



DISPONIBILIDADE ENERGÉTICA PARA A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA PARAÍBA

Pedro V. Azevedo¹, Luciano M. F. Saboya²

¹ Prof. Doutor, CTRN/UFCG, pvieira@dca.ufcg.edu.br; ² Aluno de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (CTRN/UFCG)

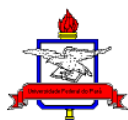
Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 2 a 6 de Setembro de 2013, Centro de Eventos Benedito Nunes, Universidade Federal do Para- UFPA

RESUMO: Experimento de campo conduzido na Miriri Alimentos e Bioenergia S/A (6°54'59"S, 35°09'17"W e 121 m de altitude), no município de Capim-PB, no terceiro ciclo de produção (2010/2011) da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), cultivar RB92579, objetivou a análise da disponibilidade energética para a cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba. Para tal, foram monitoradas as seguintes variáveis: radiação solar incidente e refletida; saldo de radiação; radiação atmosférica incidente à superfície, radiação efetiva emitida pela superfície e o albedo da superfície vegetada. O balanço de energia baseado na razão de Bowen foi utilizado na determinação dos fluxos de calor latente e sensível. Os resultados para as fases de desenvolvimento e maturação dos colmos evidenciaram que: O albedo apresenta valores decrescentes com o aumento do IAF da cultura, com valor médio de 0,27 para o desenvolvimento e 0,19 para maturação dos colmos, com valor médio de 0,23 para todo o ciclo da cultura; O coeficiente térmico diminui com o aumento da cobertura vegetal, ocorrendo o contrário com o coeficiente de transformação em ondas longas; O saldo de radiação é consumido em aproximadamente 82% como calor latente, 16% como calor sensível para aquecer o ar e 2% como calor sensível para o solo.

Palavras-chave: Saldo de radiação, fluxos de calor latente e sensível fluxo de calor no solo.

AVAILABLE ENERGY FOR SUGARCANE CROP IN THE COASTAL PLAINS OF PARAÍBA STATE

ABSTRACT: Field experiment conducted in Miriri Food and Bioenergy S/A (6°54'59" S, 35°09'17" W and 121 m altitude), in the city of Capim-PB, the third production cycle (2010/2011) of sugarcane (*Saccharum spp.*) variety RB92579, objective the analysis of the available energy to the sugarcane crop in the Coastal Plains of Paraíba state. To this end, the following variables were monitored: incident and reflected solar radiation, net radiation, atmospheric radiation incident to the surface, effective radiation emitted by the surface and the vegetated surface albedo. The energy balance based on the Bowen ratio was used to determine the fluxes of latent and sensible heat. The results for the stages of development and maturation of the stems showed that: The albedo shows decreasing values with increasing crop LAI, with an average value of 0.27 to 0.19 for the development and maturation of the stems, with an average value of 0.23 for the entire crop cycle; The thermal coefficient decreases with increasing vegetation cover, the opposite was true with the conversion coefficient in long waves radiation; The net radiation is consumed by approximately 82% as latent heat, 16% as sensible heat to warm the air, and 2% as sensible heat to the soil.





Keywords: Net radiation, latent and sensible heat fluxes, soil heat flux.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo, com rendimento médio de 76,4 t ha⁻¹ na safra 2011. O Estado de São Paulo é o principal produtor nacional, com 58% da produção de etanol e açúcar e por 70% das exportações (Armas et al., 2005). O estado da Paraíba apresenta produtividade média de 54,34 t ha⁻¹, estando na décima oitava posição dentre os 21 estados produtores do país. Observa-se que os tabuleiros costeiros do estado da Paraíba têm grande potencial para o cultivo irrigado da cana-de-açúcar durante períodos de déficit pluviométrico, o que melhoraria a produtividade média da cultura.

A produção agrícola é diretamente influenciada pelo clima, especialmente temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar. Os balanços de radiação e energia têm sido objeto de vários trabalhos de pesquisa que buscam explicar seu comportamento em cana-de-açúcar (André et al., 2010a; André et al., 2010b), em mangueira (Borges et al., 2008) e em áreas irrigadas ou de caatinga do semiárido (Silva et al., 2011). Esta pesquisa objetivou a avaliação da disponibilidade energética para o cultivo da cana-de-açúcar irrigada nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento de campo foi conduzido na Miriri Alimentos e Bioenergia S/A (6°54'59"S, 35°09'17"W e 121 m de altitude), no município de Capim-PB, no terceiro ciclo de produção (2010/2011) da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), cultivar RB92579. Numa parcela experimental de 25 hectares foi instalada uma torre micrometeorológica com os seguintes sensores: dois piranômetros, um saldo radiômetro, dois psicrômetros, dois anemômetros e dois fluxímetros. Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (Datalogger CR 1000, da Campbell Scientific).

