

ARQUITETURA FOLIAR E COEFICIENTE DE EXTINÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR PARA DUAS VARIEDADES DE CANA-DE-AÇÚCAR

ROGÉRIO H. SAKAI¹, FABIO R. MARIN², DANIEL S.P. NASSIF³, ANDRÉ CESAR VITTI⁴, RAFFAELLA ROSSETTO⁴

¹Eng. Agrônomo, bolsista CNPQ, EMBRAPA Informática Agropecuária, Campinas-SP, Fone: (19)3211-5700, sakai@cnptia.embrapa.br.

²Eng. Agrônomo, Pesquisador, EMBRAPA Informática Agropecuária, Campinas-SP, ³Eng. Agrônomo, Mestrando do PPG em Física do Ambiente Agrícola, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, ⁴Eng. Agrônomo, Pesquisador, APTA, Piracicaba-SP.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções - Belo Horizonte, MG.

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar um método computacional para a determinação do ângulo de inserção foliar (AIF) em cana-de-açúcar com base em imagens digitais, em comparação com medidas de campo segundo uma metodologia tradicional, para duas cultivares de cana-de-açúcar (IAC91-1099 e SP89-1115). Além dessa comparação, estimou-se o coeficiente de extinção (K) para radiação solar, observando-se a propagação do erro de estimativa do AIF nesta estimativa. Os ângulos medidos e os estimados não tiveram diferença estatisticamente significativa a 5% de probabilidade com o teste Tukey, com exceção da folha +2 na cultivar SP89-1115. Isso, contudo, não resultou em diferença na determinação do K medido e estimado. A cultivar SP89-1115 obteve K maior do que o estimado para a cultivar IAC91-1099, variando entre 0,44 e 0,74 considerando valores calculados para as 12:00. Considerando a variação horária de K, os valores oscilaram entre 0,5 e 6,5. Podemos concluir que o método computacional é válido para estimar o ângulo de inserção foliar e existe diferença entre as duas cultivares no ângulo de inserção ocasionando diferença no cálculo do K.

PALAVRAS-CHAVE: Cana-de-açúcar, ângulo de inserção foliar, coeficiente de extinção

TITLE: LEAF ARCHITECTURE AND SOLAR RADIATION EXTINCTION FOR TWO IN SUGARCANE CULTIVARS

ABSTRACT: This paper aimed to evaluate a computational method for determining the insertion angle of the leaves (IAL) in sugarcane based on digital images, compared with field measurements using a traditional methodology, for two cultivars of (IAC91-1099 and SP89-1115). Besides this comparison, it was estimated the extinction coefficient (K) for solar radiation, observing the error propagation in the estimates of ALI. The angles measured and the estimated difference was not statistically significant at 5% probability with the Tukey test, except the +2 on leaf cultivar SP89-1115. This, however, did not result in statistically differences on K values, comparing simulated and measured values. The cultivar SP89-1115 had K values higher than the ones estimated for IAC91-1099, ranging between 0.44 and 0.74 when estimates were done for 12:00. Considering the hourly variation of K, values ranged between 0.5 and 6.5. It was possible to conclude that computational method is valid to estimate the insertion angle of the leaves and there is difference between the two cultivars in the IAL, without difference in the calculation of K.

KEY-WORD: Sugarcane, insertion angle of the leaves, extinction coefficient

INTRODUÇÃO: A eficiência na interceptação e absorção de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) está diretamente relacionada à organização espacial das folhas, representada pela densidade de cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical de folhas e o ângulo de

inserção foliar (MOREIRA, 2005). O ângulo de inserção foliar, juntamente com o índice de área foliar (IAF), regulam o grau de penetração da radiação no interior da copa da planta utilizando um coeficiente de extinção luminosa (K) descrito por MONSI e SAEKI (1953) citado por HIROSE (2005). A dificuldade em se conseguir medir o ângulo de inserção foliar em plantas de cana-de-açúcar no campo faz com que se utilizem valores fixos de K de 0,58 e 0,65 recomendados por BARBIERI (1993) e INMAM-BAMBER e THOMPSON (1989), respectivamente. No entanto, sabe-se que o coeficiente de extinção é dependente tanto da arquitetura foliar como do ângulo zenital do Sol, apresentando, portanto, grande variação em função das variedades e também do horário do dia. Assim, o objetivo do presente trabalho foi utilizar um método computacional para a determinação do ângulo de inserção foliar em cana-de-açúcar buscando tornar mais simples e rápida sua determinação em condições de campo e, com isso, facilitando a determinação do coeficiente de extinção em escala horária e levando em conta as diferenças arquiteturais entre as variedades.

