e acúmulo de biomassa de 6653 g m<sup>-2</sup>, resultando em eficiência do uso da radiação de 2,67 g MJ<sup>-1</sup>.

#### 4. Conclusões

1. A presença da palhada em campo afetou os fluxos de massa e energia no canal avaliado, modificando a partição do LE/Rn de 84% para 64%, do H/Rn de 12%

para 35% e do G/Rn de 4% para 2%, mas depende da época do ano e do nível de cobertura do solo (palhada e dossel).

2. A temperatura do ar foi alterada pela manutenção da palhada apenas após o fechamento do dossel, enquanto, a umidade relativa do ar foi afetada nos primeiros meses de ciclo.
3. A mudança do microclima promovida pela palhada alterou a velocidade de emissão foliar da cana-de-açúcar, mas, pouco afetou a eficiência do uso da radiação da cultura.

#### Agradecimentos

Ao CNPq pelo auxílio financeiro (Processos 403946/2013-1 e 301424/2015), AGROVALE e à Embrapa Semiárido pela infraestrutura logística.

#### Referências

- ARYA, S.P. **Introduction to micrometeorology**. San Diego: Academic Press, 2011. 415p.
- AWE, G.O.; REICHERT, J.M.; WENDROTH, O.O. Temporal variability and covariance structures of soil temperature in a sugarcane field under different management practices in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, v. 150, p. 93-106, 2015.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar 2015/16**. Terceiro Levantamento. Brasília: CONAB, dezembro/2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema de classificação dos solos**. 3ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Dados climáticos da estação agrometeorológica de Mandacaru, Juazeiro-BA [série: 1965 a 2015]**. Disponível em: <http://www.cpatas.embrapa.br:8080/index.php?op=eamand>. Acesso em 19 nov. 2017
- FOKEN T. **Micrometeorology**. 1ed. Berlin: Springer, 2008. 308 p.
- FORTES, C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C. **Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil**. *Biomass Bioenergy*, v. 42, p. 189-198, 2012.
- HORTON, R.; BRISTOW, K.L.; KLUITENBERG, G.J.; SAUER, T.J. Residue effects on surface radiation and

- energy balance: A review. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 54, p. 27-37, 1996.
- OLIVIER, F.C.; SINGELS, A. The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane. **Water SA**, v. 38, p. 77-87, 2012.
- OLIVIER, F.C.; SINGELS, A. Increasing water use efficiency of irrigated sugarcane production in South Africa through better agronomic practices. **Field Crops Research**, v. 176, p. 87-98, 2015.
- PEREZ, P.J.; CASTELLVÍ, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 97, p. 141-150, 1999.
- SAVAGE, M.J. Field Evaluation of Polymer Capacitive Humidity Sensors for Bowen Ratio Energy Balance Flux Measurements. **Sensors**, v. 10, p. 7748-7771, 2010.
- SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; et al. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 139-147, 2011.
- SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J.F. A.; et al. Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no Submédio do Vale do São Francisco. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 43, p. 500-509, 2012.
- SILVA, T.G.F.; ZOLNIER, S.; MOURA, M.S.B.; SOUZA, L.S. B. Sazonalidade do controle de evapotranspiração pela cana-de-açúcar irrigada e características aerodinâmicas da cultura no Semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 621-634, 2013.
- SILVA, T.G.F.; MOURA, MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; SOUZA, L.S.B. Biomassa seca acumulada, partições e rendimento industrial da cana-de-açúcar irrigada no Semiárido brasileiro. **Revista Ceres**, v. 61, p. 686-696, 2014.
- SINCLAIR, T.R.; GILBERT, R.A.; PERDOMO, R.E.; SHINE JR., J.M.; et al. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, p. 171-178, 2004.
- SINGELS, A.; SMIT, M.A.; REDSHAW, K.A.; DONALDSON, R.A. The effect of crop start date, crop class and cultivar on sugarcane canopy development and radiation interception. **Field Crops Research**, v. 92, p. 249-260, 2005.
- VAN ANTWERPEN, R.; MEYER, J.H.; TURNER, P.E.T. The effects of cane trash on yield and nutrition from the long-term field trial at Mount Edgecombe. **Proceedings of the South African Sugar Technologists' Association**, v. 75, p. 235-241, 2001.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.