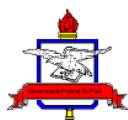
O balanço de radiação sobre a vegetação foi obtido como:

$$Sr = R_{si} - R_{sr} + R_{li} - R_{le} + (1 - \epsilon)R_{li} \quad (1)$$

Onde: S_r é o saldo de radiação, R_{si} e R_{sr} a radiação solar incidente e refletida, respectivamente; R_{li} a radiação atmosférica incidente à superfície, R_{le} a emissão efetiva da superfície e ϵ a emissividade da superfície. Também foram analisados os seguintes parâmetros derivados do balanço de radiação (ANDRÉ et al., 2010a): albedo ($\alpha = R_{sr} / R_{si}$), coeficientes angular (a) e linear (b), da relação: $S_r = a + b(1 - \alpha)R_{si}$, propriedades térmicas do ar ($\beta = \frac{1 - a}{a}$ e $\lambda = a - 1$) e transmissividade radiativa da atmosfera ($Tr = \frac{R_{si}}{R_a}$). O saldo de radiação de ondas longas (S_{rl}) foi obtido por diferença entre o saldo de radiação (S_r) e o saldo de radiação ondas curta:

$$S_{rl} = S_r - (1 - \rho)R_{si} \quad (2)$$

As fases fenológicas consideradas para a cana-de-açúcar são: I - Perfilhamento, do início até 110 dias após o corte (DAC); II – crescimento e desenvolvimento dos colmos ($111 \leq DAC \leq 261$); III – crescimento e desenvolvimento máximo dos colmos ($262 \leq DAC \leq 347$) e IV - maturação dos colmos ($348 \leq DAC \leq 383$).



Os componentes do balanço de energia foram obtidos como:

$$Sr + L_E + H + G = 0 \quad (3)$$

Onde Sr é o saldo de radiação, L_E o fluxo de calor latente e H e G são os fluxos de calor sensível para o ar e para o solo, respectivamente, todos em $W m^{-2}$.

O fluxo de calor latente (L_E) foi obtido como:

$$L_E = - \left(\frac{Sr + G}{1 + \beta} \right) \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O albedo diário apresentou valores máximos (27,4%) e mínimos (17,3%), com valor médio de 19% para o estágio de desenvolvimento de colmos e 19% para o estágio de maturação. A média para todo o período de observações (junho a setembro) foi de 22,8% (Fig. 1). André et al. (2010a) encontraram um albedo crescentes com o aumento do IAF da cultura da cana-de-açúcar, com valores médios de 0,24, 0,27, 0,30 e 0,31 para os estádios de perfilhamento, desenvolvimento inicial de colmos, desenvolvimento de colmos e maturação, respectivamente e um valor médio para todo o ciclo da cultura de 0,28. Silva et al. (2011) obtiveram para o ciclo da cana-de-açúcar um albedo médio de 23%.

