



## SIMULAÇÃO DA INTERCEPTAÇÃO DA LUZ PELO CAJUEIRO

THIAGO F. DUARTE<sup>1</sup>, LUIZ DE ANNUNCIACÃO<sup>2</sup>, VICTOR A. T. DE MATOS<sup>3</sup>, JOSÉ H. CAMPELO JUNIOR<sup>4</sup>, FRANCISCO DE A. LOBO<sup>5</sup>, CARMEN E. R. ORTÍZ<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Pós-graduando em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, [thiagof.duarte@hotmail.com](mailto:thiagof.duarte@hotmail.com).

<sup>2</sup> Eng. Eletricista, Pós-graduando em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Pós-graduando em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Professor titular, Depto. de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, Professor Adjunto, Depto. de Solos e Engenharia Rural, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

<sup>6</sup> Bióloga, Professora Adjunta, Departamento de Botânica e Ecologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

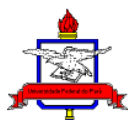
Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de Setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

**RESUMO:** A interceptação da luz pode ser utilizada na simulação de vários processos ecofisiológicos que influenciam na produtividade e qualidade de frutos. O objetivo deste trabalho foi avaliar um modelo tridimensional de interceptação da luz para plantas isoladas de cajueiro anão. A simulação da luz interceptada foi efetuada em escala horária e a avaliação da qualidade do ajuste foi determinada utilizando o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o índice de concordância de Willmott (d), o coeficiente de confiança (c) e o erro absoluto médio percentual (EAMP). De maneira geral, a simulação apresentou tendência de subestimar valores de radiação medida com sensores pontuais no início e final do dia independente da planta utilizada. Os maiores valores de  $R^2$ , d e c foram 0,36, 0,77 e 0,46 respectivamente, enquanto o menor valor do EAMP foi de 31 %. Portanto, pontualmente a simulação da interceptação da luz com o modelo tridimensional de Charles-Edwards & Thornley (1973) não foi adequada em escala horária.

**PALAVRAS-CHAVE:** transferência de radiação, lei de Beer, coeficiente de extinção da luz

## SIMULATION OF LIGHT INTERCEPTATION BY CASHEW TREE

**ABSTRACT:** The light interception can be used in simulation of various ecophysiological processes that influence the productivity and fruit quality in an orchard. The aim of this study was to evaluate the three-dimensional model of light interception for cashew isolated tree. The simulation of light interception was made in hourly time scale and evaluation of the quality of fit was determined by the coefficient of determination ( $R^2$ ), Willmott index of agreement (d), the confidence coefficient (c) and mean absolute percentage error (EAMP). In general, the simulation showed a tendency to underestimate values of radiation measured with punctual sensors at the beginning and end of the day regardless of the plant used. The highest values of  $R^2$ , d and c were 0.36, 0.77 and 0.46 respectively, and the lowest value of EAMP





was 31%. Therefore, punctually, the simulation of light interception with the three-dimensional model of Charles-Edwards & Thornley (1973) was not adequate in hourly time-scale.

