

CARACTERIZAÇÃO DO COEFICIENTE DE EXTINÇÃO DE CULTIVARES DE CANA-DE AÇÚCAR

DÉBORA PANTOJO DE SOUZA¹, ELIZABETH LIMA CARNEVSKIS², FERNANDO CAMPOS MENDONÇA³ RAFFAELLA ROSSETTO⁴, FABIO RICARDO MARIN⁵,

¹Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Depto. Engenharia de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” (ESALQ/USP), Piracicaba/SP, (15) 981530891; dpsouza@usp.br. ²Mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Depto. Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba/SP. ³Engenheiro Agrônomo, Prof. Doutor Depto. Engenharia de Biossistema, ESALQ/USP, Piracicaba/SP. ⁴Engenheira Agrônoma, Dra. Pesquisadora Científica, APTA-Piracicaba, SP. ⁵Engenheiro Agrônomo, Prof. Associado Depto. Engenharia de Biossistema, ESALQ/USP, Piracicaba/SP.

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: A compreensão da arquitetura de copa de espécies cultivadas e sua relação com a eficiência de interceptação da radiação possibilita caracterizar a tendência temporal dos grupos responsáveis pelo melhoramento genético da cultura da cana-de-açúcar no país e vislumbrar perspectivas e estratégias para melhor adaptação da cultura aos ambientes produtivos. O trabalho foi realizado no Centro de Cana-de-açúcar do IAC em Ribeirão Preto/SP, sendo coletados dados das cultivares RB72454 (1), RB867515 (2), SP 83-2847 (3) e IACSP 95-5000 (4). A seleção dessas cultivares teve por base estudar diferentes gerações de cultivares e analisar uma tendência temporal. As cultivares 1 e 2 apresentaram maior gama de ângulos de inserção foliar em comparação com as demais. As cultivares apresentaram diferentes valores de coeficiente de extinção, que variou de 0,5 a 1,66 para as cultivares 1 e 2; de 0,87 a 1,14 para a cultivar 3 e de 0,76 a 1,39 para a cultivar 4. Tais variações se devem às características de origem genética e ambiental.

PALAVRA-CHAVE: *Saccharum* spp., ângulo de inserção foliar, radiação solar

CHARACTERIZATION OF EXTINCTION COEFFICIENT THE SUGARCANE CULTIVARS

ABSTRACT: Understanding the canopy architecture of cultivated species and its relationship to radiation interception efficiency possible characterize the temporal tendency of the groups responsible for breeding the culture of sugarcane in the country and look into perspectives and strategies for better adaptation to productive environments. The study was done at sugarcane center of the IAC, at Ribeirão Preto/SP, using the cultivars RB72454 (1), RB867515 (2), SP83-2847 (3), and IACSP 95-5000 (4), the selection of these cultivars was based on studying different generations of cultivars and analyze a temporal trend. The cultivars 1 and 2 had higher leaf insertion angles compared to the others. The extinction coefficient showed variations according to the cultivars, from 0.5 to 1.66 to cultivars 1 and 2, from 0.87 to 1.14 to cultivar 3, and from 0.76 to 1.39 to the cultivar 4. Such variations relates to original characteristics of genetics and environment.

KEYWORDS: *Saccharum* spp., leaf insertion angle, solar radiation.

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar, gênero *Saccharum* L., teve sua maior expansão no Brasil com o Proálcool, transformando-se em uma das principais culturas da economia (Carlos et al., 2008). Atualmente, o estado de São Paulo é o maior produtor, com 4.678,7 mil hectares de área plantada e produção de 350.645,2 mil toneladas (CONAB 2015).

O acúmulo de biomassa ocorre por meio do processo fotossintético e tem como fonte primária de energia a radiação solar, que juntamente com a utilização de água, fixam o dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera por meio do aparato fotossintético C4, para consequente produção de carboidratos (FERREIRA JUNIOR, 2013).

A energia radiante usada na fotossíntese é denominada radiação fotossinteticamente ativa (PAR), cuja faixa de comprimento de onda λ situa-se entre 400 e 700nm (IQBAL, 1983). A radiação solar interceptada (ou absorvida) pelo dossel das plantas é a componente mais importante para uma análise de crescimento e acúmulo de biomassa. Para estimá-la utilizando a radiação solar incidente (que chega ao topo das plantas) é necessário conhecer o índice de área foliar [IAF - razão entre a área das folhas (AF) verdes da planta e a área útil da superfície do solo (AS)] e o coeficiente de extinção da luz (k) que expressa a influência das propriedades óticas das folhas e da geometria do dossel na atenuação da luz (VARLET-GRANCHER et al., 1989).