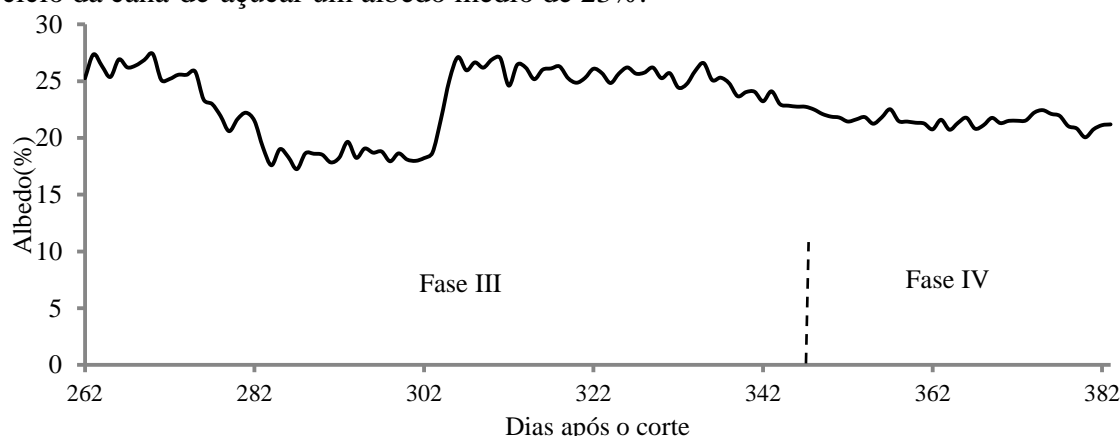
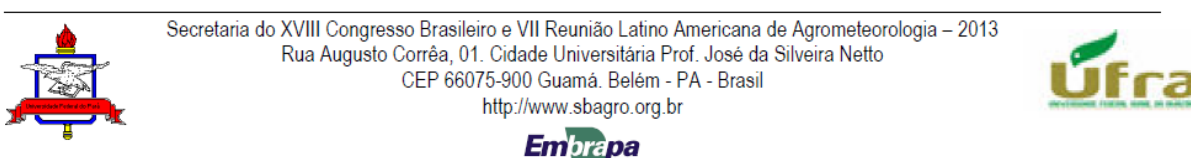


Figura 1. Variação do albedo (α) ao longo das fases fenológicas III – crescimento (262 a 347 DAC) e IV - maturação dos colmos (348 a 383 DAC)

Em geral, as regressões lineares entre Sr e $(1 - \alpha) \cdot R_{si}$, ajustaram-se bem aos dados com coeficiente de determinação variando de 0,42 em junho para 0,95 em setembro (Tab. 1). A transmissividade atmosférica permaneceu aproximadamente constante, com média para todo o período de observações de 0,30, significando que, na maioria dos dias, predominou condições de céu parcialmente nublado. O coeficiente térmico (β) diminuiu com o aumento da cobertura vegetal, ocorrendo o contrário com o coeficiente de transformação em ondas longas (λ). Os menores valores de β (maiores valores de λ), ocorreram no estágio de desenvolvimento vegetativo, indicando que a maior parcela do saldo de radiação está sendo convertida em calor latente.

Tabela 1. Parâmetros do balanço de radiação para as fases fenológicas: III – crescimento (262 a 347 DAC) e IV - maturação dos colmos (348 a 383 DAC)

Parâmetros do balanço de radiação	Mês/Fase fenológica
 <p>Secretaria do XVIII Congresso Brasileiro e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia – 2013 Rua Augusto Corrêa, 01. Cidade Universitária Prof. José da Silveira Netto CEP 66075-900 Guamá. Belém - PA - Brasil http://www.sbagro.org.br</p>	

	Jun/III	Jul/III	Ago/III	Set/IV
Coefficiente angular (a)	2,17	2,64	3,11	3,71
Coefficiente linear (b)	2,57	1,57	0,094	-0,095
Coefficiente de determinação (r^2)	0,42	0,65	0,86	0,95
Transmissividade atmosférica (T_r)	0,30	0,30	0,31	0,32
Coefficiente térmico (β)	-0,54	-0,62	-0,68	-0,26
Coefficiente de ondas longas (λ)	1,17	1,64	2,11	0,35

A Figura 2 evidencia que, para o estágio de desenvolvimento máximo dos colmos (262 a 347 DAC), o saldo de radiação esteve em consonância com a radiação solar incidente e refletida e o saldo de onda longa mostrou valores bem pequenos. Para o estágio de maturação dos colmos (348 a 383 DAC), o saldo de radiação também seguiu o comportamento da radiação solar incidente e refletida e o saldo de onda longa apresentou valores bem pequenos e, às vezes, negativos.