MATERIAL E MÉTODOS: Para o estudo, foram escolhidas as cultivares de cana-de-açúcar SP89-1115 e IAC91-1099 cultivadas em área experimental da APTA-Piracicaba, SP. Foram coletados os dados de 10 plantas de cada cultivar, selecionadas ao acaso no interior do canal, sendo que cada planta foi considerada como uma repetição. As medidas de ângulo foliar foram feitas medindo com um transferidor o ângulo médio foliar em três posições. A primeira posição foi a partir do colmo em relação à nervura da última folha que apresentou a bainha livre, em seguida de uma folha do terço médio e posteriormente de uma do terço inferior considerando o eixo horizontal como ponto inicial para medição do ângulo foliar, segundo OLIVEIRA (1988). As mesmas plantas utilizadas na análise de campo foram selecionadas e fotografadas para a execução da segunda parte do experimento. Utilizou-se um fundo branco para isolar a planta e facilitar o cálculo do ângulo de inserção. No Laboratório de Modelagem Agroambiental da Embrapa Informática Agropecuária, em Campinas, SP, as fotos em JPEG foram capturadas e transformadas em PDF usando o programa FOXIT 3.0 (Figura 1) e calculado o ângulo médio de inserção das mesmas folhas.

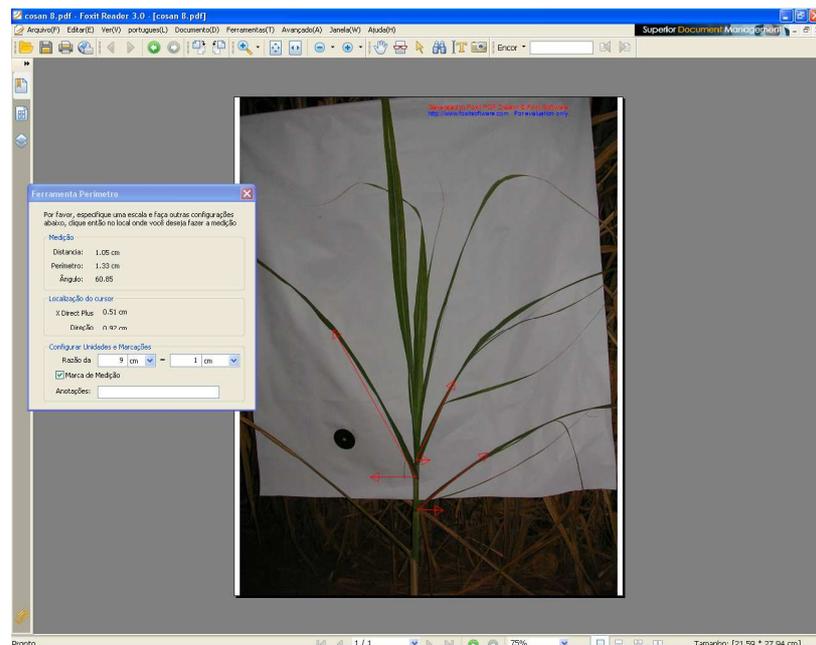


Figura 1. Interface do programa FOXIT 3.0 para cálculo do ângulo de inserção de folha. 2009.

O cálculo do coeficiente de extinção foi feito primeiramente pela abordagem proposta por Campbell (1986), que parte da estimativa da razão entre o eixo vertical e horizontal da arquitetura da copa (x); sendo AMI o ângulo médio de inserção das folhas:

$$x = -1.7433025 + \frac{162.22848}{AMI}$$

Na seqüência, calculou-se o coeficiente de extinção luminosa (K), pela abordagem proposta por Campbell & Norman (1998), como função de x e do ângulo zenital do Sol (z).