Segundo Almeida et al. (2008), a identificação do potencial produtivo depende de alguns parâmetros morfológicos, dentre eles o IAF. Para um mesmo IAF pode haver diferenças na eficiência de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa, por conta da diminuição da intensidade da luz que passa através das camadas de folhas sobrepostas, conforme a arquitetura e o porte da planta.

O coeficiente de absorção foliar, também denominado de coeficiente de extinção da luz (k), foi descrito por Monsi e Saeki (1953). É um parâmetro adimensional que representa a fração absorvida dos fótons incidentes por unidade de área foliar (MONTEITH, 1973; CAMPBELL, 1986). O estudo do k está ligado ao ângulo de inclinação das folhas, à disposição das mesmas e ao ângulo zenital do Sol. Geralmente as plantas com folhas superiores verticais têm um coeficiente de extinção de luz mais baixo do que as plantas com folhas superiores horizontais; portanto, são mais eficientes na utilização da luz. Segundo Monsi e Saeki (2005), os valores de k são aproximadamente constantes para as mesmas espécies e variam bastante em comunidades com diferentes espécies.

A dificuldade em se conseguir medir o ângulo de inserção foliar em cana-de-açúcar no campo faz com que se utilizem valores fixos de k de 0,58 ou 0,65, tal como recomendado por BARBIERI (1993) e INMAM-BAMBER & THOMPSON (1989), respectivamente. Entretanto, é provável que existam cultivares que tenham maior produtividade por conta da inclinação de suas folhas e, conseqüentemente, valor de k diferente dos valores recomendados por esses autores.

Os objetivos dessa pesquisa foram a caracterização do coeficiente de extinção e a estimativa de produtividade para quatro cultivares de cana-de-açúcar.

MATERIAL DE MÉTODOS

Os dados foram coletados no jardim varietal pertencente ao Instituto Agrônômico (IAC), na unidade de Ribeirão-Preto/SP (latitude: 21°22'29,75"S; longitude: 47°52'29,34"O; altitude 635 m). Foram analisadas as seguintes cultivares: RB72454, RB867515 (RIDESA), SP 83-2847 (COPERSUCAR) e IAC SP 95-5000 (Instituto Agrônômico), todas com aproximadamente 230 dias de idade de corte da soqueira.

Para estimar a produtividade foram utilizados os dados da estação meteorológica do IAC/Ribeirão Preto, entre o início da rebrota (26 de setembro de 2014) e a data da coleta (14/05/2015), totalizando 230 dias de crescimento das plantas.

Para a determinação do coeficiente de extinção (Equação 5 – CAMPBELL e NORMAN, 1998), foram medidos os ângulos de inserção foliar com auxílio de um transferidor com nível (Figura 1). Foram coletadas 20 folhas por cultivar do terço médio da planta, sendo cada folha medida em três partes (L1- inserção da bainha da folha no colmo; L2- no meio do comprimento da folha; L3- na ponta da folha) usando como referência a linha horizontal do solo, verificando a frequência dos mesmos por meio de um histograma. Com isso, foi calculado o ângulo médio de inserção foliar das folhas (AMI). Também determinou-se a declinação solar (δ), o parâmetro “x” (equação 2), ângulo horário (h_n) e o ângulo zenital (Z), (Equações 1, 2, 3 e 4 respectivamente).



Figura 1. Medição do ângulo médio de inserção foliar (AMI) na região L2. Ribeirão-Preto/SP, 2015.

$$\delta = 23,45 \operatorname{sen} \left[360 \frac{(NDA - 80)}{365} \right] \quad (1)$$

Em que,

NDA - número de dias do ano

$$x = -1,7433025 + \frac{162,22048}{AMI} \quad (2)$$

Em que,

AMI – ângulo médio de inclinação da folha (graus).

$$h_n = \arccos(-tg\varphi tg\delta) \quad (3)$$

Em que,

φ - Latitude do local (radianos)

δ - ângulo de declinação solar (radianos)

$$Z = \arccos(\operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\delta + \operatorname{cos}\varphi \operatorname{cos}\delta \operatorname{cosh}_n) \quad (4)$$

$$k = \frac{\sqrt{x^2 + (\tan z)^2}}{x + 1,774(x + 1,182)^{-0,733}} \quad (5)$$

A Lei de Beer (BEER, 1852) descreve a atenuação da radiação atravessando meios distintos, inclusive dosséis vegetais, que é necessária para estimar a produtividade potencial.

