

Estimativa da distribuição diária da irradiância solar para cálculo da fotossíntese bruta na cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas

Ricardo Araújo Ferreira Junior¹, José Leonaldo de Souza², Gustavo Bastos Lyra³, Marcos Alex dos Santos⁴, Anthony Carlos Silva Porfirio⁵, André Luis de Carvalho⁶

1- Doutorando em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP, Botucatu – SP, ricardo_ceca@hotmail.com; 2 - Meteorologista, Prof. Associado, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL; 3 - Meteorologista, Prof. Adjunto, Dep. de Ciências Ambientais, Inst. de Florestas, UFRRJ, Seropédica – RJ; 4- Mestrando em Ciências – Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP; 5- Mestrando em Meteorologia, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, (CPTEC/INPE), São José dos Campos, SP; 6- Doutorando em Fontes Renováveis de Energia, Departamento de Energia Nuclear, UFPE, Recife – PE.

ABSTRACT

The variation in solar irradiance during the day is paramount to the estimation of gross photosynthesis (GP) in agricultural crop growth models. However, measurements of solar radiation throughout the day are scarce. Thus, this paper aims to model the variation of the solar irradiance as a function daily solar radiation and photoperiod for estimate of GP. The research was conducted as the irrigated sugarcane crop (variety RB92579) in Rio Largo, metropolitan region of Maceió, Alagoas. The photosynthetic irradiance (PAR) was determined in two ways: i) PAR = 0,44 of global solar radiation (R_g) measured by a radiometer, and ii) as a function of daily photosynthetic irradiation and photoperiod. The PAR estimated by two approaches were used to calculate daily GP. Daily GP in function of the estimated irradiance determined by total irradiation were satisfactory, since it showed high agreement ("d" = 0.997) and precision high (R² = 0.992) when compared with daily GP calculated with values of irradiance measured.

Keywords: solar radiation, photosynthesis and sugar cane.

1. INTRODUÇÃO

Em alguns modelos, como por exemplo, o QCANE (Liu e Bull, 2001), os processos de crescimento da cultura incluem estimativas da fotossíntese e da respiração, que são função do desenvolvimento da cultura e das variações dos elementos do ambiente. Na computação da fotossíntese bruta (FB) de uma folha pode-se considerar a curva de resposta da assimilação de CO₂ em função da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) absorvida ou interceptada expressa na forma hiperbólica (Goudriaan, 1986). Nos modelos existentes, a fotossíntese é simulada após a contabilização da variação de RFA diária e da sua atenuação dentro do dossel, ou seja, da RFA interceptada, associada a alguns parâmetros fotossintéticos da cultura, tais como a eficiência fotossintética e a fotossíntese máxima. Esses últimos parâmetros expressam o caráter assintótico da taxa fotossintética, em função do incremento da densidade de fluxo de luz até a saturação. A equação normalmente usada para descrever esta relação é uma hiperbólica retangular, e, é base de muitos modelos de crescimento de cultura. Além da necessidade de conhecer os parâmetros fisiológicos da cultura, a grande dificuldade em estimar a fotossíntese é a contabilização da variação de luz ao longo do dia, uma vez que medidas de irradiância solar são escassas. Com o exposto, objetiva-se modelar a variação da irradiância no decurso do dia através da irradiação solar total diária.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada com a primeira soca da cultura de cana-de-açúcar (variedade RB92579) na área experimental do Centro de Ciências Agrárias (CECA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) em Rio Largo, Alagoas (09°28'02"S; 35°49'43"W; 127m). A área total de cultivo foi de 5.292 m². O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrocoeso argissólico, de textura média/argilosa. O cultivo foi irrigado por um sistema de gotejamento subsuperficial. O espaçamento foi duplo (1,40 e 0,40 m), sendo os toletes distribuídos de maneira que o arranjo fosse em média 18 gemas por metro linear.

Os comprimentos e as larguras das folhas para a determinação da área foliar (AF) da cultura foram obtidas em 12 plantas, nos seguintes dias após o corte (DAC) da cana planta (20/02/08): 90, 128, 146, 176, 203, 245, 266, 299 e 336 dias. Nos mesmos dias avaliou-se o número de plantas por metro, utilizando-se de 3 m lineares da mesma linha no qual estavam as plantas consideradas na determinação das dimensões foliares em cada parcela. O índice de área foliar (IAF) foi obtido como a razão entre a AF e a área ocupada pela planta (AS). Para o cálculo do IAF diário no decorrer do cultivo tomaram-se os valores medidos e efetuaram-se ajustes de funções matemáticas (distribuição Log-Normal, com quatro parâmetros) em relação aos graus-dia acumulados no longo do cultivo.