$$K = \frac{\sqrt{x^2 + (\tan z)^2}}{x + 1.774 * (x + 1.182)^{-0.733}}$$

A comparação entre médias de ângulo de inserção foliar e coeficiente de extinção luminosa foi feita pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Todos os dados foram analisados pelos procedimentos de análise da variância, utilizando-se o programa Statistica 6.0 (STATSOFT, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Observando a Tabela 1, nota-se que não houve diferença estatística entre o ângulo de inserção foliar medido e o estimado para a cultivar IAC91-1099. Porém, para a cultivar SP89-1115, houve diferença entre o ângulo medido e o estimado da folha +2 e esta diferença parece estar associada a erros, uma vez que a determinação do ângulo de inserção foliar pelo programa FOXIT oferece mais segurança na determinação do ângulo de inserção foliar com precisão. DECKMYM et al. (2000), testando outros métodos de cálculo de ângulo foliar em espécies gramíneas também não visualizaram diferença entre o ângulo medido em campo e o estimado. Ainda na Tabela 1, notou-se que as folhas +3 na cultivar SP89-1115 tinham menor ângulo de inserção, pois a folha estava em declínio, isto se deve ao fato dessa cultivar ter ciclo precoce, portanto indicaria uma menor atividade fotossintética.

Tabela 1. Comparação do ângulo de inserção foliar medido e estimado para duas cultivares de cana-de-açúcar

	Ângulo de inserção (graus)	
	Medido ± EPM	Estimado ± EPM
	IAC91-1099	
Folha +1	71,8±2,0 a	72,4±1,4 a
Folha +2	69,1±2,2 a	64,8±2,4 a
Folha +3	61,1±2,5 a	57,5±2,3 a
	SP89-1115	
Folha +1	67,8±3,7 a	68,6±1,8 a
Folha +2	60,8±2,0 a	56,2±1,7 b
Folha +3	38,6±2,6 a	41,7±2,5 a

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas linhas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P > 0,5). EPM = erro padrão da média. 2009.

Utilizando os ângulos médios de inserção de folha (AMI) medidos e estimados, calculou-se o coeficiente de extinção de radiação (K) para as 12 horas nos solstícios de inverno e verão e também para o equinócio (Tabela 2) onde é possível observar que não houve diferença estatística a 5% de probabilidade entre os valores. Vale mencionar que os valores da Tabela 2 indicando que, no solstício de verão e equinócio, os valores de K são menores que no solstício

de inverno para as ambas as cultivares, indicando maior extinção de radiação durante o inverno em comparação com as demais estações do ano. Nota-se, ainda pela Tabela 2, que o K da cultivar IAC91-1099 é significativamente menor que o obtido para a cultivar SP89-1115 para qualquer período do ano, devido ao maior ângulo de inserção das folhas. Como exemplo da importância do aprofundamento dos estudos sobre arquitetura de cana-de-açúcar, INMAN-BAMBER (1991) sugeriu K variando entre 0,58 e 0,84 para a cultivar NCo376. Tais valores foram utilizados por SINGELS et al. (2008) para parametrização no programa DSSAT/Canegro v4.5. As cultivares brasileiras avaliadas neste trabalho (Tabela 2) nota-se que o valor de K varia de 0,44 a 0,74 ao meio dia, indicando a necessidade de ajuste para as cultivares brasileiras de cana-de-açúcar.

Tabela 2. Coeficiente de extinção (K) para as 12 horas nos solstícios de inverno (23,45°) e verão (-23,45°) e equinócio (0°)

	-23,45°	
	Medido ± EPM	Estimado ± EPM
IAC91-1099	0,50±0,01 Aa	0,52±0,02 Aa
SP89-1115	0,62±0,02 Ba	0,62±0,01 Ba
	0°	
IAC91-1099	0,44±0,02 Aa	0,47±0,02 Aa
SP89-1115	0,59±0,03 Ba	0,59±0,03 Ba
	+23,45°	
IAC91-1099	0,69±0,00 Aa	0,70±0,01 Aa
SP89-1115	0,74±0,01 Ba	0,74±0,01 Ba

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,5$). EPM = erro padrão da média. 2009.

Outro aspecto interessante que pode ser depreendido dessa análise é visualizado na Figura 2, na qual é possível notar que no decorrer do dia para os solstícios e equinócios, as curvas seguem a mesma tendência, porém com valores diferentes. Há também uma grande variação do valor do K ao longo do dia, diferentemente do que se costuma implementar em modelos de simulação, utilizando valores fixos de K. O programa Canegro/DSSAT (SINGELS et al. 2008) que utilizam-se valores fixos de k independente do horário em que foram feitas as coletas de dados no campo para a modelagem da cana-de-açúcar, podendo incorrer em erros nas estimativas.