Monsi & Saeki (1953) propuseram a aplicação da equação de Beer para um dossel vegetal, que é apresentada na Equação 6.

$$I = I_0 * e^{-k*IAF} \quad (6)$$

Em que,

I - radiação incidente (Wm^{-2})

I_0 - radiação incidente antes de atravessar a camada (Wm^{-2})

IAF - índice de área foliar (m^2m^{-2})

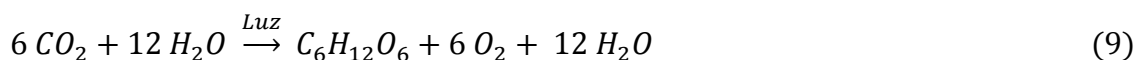
O IAF foi calculado utilizando a Equação 7 de Oliveira et al, 2007, a qual relaciona esse parâmetro com o crescimento da cultura após a rebrota ou plantio em cana-de-açúcar. (DAP).

$$IAF = -3 * 10^{-5}DAP^2 + 0,0239DAP - 0,6076 \quad (7)$$

Com os valores da radiação incidente, calculou-se a quantidade de energia absorvida por meio da diferença entre a radiação incidente no topo da cultura e a radiação que atravessou a camada. Assumiu-se que 50% da radiação solar seja na forma de PAR, foi extraída e utilizada a Equação 8 do trabalho de Marchiori et al., 2014 a qual a assimilação de CO_2 está em função da radiação fotossinteticamente ativa.

$$A = -9 * 10^{-6}x^2 + 0,0324x - 0,8989 \quad (8)$$

Aplicando a equação da fotossíntese (Equação 9) e sabendo que nesse processo $264 g.mol^{-1}$ de CO_2 produz $180 g.mol^{-1}$ de glicose.



A eficiência de conversão de material fotossintetizado varia entre 0,7 e 0,8 (HUNT & LOOMIS, 1979) nesse trabalho utilizou o valor de 0,735. O índice de colheita é a relação entre a matéria seca economicamente rentável e a massa seca total produzida, de acordo com Doorenbos & Kassam (1979) o valor 0,80 pode ser adotado. Também o índice de respiração da cultura foi adotado conforme Doorenbos & Kassam (1979) utilizando 50%. O índice de umidade utilizado foi de 80%. Assim, obteve a produtividade de cana de açúcar em toneladas por hectare.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a relação dos ângulos médios de inserção foliar para as cultivares (IAC955000, RB72454, RB867515 e SP832847) e a frequência com que esses ângulos ocorreram no campo. Em alguns casos, há presença de dois ângulos por localização da folha, isso se deu porque ambos os ângulos deram frequências iguais.

Tabela 1. Valores de AMI e frequência para cada cultivar estudada nas três partes da folha (L1, L2 e L3) e considerando a folha toda (FT) Ribeirão Preto/SP, 2015.

Cultivar	Parte	Ângulo	Frequência
IAC955000	L1	65° e 70°	4
	L2	40°	4

	L3	20°	8
	FT	40°	9
RB72454	L1	60°	7
	L2	60°	4
	L3	50° e 55°	4
	FT	60°	11
RB867515	L1	60°	5
	L2	40 e 50°	3
	L3	30°	4
	FT	60°	10
SP832847	L1	45°	4
	L2	30°	5
	L3	20°	5
	FT	30°	9

As cultivares IAC955000 e RB867515 apresentam maior amplitude de ângulos de inserção foliar (20° a 70° para a primeira e entre 30° a 60°, para a segunda), e as outras apresentam faixas preferenciais de ângulos. Por exemplo, a cultivar RB72454 tem valores mais frequentes entre 50° e 60°. Já a cultivar SP832847 tem ângulos de inserção entre 20 e 45°. Isso pode estar relacionado à altura da planta; por exemplo, a cultivar IAC955000 foi a que apresentou maior altura entre quatro estudadas. As cultivares RB867515, SP832847 apresentaram porte médio e a RB72454, o menor porte.