A RFA instantânea (RFA_{INST}) foi estimada como 44 % da irradiância solar global (Rg). A estimativa da FB diária (FB_d, kg m⁻² de CO₂) foi feita de uma solução numérica, baseada em uma abordagem trapezoidal, conforme metodologia de Liu (1996):

$$FB_d = \frac{N}{n} \sum_{i=0}^{n-1} \left[\frac{FB_{INST}(t_i) + FB_{INST}(t_{i+1})}{2} \right] \quad (1)$$

em que, FB instantânea (FB_{INST}, kg m⁻² s⁻¹ de CO₂) foi obtida por:

$$FB_{INST} = \left[\frac{F_{MAX}}{K} \ln \left(\frac{\alpha K RFA_{INST}(t_i) + (1-\tau) F_{MAX}}{\alpha K RFA_{INST}(t_i) e^{-K IAF} + (1-\tau) F_{MAX}} \right) \right] \quad (2)$$

em que, α (kg J⁻¹ de CO₂) é a eficiência fotossintética, F_{MAX} (kg m⁻² s⁻¹ de CO₂) é a fotossíntese máxima, N é o fotoperíodo (s) calculado em função do dia do ano e a latitude, n é o número de trapézios, K é coeficiente de extinção da luz (0,58) pelo dossel obtido de Inman-Bamber (1994). Os valores de α e F_{MAX} para cana-de-açúcar foram respectivamente, 10,88 kg J⁻¹ de CO₂ e 1,57 x 10⁻⁶ kg m⁻² s⁻¹ de CO₂ (Liu, 1996; Hartt e Burr, 1967).

A FB_d também foi calculada com a RFA_{INST} estimada pela irradiação diária fotossintética e pelo fotoperíodo. Assumiu-se que a variação diária de RFA_{INST} é simétrica, similar a uma curva-seno. Através de uma equação usada por Monteith (1965), como mostrado por Liu (1996).

$$RFA_{INST}(t_i) = \frac{\pi RFA}{2N} \sin \left(\frac{\pi i}{n} \right) \quad (3)$$

A análise de concordância da FB calculada com a irradiância estimada pela irradiação e o fotoperíodo, em comparação a FB determinada com a irradiância medida, foi feita com base no índice de concordância "d" (Willmontt, 1982), que indica em termos relativos, a concordância entre os métodos utilizados. O índice "d" foi obtido pela expressão:

$$d = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \right), \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (4)$$

em que, O_i é os resultados obtidos da FB com irradiância medida, P_i é os resultados obtidos da FB com irradiância estimada pela irradiação e fotoperíodo, $P'_i = P_i - \bar{O}$, $O'_i = O_i - \bar{O}$, $\bar{O}$ é a

média dos resultados dos obtidos da FB com irradiância medida e n é o número de dados analisados. Os limites de concordância e distribuição individual entre as dois métodos foram avaliados através da técnica de plotagem proposta por Bland e Altman (1986). Nessa técnica, os limites de concordância são determinados como as diferenças médias dos dois métodos $\pm$ o produto de 1,96 pelo desvio padrão das diferenças (média $\pm$ 1,96 DP).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação da R_g é dependente da condição de nebulosidade (índice de claridade, K_t), do ângulo de elevação do sol e da sazonalidade (variação do ângulo zenital) em função do movimento de translação da terra. A curva de distribuição da RFA ao longo do dia é diretamente proporcional a da R_g . Porém, existe variação na fração entre essas variáveis (RFA_{INST}/R_g) em função do índice de claridade da atmosfera, com valores de 0,435 para condição de céu limpo (CL), 0,445 para parcialmente nublado (PN) e 0,460 para nublado (NB) baseado em medidas realizadas por SOUZA *et al.* (2003) para a região de estudo.

A equação (3) usada para estimar a variação da irradiância fotossintética pela irradiação diária e o fotoperíodo tiveram notadamente falta de conformidade com a curva mesurada nas condições de campo (Figura 1). Isso ocorre, devido a curva de distribuição estimada pela irradiação apresentar simetria entre o período da manhã e o da tarde, e considerar que não ocorre atenuação das nuvens. Assim, a tendência é de que se observe diferença entre a irradiância medida e estimada como mostrado nos dias plotados.

Em todos os dias avaliados, nas diferentes condições de nebulosidade, os picos de irradiância fotossintética foram subestimados. Porém, como essa estimativa da irradiância fotossintética foi usada nos cálculos de FB diária, há compensação entre os picos e as depressões. Os resultados das FB diárias calculada com dados obtidos da equação (3), que estima a distribuição de luz foram satisfatórias, uma vez que, apresentaram elevada concordância ($d = 0,997$) e também alto coeficiente de determinação ($R^2=0,992$), quando relacionadas com as FB diárias calculadas com os valores de RFA_{INST} medidos. A análise de regressão linear dessa relação resultou na seguinte equação: $y = 0,973 x$, na qual, y é a FB com a variação diária da radiação medida e x é a FB com a variação diária radiação estimada.