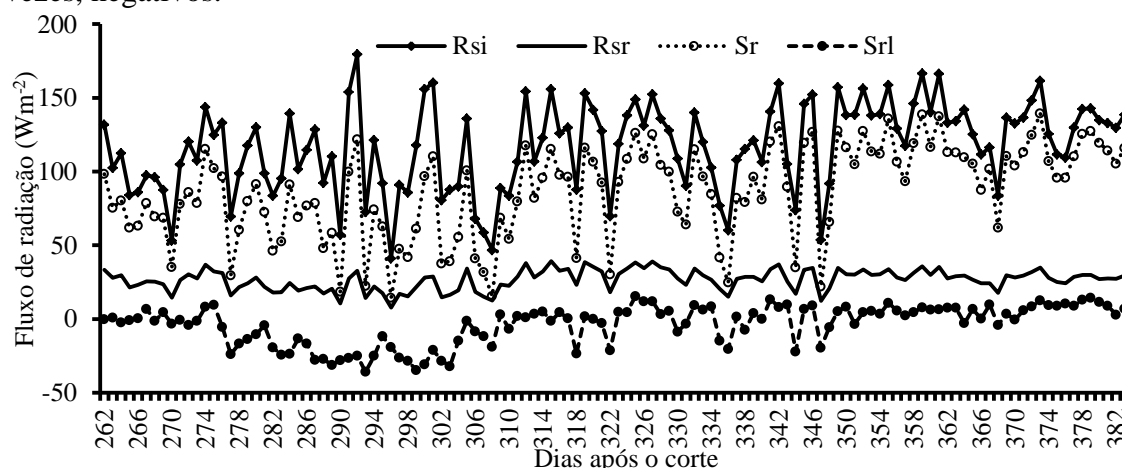


Figura 2. Termos diurnos do balanço de radiação para fases fenológicas III – crescimento (262 a 347 DAC) e IV - maturação dos colmos (348 a 383 DAC).

As variações médias dos totais diurnos de Sr, LE, H e G estão apresentadas na Figura 3. O saldo de radiação e o fluxo de calor latente apresentaram grande oscilação durante o período estudado e apresentou grande variação, representando, porém a maior parcela do saldo de radiação. Não foram observadas mudanças significativas no comportamento dos termos do balanço de energia para o período de observações, correspondente às fases de desenvolvimento e maturação dos colmos da cana-de-açúcar.

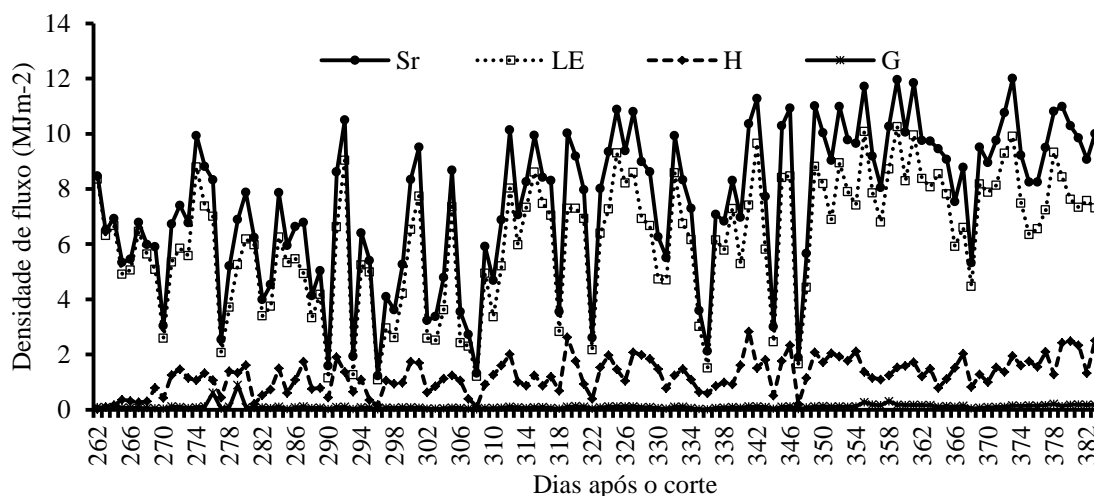


Figura 3. Comportamento do saldo de radiação (S_r) e dos fluxos de calor latente (LE), calor sensível (H) e calor no solo (G) para as fases III – crescimento e IV - maturação dos colmos

Observa-se um aumento dos valores médios de S_r , LE, H e G ao longo do período de observações (Fig. 3), o que se torna característico das mudanças climáticas ocorridas no período. Consta-se, também, que S_r variou entre 1,24 e 12,01 MJ m^{-2} , com média de 7,49 MJ m^{-2} ; LE entre 1,09 a 10,26 MJ m^{-2} , com média 6,16 MJ m^{-2} ; H compreendeu entre 0,03 a 2,84 MJ.m^{-2} , com média de 1,24 MJ. m^{-2} , e G entre 0,01 e 0,90 MJ. m^{-2} , com média de 0,11 MJ. m^{-2} (Tab. 2).