Os ângulos médios de inserção foliar foram de 40°, 60°, 60° e 30°, para IAC955000, RB72454, RB867515 e SP832847, respectivamente. Segundo Marchiori (2010), o ângulo de inserção foliar para algumas variedades de cana-de-açúcar do IAC é da ordem de 30°. Sendo que, dentre elas foi estudada a IAC955000, com 31,7° e 30° de ângulo de inserção, no terço superior e inferior, respectivamente. As variedades desse estudo apresentaram ângulos maiores, divergindo da afirmativa do autor.

A Figura 2 demonstra a variação média do coeficiente de extinção (k) para diferentes dias ao longo do ciclo da cultura, em função das horas diárias em que há radiação solar. É perceptível que quanto maior o valor do ângulo, maior será a variação de k ao longo do dia. No ângulo de 20°, k varia entre 0,94 e 1,05; no ângulo de 45°, situou-se na faixa de 0,71 a 1,38 e no ângulo de 70°, seus valores estiveram entre 0,35 e 1,82. Isso se deve ao fato de as copas com folhas mais inclinadas interceptarem mais radiação do que copas com folhas dispostas mais horizontalmente.

Assim, o uso de valores fixos para k, recomendado por BARBIERI (1993) e INMAM-BAMBER & THOMPSON (1989) de 0,58 e 0,65 respectivamente, pode levar a erros grosseiros na estimativa da produtividade potencial. Ainda, os resultados contrariam as afirmações de Monsi e Saeki (2005), de que os valores de k são constantes para as mesmas espécies de plantas e variam bastante em comunidade diferentes.

O melhoramento genético ao longo dos anos possibilitou uma maior faixa de ângulos, levando à maior interceptação de radiação e ao aumento da produtividade. Isto justifica o maior porte da variedade mais nova (IAC955000) em comparação à mais antiga (RB72454).

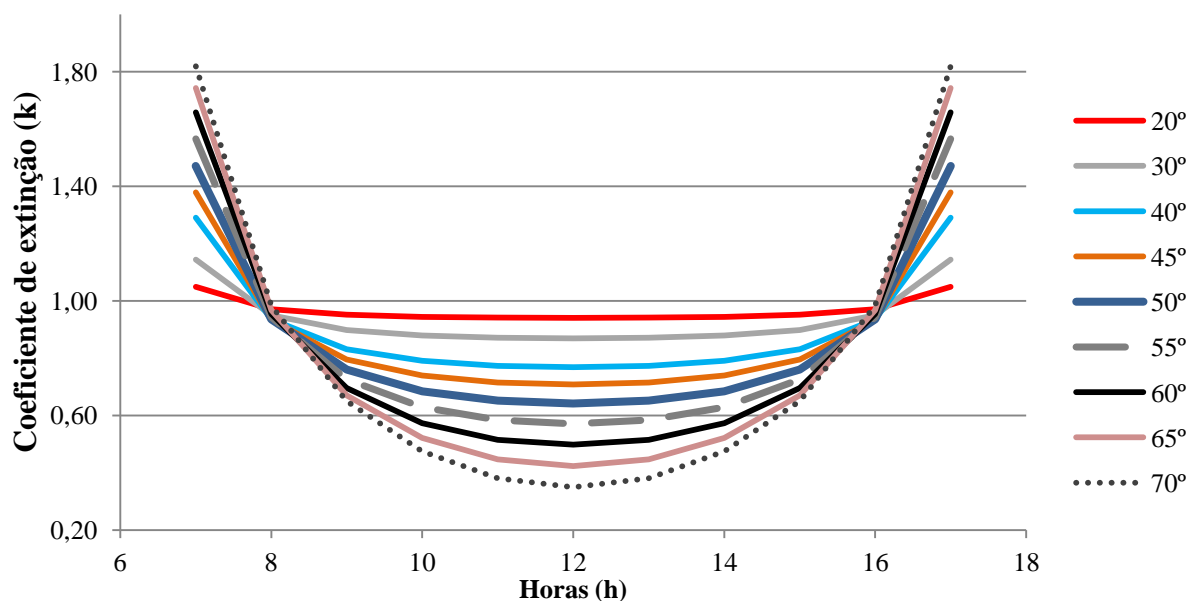


Figura 2. Variação do coeficiente de extinção para os ângulos de inserção foliar de 20°, 30°, 40°, 45°, 50°, 55°, 60°, 65° e 70°. Ribeirão Preto/SP, 2015