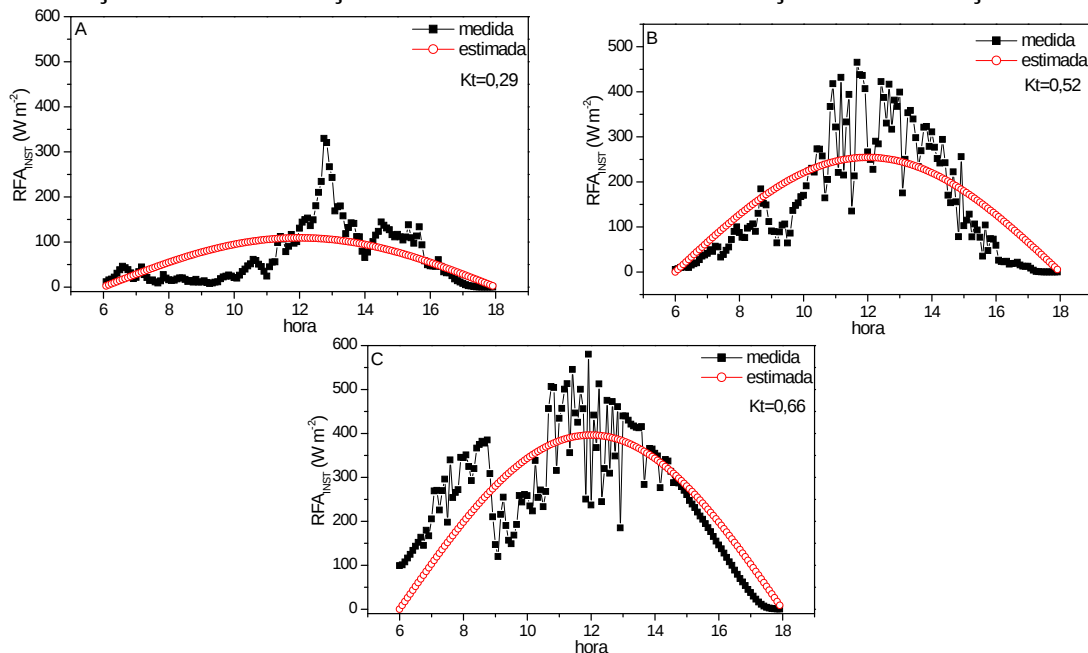


Figura 1. Irradiância fotossintética (RFA) medida e estimada em função da irradiação diária e o fotoperíodo para: A) dia com índice de claridade (K_t) = 0,29 (17/07/2008), B) dia com K_t = 0,52 (03/07/2008) e C) dia com K_t = 0,66 (12/12/2008).

Na Figura 2-A observam-se a FB diária com a RFA_{INST} medida e estimada. Os desvios entre as duas curvas (Figura 2-B) implicam que ocorreu variação entre os cálculos de FB em função da irradiância usada com entrada (medida ou estimada). Notadamente, observou-se através dos desvios, que antes de 252 DAC, os dias tiveram FB calculadas com a irradiância estimada superiores em relação às FB com irradiância medida. Os dias que os desvios foram negativos (FB com irradiância estimada maior) apresentaram Kt médio igual a 0,52. Todavia, o período com dias de desvios positivos, FB com irradiância estimada menor, tiveram média de Kt superior, com valor igual a 0,66. Todas as vezes que Kt mostrou-se inferior a 0,55 o desvio foi negativo. O maior desvio negativo (-5,8) ocorreu no dia 03/07/2008, no qual Kt foi igual a 0,52 (Figura 1-B). Dias com Kt inferior a 0,3 (dia de céu nublado) mostraram tendência de diminuição das diferenças, mas do desvio continuar negativo, como por exemplo, no dia 17/07/08 (Figura 1-A), que apresentou desvio de -2,9. Nos dias que o Kt foi superior a 0,66, os desvios foram positivos. Porém, o máximo desvio positivo ocorreu no dia 12/12/08 e o Kt foi 0,66. (Figura 1-C).