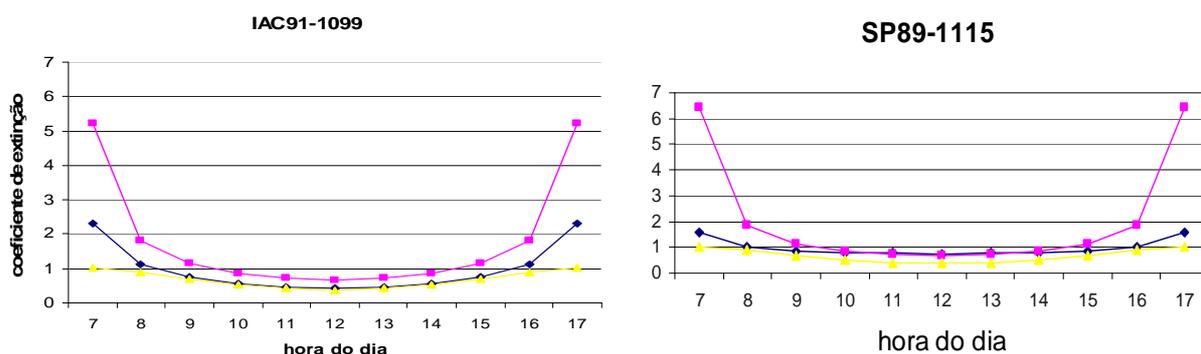


Figura 2. Coeficiente de extinção luminosa ao longo dos dias de equinócio (—◆—), solstício de inverno (—■—) e solstício de verão (—▲—). 2009.

CONCLUSÃO: Com base nos resultados obtidos conclui-se que o método de estimativa do ângulo de inserção foliar pelo programa FOXIT 3.0 é comparável às medidas feitas no campo, com as vantagens de tornar muito mais simples e rápida a determinação. O estudo também

mostrou que há diferenças entre os coeficientes de extinção para cada cultivar estudada e também entre os períodos do ano avaliados (solstícios de inverno e verão e os equinócios). Os valores de k (coeficiente de extinção) são diferentes para cada cultivar, sendo necessário o ajuste do em programas computacionais que estimam a produtividade da cana-de-açúcar, a exemplo do programa Canegro/DSSAT para as cultivares brasileiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*):** Um modelo matemático-fisiológico de estimativa. 1993. 140p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1993.
- CAMPBELL, G.S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agric. Forest Meteorol.** vol.36, p.317-321. 1986.
- CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**, New York: Springer, 1998. 283p.
- DECKMYN, G.; NIJS, I.; CEULEMANS, R. A simple method to determine leaf angles of Grass species. **Journal of Experimental Botany.** vol. 51, n. 349, p.1467-1470. 2000.
- HIROSE, T. Development of the Monsi-Saeki theory on canopy structure and function. **Annals of Botany.** vol.95; p.483-494. 2005.
- INMAN-BAMBER, N.G A growth model for sugar-cane based on a simple carbon balance and the CERES-Maize water balance. **South African Journal Plant Soil.** vol.8, n.2; p.93-99. 1991.
- INMAN-BAMBER, N.G.; THOMPSON, G.D., 1989. Models of dry matter accumulation by sugarcane. **Proc. S. Afr. Sugarcane Technol. Assoc.** 63, p. 212-216.
- MONSI, M.; SAEKI, T. Uber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fur die Stoffproduktion. Japon. **Jardin Botanique**, London, v.14, p.22-52, 1953.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação (3ª Ed.). Viçosa: Ed. da UFV, 2005. 320 p.
- OLIVEIRA, J.A.C. Potencial forrageiro de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* SCHUM.) e de capim-elefante x milho (*Pennisetum americanum* (L.) LEEKE) no agreste semi-árido de Pernambuco. Recife: UFRPE, 1988, 233p. (Dissertação de mestrado).
- SINGELS, A.; JONES, M.; van den BERG, M. **DSSAT v4.5 – Canegro Sugarcane Plant Module – Scientific documentation.** International Consortium for Sugarcane Modelling (ICSM). 2008. p. 34.
- STATSOFT, Inc. **Statistica for Windows**, version 6. Tulsa, OK, U.S.A ., 2001.