**KEYWORDS:** radiation transfer, Beer's Law, light extinction coefficient

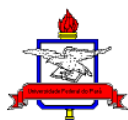
## INTRODUÇÃO

A interação entre a luz solar e a vegetação ocorre de três formas: reflexão, absorção e transmissão. A diferença entre a luz incidente acima da copa e a luz que foi transmitida (abaixo da copa), representa a quantidade de luz solar interceptada pela vegetação, e expressa a quantidade de energia potencialmente disponível para realização da fotossíntese, sendo, portanto o principal fator que determina a produção de matéria seca (MARISCAL et al. 2000). Com a disponibilidade de equipamento para medidas fotossintéticas instantâneas no campo, a obtenção de resultados horários da transmissão da luz pode resultar no entendimento mais adequado dos processos que resultam na produção de frutos. As informações existentes na literatura sobre a utilização da luz solar pelo cajueiro são escassas e dificultam a utilização agrônômica dessa planta, que pode se tornar uma alternativa importante para a fruticultura em Mato Grosso, onde geralmente é explorada de maneira extrativista. Na literatura há vários modelos de transferência da radiação, dentre eles está o modelo desenvolvido por Charles-Edwards & Thornley, (1973) para uma planta isolada. Neste modelo, a copa das plantas é análoga à forma geométrica de um elipsoide com folhas distribuídas de maneira uniforme, ângulo foliar com distribuição aleatória ou horizontal e atenuação da luz ao longo da copa descrita pela lei de Beer. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o modelo geométrico proposto por Charles-Edwards & Thornley, (1973), na simulação da interceptação luz em plantas de cajueiro anão, em escala horária.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em um pomar de cajueiro anão (*Anacardium occidentale*, L.) na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso em Santo Antônio de Leverger - MT (latitude: 15°47'S; longitude: 56°04'W; altitude: 140 m), entre o período de 03/09/2012 à 09/11/2012. Foram utilizadas três plantas do clone FAGA 1, com dez anos de idade e dispostas no espaçamento de 7 x 8 m. As características das plantas estão descritas na Tabela 1. As medidas de radiação fotossinteticamente ativa foram realizadas em dias de céu limpo ou parcialmente nublado, entre as 09:00 e 16:00 horas (horário local), com quatro sensores de fotodiodo de silício (PP Systems), conectados a um datalogger 21X (Campbell Scientific). Três sensores foram dispostos abaixo da copa das plantas e o quarto posicionado para coleta da radiação incidente acima da copa. A posição dos sensores em relação às plantas foi medida no sentido das linhas e entre linhas e posteriormente ajustada para determinação da trajetória da luz no interior da copa em função da posição do sol.

Assumindo que a copa possui forma de um elipsoide, sua superfície pode ser descrita pela expressão:





$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{(z - z_0)^2}{c^2} = 1 \quad (1)$$

em que x, y e z são as coordenadas dos eixos cartesiano,  $z_0$  a distância entre a superfície do solo e o centro da copa no eixo Z e a, b e c são os três semieixos da copa (ABRAHA & SAVAGE, 2010).

Considerando um ponto Q sobre a superfície da copa e um ponto P qualquer, abaixo do copa, às respectivas intensidades de luz e  $I_q$  e  $I_p$  estão relacionadas do seguinte modo (CAMPELO JUNIOR et al., 1996):

$$I_p = I_q \times \exp^{-KL} \quad (2)$$

em que  $I_p$  é a radiação fotossinteticamente ativa transmitida no ponto P;  $I_q$  é a PAR incidente no ponto Q; L é o índice de área foliar ao longo da trajetória QP projetada sobre um plano normal à QP; K é o coeficiente da extinção de luz, considerado como  $K = OPG/\sin(\beta)$ ;  $\beta$  é a elevação solar. O parâmetro L pode ser obtido pela seguinte expressão:

$$L = F \times OPG \times s \quad (3)$$

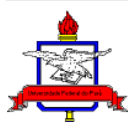
sendo F a densidade de área foliar, OPG a projeção média da área unitária na direção do sol, com valor de 0,5 admitindo-se uma distribuição esférica ou aleatória do ângulo foliar e s, o comprimento da trajetória da luz no interior da copa. A densidade de área foliar foi estimada para cada planta pela equação descrita por Antunes Junior et al., (2009):

$$F = -\frac{\ln\left(\frac{I_p}{I_q}\right)}{0,5 \times K \times s} \quad (4)$$

Os dados de radiação fotossinteticamente ativa utilizados na estimativa da densidade de área foliar não foram empregados na simulação da interceptação da luz. A avaliação da qualidade de ajuste do modelo foi determinada pelos índices estatísticos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), índice de concordância de Willmott (d), o coeficiente de confiança (c) proposto por Camargo & Sentelhas (1997) e o erro absoluto médio percentual (EAMP).

Tabela 1. Parâmetros da copa de cajueiro anão adotados no modelo de interceptação da luz. Santo Antônio de Leverger-MT.