A Figura 3 demonstra a estimativa de produtividade das cultivares estudadas conforme os ângulos que foram mais frequentes. Observa-se que conforme o ângulo aumenta, a produtividade diminui por conta que a incidência dos raios solares é próxima ao ângulo reto, tendo folhas mais inclinadas há maior contato com os raios em comparação com uma mesma área foliar recebendo luz em ângulos maiores. Se considerarmos o AMI mais frequente em toda a folha para cada cultivar, temos que a produtividade estimada para a SP 83-2847 é de $145,6 \text{ t ha}^{-1}$; para IAC 95-5000 $145,9 \text{ t ha}^{-1}$ e para as cultivares RB 72-454 e RB 86-7515, de $140,4 \text{ t ha}^{-1}$. Essas produtividades estão de acordo com o obtido em cana planta na região de Ribeirão Preto, SP. Entretanto, são superiores à produtividade obtida em outras condições de campo por Santos et al. (2010) e Vitti et al. (2007), que foram 70 e $136,1 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.

As cultivares RB 72-454 e RB 86-7515 possuem ângulos de inserção foliar semelhantes, provavelmente porque ambas têm mesma origem (RIDESA). Além disso, a RB 86-7515 surgiu de um cruzamento da RB 72-454 com outro genitor (HOFFMANN et al., 2008), portanto, pode-se inferir que essa característica é governada geneticamente. Além dessa hipótese, ao comparar a produtividade e o AMI das cultivares SP 83-2847 e IAC 95-5000, observa-se que seus valores são próximos. A cultivar do IAC originou-se do cruzamento de duas cultivares da COPERSUCAR (SP 84-2066 x SP 80-185), parentais da SP 83-2847 (COPLACANA, 2007), confirmando a hipótese apresentada anteriormente.

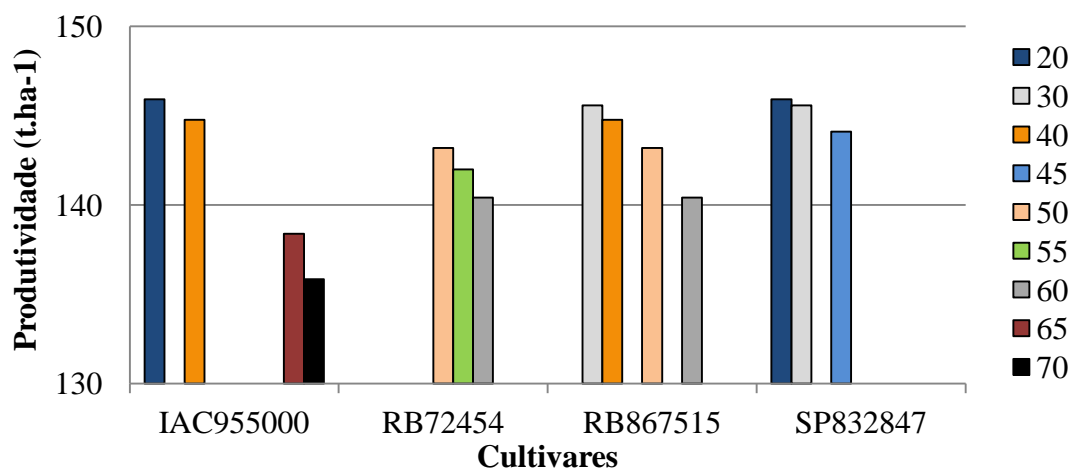


Figura 3. Relação da produtividade das cultivares conforme os ângulos mais frequentes. Ribeirão Preto/SP, 2015.

CONCLUSÕES

- Existe uma diferença no ângulo de inserção foliar entre cultivares da mesma espécie, e isto se deve a características das origens parentais, às condições ambientais e em alguns casos ao manejo, devido a diferentes espaçamentos e populações de plantas.