Tabela 2. Médias mensais dos termos do balanço de energia (S_r , LE, H, G) e da partição do saldo de radiação em calor latente (LE/ S_r), calor sensível (H/ S_r), calor no solo (G/ S_r) para as fases III e IV da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba

Meses	S_r	LE	H	G	LE/ S_r	H/ S_r	G/ S_r
	$\text{MJ.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$				%		
Junho	6,21	5,29	0,84	0,12	85,16	13,54	1,97
Julho	6,03	4,91	1,06	0,07	81,42	17,59	1,15
Agosto	8,07	6,53	1,46	0,09	80,87	18,12	1,11
Setembro	9,66	7,93	1,58	0,16	82,10	16,34	1,61
Média	7,49	6,16	1,24	0,11	82,39	16,40	1,46

No período de observações, 82,39, 16,40 e 1,46% do saldo de radiação foi consumido como calor latente, calor sensível e calor no solo, respectivamente (Tab. 2). Resultados semelhantes foram encontrados para cana-de-açúcar (André et al., 2010b) e bananeira (Teixeira et al., 2008). Esses autores observaram, também, que a irrigação interfere nas trocas energéticas entre a comunidade vegetal e a atmosfera circundante, aumentando a relação LE/ S_r e diminuindo H/ S_r . Já Silva et al. (2009) obtiveram resultados semelhante aos dessa pesquisa, com 77,6% do saldo de radiação utilizado como calor latente, 18,0% como calor sensível e 4,3% como calor no solo.

CONCLUSÕES

Da análise dos comportamentos dos componentes dos balanços de radiação e energia para as fases fenológicas III – crescimento máximo dos colmos (262 a 347 DAC) e IV - maturação dos colmos



(348 a 383 DAC) da cultura da cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros do estado da Paraíba, ciclo de 2010/2011, pode-se concluir que: O albedo apresenta valores decrescentes com o aumento do IAF da cultura, com valor médio de 0,23 para o desenvolvimento e 0,21 para maturação dos colmos, com valor médio de 0,23 para todo o ciclo da cultura; O coeficiente térmico diminui com o aumento da cobertura vegetal, ocorrendo o contrário com o coeficiente de transformação em ondas longas; O saldo de radiação é consumido em aproximadamente 82% como calor latente, 16% como calor sensível para aquecer o ar e 2% como calor sensível para o solo.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, R. G. B., MENDONÇA, J. C., MARQUES, V. da S., PINHEIRO, F. M. A., ANDRÉ, R. G. B.; MENDONÇA, J. C.; PINHEIRO, F. M. A.; MARQUES, V. da S.; MARQUES, J. Aspectos energéticos do desenvolvimento da cana-de-açúcar. Parte 2: Balanço de energia e parâmetros derivados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.25, n.4, 535-542, 2010b.
- ARMAS, E. D; MONTEIRO, R. T. R.; AMANCIO, A. VALLER. Uso de Agrotóxicos em Cana-de-açúcar na Bacia do Rio Corumbataí e o Risco de Poluição Hídrica. **Química Nova**, v.28, n. 6, p.975-982, 2005.
- BORGES, C. J. R.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, V. de P. R. da; CAMPOS, J. H. B. C.; MOURA, M. S. B.; SOARES, J. M.; SILVA, B. B. da. Influência do calor armazenado no sistema solo-planta no balanço de energia em pomar de mangueiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.12, p.393-399, 2008.
- SILVA, V. P. R; CAMPOS, J. H. B. C.; AZEVEDO, P. V. Water-use efficiency and evapotranspiration of mango orchard grown in northeastern region of Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 102, p. 467-472, 2009.
- SILVA, T. G. F. da, MOURA, M. S. B. de, ZOLNIER, S., SOARES, J. M., SOUZA, L. S. B. de; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.15, n.2, p.139-147, 2011.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M.; AHMAD, N. D.; MOURA, M. S. B.; BOS, M. G. Analysis of energy fluxes and vegetation-atmosphere parameters in irrigated and natural ecosystems of semi-arid Brazil. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.362, p.110-127, 2008.