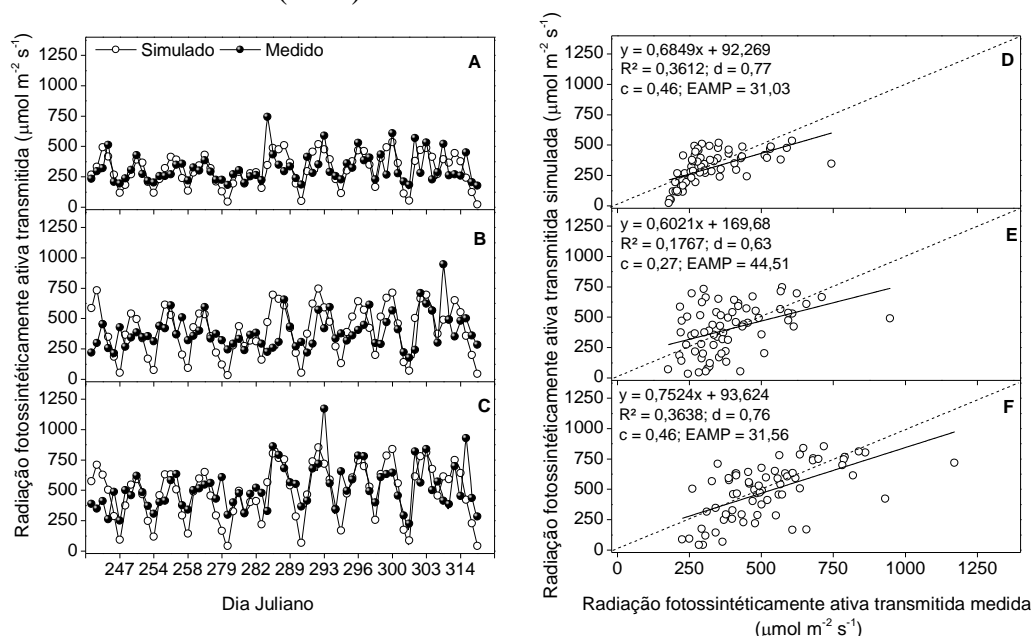
Planta	Semi-eixo a (m)	Semi-eixo b (m)	Semi-eixo c (m)	Distância do solo ao centro da copa, $Z_0$ (m)	Volume ( $m^3$ )	Densidade foliar ( $m^2m^{-3}$ )	
						03/09 a 26/10	29/10 a 09/11
1	4,0	4,13	2,12	2,12	146	1,60	1,75
2	4,0	3,40	2,10	2,12	120	1,37	1,46
3	3,65	3,35	1,66	1,86	85	1,29	1,40



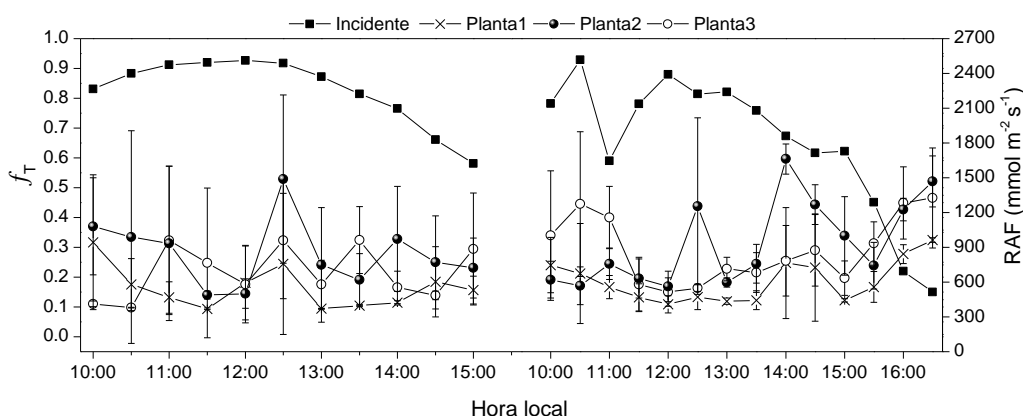
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados medidos e simulados da radiação fotossinteticamente ativa transmitida em escala horária são apresentados na Figura 1. A simulação apresentou tendência de subestimar valores de radiação no início e final do dia independente da planta utilizada. Os maiores valores de  $R^2$ ,  $d$  e  $c$  foram 0,36, 0,77 e 0,46 respectivamente, enquanto o menor valor do EAMP foi de 31 %. Abraha e Savage, (2010) utilizaram o modelo de Charles-Edwards & Thornley (1973) para simular a interceptação da radiação solar em várias espécies. Em alguns casos, o modelo também subestimou a transmissão da luz, especialmente em plantas de grande porte. Os valores de  $R^2$  e  $d$  encontrados pelos autores variaram de 1 a 0,35 e 1 a 0,58 respectivamente. Segundo os autores, a causas dessa discrepância seriam a assimetria das copas com relação à ramificação, densidade foliar e dimensões da copa. Outro modelo tridimensional foi apresentado por Castro e Fetcher, (1998), que dividiram a copa em células cúbicas caracterizadas pelo ângulo foliar e índice de área foliar. O coeficiente de determinação entre os valores simulados e medidos encontrado pelos autores foi 0,714. A diferença de resultados encontrada entre o cajueiro e outras espécies, possivelmente, é devido a presença de pequenas aberturas no interior da copa (porosidade da copa), que está relacionada com a densidade foliar e ao agrupamento das folhas.