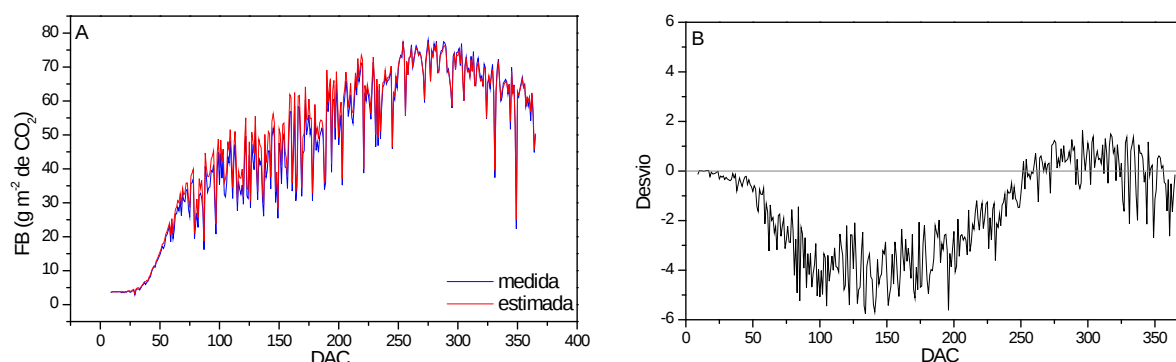


Figura 2. A) Fotossíntese bruta (FB) diária com dados de irradiância fotossintética medida e estimada pela irradiação no cultivo de cana-de-açúcar e B) desvio entre métodos.

Na Figura 3, a plotagem de Bland e Altman (1986) mostra com maior sensibilidade a concordância entre os métodos. O desvio médio (DM) das diferenças foi de -1,68, o que indicou proximidade entre os métodos, e que os valores da FB com a radiação estimada foram maiores que os com a radiação medida. As maiorias dos dados encontraram-se dentro dos limites de concordância, que apresentaram baixos valores (2,04 e -5,40).

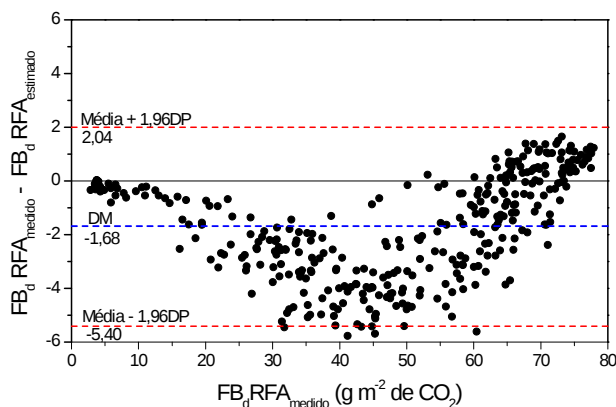


Figura 3. Limites de concordância entre os valores de fotossíntese bruta com dados de irradiância fotossintética medida ($FB_d\ RFA_{medido}$) e com dados de irradiância fotossintética estimada pela irradiação ($FB_d\ RFA_{estimado}$) de um cultivo de cana-de-açúcar irrigado em Rio Largo (2008-2009), AL. DM = desvio médio e DP = desvio padrão.

4. CONCLUSÕES

O cálculo da fotossíntese bruta diária usando a variação da irradiância luminosa estimada, através da irradiação (faixa do visível) e o fotoperíodo, tem alto grau de concordância com o calculado com a irradiância medida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAND, JM; ALTMAN, DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **In: Lancet**, v.1, n. 8476, p.307-310, 1986.
- GOUDRIAAN, J. A simple and fast numerical method for the computation of daily total photosynthesis. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.38, p.249-254, 1986.
- HARTT, C.E.; BURR, G.O. Factors affecting photosynthesis in sugar cane. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v.12, p.590-609, 1967.
- INMAN-BAMBER, N.G. Temperature and seasonal effects on canopy development and light interception of sugarcane. **Field Crops Research**, Amsterdam, v.36, p.41-51, 1994.
- LIU, D.L. Incorporating diurnal light variation and canopy light attenuation into analytical equations for calculating daily gross. **Ecology Modelling**, v.93, p.175-189, 1996.
- LIU, D.L; BULL, T.A. Simulation of biomass and sugar accumulation in sugarcane using a process-based model. **Ecological Modelling**, V.144, p. 181–211, 2001.
- MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Ann. Bot.**, v.29, p.17-37, 1965.
- SOUZA, J. L.; TAVARES, P. S.; TEODORO, I.; SILVA, P. R. T.; SILVA NETO, J. L. Irradiância solar global e radiação fotossinteticamente ativa em Maceió, ano 2003. In: **XIV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Campinas, SP. Agrometeorologia, Agroclimatologia e Agronegócio. Campinas; SBA/UNICAMP. CD-ROW.
- WILLMOTT, C.J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Soc**, v.63, p.1309-1313. 1982.