- A produtividade potencial calculada pelo método utilizado neste trabalho obteve boa correlação para as cultivares; sendo determinadas para variedades altamente produtivas e bem adaptadas ao ambiente de crescimento, com as exigências hídricas, nutricionais e fitossanitárias atendidas. Quanto maior valor no ângulo de inserção, maior a faixa de variação do coeficiente de extinção ao longo do dia e menor a produtividade potencial em cana-de-açúcar.

- Como a produtividade é influenciada diretamente pela absorção luminosa, esses índices podem ser compatíveis para regiões com posição geográfica semelhante a Ribeirão Preto/SP, podendo haver variações em outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. C. D. S., SOUZA, J. L., TEODORO, I., BARBOSA, G. V. S., MOURA FILHO, G., & FERREIRA JÚNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.32, n.5, p. 1441-1448, 2008.

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.

BEER, A. Bestimmung der Absorption des rothten Lichts in farbigen Flussigkeiten. *Annals Physics Chemist*, v.86, n.2, p. 78-90, 1852.

CAMPBELL, G. S.; Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.36, p. 317-321, 1986.

CAMPBELL, G. S., NORMAN, J. M. **An introduction to environmental biophysics**. New York: Springer, 1998, 283p.

CARLOS, H. D. A., FERNANDES, P. D., AZEVEDO, H. M., & NETO, J. D. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.4, p. 356-362, 2008.

COPLACANA. **Novas Variedades de cana-de-açúcar IAC**, 2007, 4p.

CONAB. **Acompanhamento safra brasileira cana**, v. 2 - Safra 2015/16, n. 3 - terceiro levantamento, Brasília, p. 1-65, dezembro 2015.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. Irrigation and Drainage Paper, 33, 172p.

HOFFMAN, H. P., SANTOS, E. G. D., BASSINELLO, A. I. V., VIEIRA, M. A. S. **Variedades RB de Cana-de-açúcar**. 1.ed –UFSCar, CCA, Araras, 2008, 30p.

HUNT, W.F. & LOOMIS, R.S. Respiration modelling and hypothesis testing with a dynamic model of sugar beet growth. **Annals of Botany**, v 44 p. 5-17, 1979.

INMAN-BAMBER, N.G.; THOMPSON, G.D., Models of dry matter accumulation by sugarcane. **Proc. S. Afr. Sugarcane Technol. Assoc.** **63**, p. 212–216, 1989.

IQBAL M. An introduction to solar radiation. **New York: Academic Press**; 1983. 390p.

FERREIRA JUNIOR, R. A. **Crescimento, eficiência no uso da radiação e energia de biomassa em cana-de-açúcar irrigada**. 2013. 72p. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu/SP, 2013. Disponível em: <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0954.pdf>

MARCHIORI, P. E. R.; MACHADO, E. C.; RIBEIRO, R. V. Photosynthetic limitations imposed by self-shading in Field-grown sugarcane varieties. **Field Crops Research**, 155, p. 30-37, 2014.

MARCHIORI, P. E. R. **Variação da fotossíntese no dossel de variedades de cana-de-açúcar**. 2010. 56p. Dissertação (Mestrado). INSTITUTO AGRONÔMICO, Campinas/SP, 2010. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areadoinstituto/posgraduacao/dissertacoes/Paulo%20Eduardo%20R%20Marchiori.pdf>

MONSI, M.; SAEKI, T. On the factor light in plant communities and its importance for matter production. **Annal of Botany**, London, v.95, p. 549-567. 2005.

MONSI, M.; SAEKI, T. Über den Lichfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Beutung für die Stoffproduktion. Japon. **Jardim Botanique**, London, v.14, p. 22-52, 1953.

MONTEITH, J. L. **Principles of Environmental Physics**. Edward Arnold, London, 1973, 291 p.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; SILVA, D. K. T. Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n.2, p. 71-76, 2007.

SANTOS, D. E., TIRITAN, C. S., FOLONI, J. S. S., FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.40, n. 4, p. 454-461, 2010.

VARLET-GRANCHER, C.; GOSSE, G.; CHARTIER, M.; SINOQUET, H.; BONHOMME, R.; ALLIRAND, J. M. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, v.9, p. 419-439, 1989.

VITTI, A. C., TRIVELIN, P. C. O., GAVA, G. J. C., PENATTI, C. P., BOLOGNA, I. R., FARONI, C. E., & FRANCO, H. C. J. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada ao nitrogênio residual da adubação e do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n.2, p. 249-256, 2007.