Pela análise de sensibilidade do modelo, Castro e Fetcher, (1998) verificaram que entre os parâmetros utilizados, o índice de área foliar foi o que mais influenciou. Além disso, a distribuição do índice de área foliar dentro da copa também apresentou influência significativa nos resultados, de forma que a presença de espaços vazios ou irregularidades na copa resultaria em uma grande variação na estimativa da luz interceptada. Esta situação foi evidenciada também por outros autores como Campelo Junior et al. (1996) trabalhando com seringueira e Mariscal et al. (2000) com oliveira.



**Figura 1.** Radiação fotossinteticamente ativa transmitida da planta 1 (A e D), planta 2 (B e E) e planta 3 (C e F) de cajueiro anão simulada medida a cada 60 minutos, entre o período de 03/09/2012 e 09/11/2012. Santo Antônio de Leverger - MT.



**Figura 2.** Valores medidos de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RAF) e fração da radiação fotossinteticamente ativa transmitida ( $f_T = \text{radiação transmitida}/\text{radiação incidente}$ ) pelas plantas de cajueiro anão, nos dias 29/10/2012 e 09/11/2012. Santo Antônio de Leverger - MT. Dados correspondentes a médias a cada 30 minutos. Barras representam desvio padrão.

A fração da radiação fotossinteticamente ativa transmitida ( $f_T = \text{radiação transmitida}/\text{radiação incidente}$ ) variou de  $0,60 \pm 0,05$  a  $0,09 \pm 0,002$  (Figura 2). A grande dispersão dos dados de  $f_T$  demonstra que a copa de cajueiro não possui área foliar distribuída de maneira completamente uniforme o que ocasiona alta variação na interceptação da radiação solar. Os picos de  $f_T$  durante o dia evidência a ocorrência de momentos nos quais a radiação fotossinteticamente ativa direta incide sob a projeção da copa, comprovando a presença de espaços vazios na copa dos cajueiros. Assim, para simulação da interceptação da luz em escala horária ou menor escala temporal, seria necessário introduzir no modelo outros parâmetros explicativos para a variabilidade existente na copa (GÉNARD, BARET, 1994).

## CONCLUSÕES

O modelo tridimensional de Charles-Edwards & Thornley (1973) não foi adequado para simular a interceptação da luz em pontos abaixo da copa de plantas do clone FAGA 1 de cajueiro anão adulto, em escala horária. É necessário, porém, utilizar outras metodologias de medição da radiação fotossinteticamente ativa transmitida pela copa para validar o método instrumental utilizado neste estudo.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Ensino Superior – CAPES e à Fundação de Amparo à Pesquisa de Mato Grosso – FAPEMAT pelo apoio financeiro.



## REFERÊNCIAS

ABRAHA, M. G.; SAVAGE, M. J. Validation of a three-dimensional solar radiation interception model for tree crops. **Agriculture, Ecosystem and Environment**, v.139, p. 636-652, 2010.

ANTUNES JUNIOR, M. Z.; FERRONATO, A.; FERRONATO, S. D.; RODRIGUES, K.; GALLON, M. M. P.; GOMES, N. M. G.; STIEVEN, A. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Métodos não destrutivos para estimativa de densidade de área foliar em mangueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1624-1630, 2009.

CAMPELO JÚNIOR, J. H.; MENDONÇA, E. D. D.; MENDONÇA, M. M. D. D.; PRIANTE FILHO, N.; CANEPPELE, M. A. B. Intercepção de luz pela seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, p. 21-28, 1996.

CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.

CHARLES-EDWARDS, D. A.; THORNLEY, J. H. M. Light interception by an isolated plant: a simple model. **Annals of Botany**, v.37, p.919-28, 1973.

DE CASTRO, F.; FETCHER, N. Three dimensional model of the interception of light by a canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**. v.90,p 215–233, 1998.

GÉNARD, M; BARET, F. Spatial and temporal variation of light inside peach trees. **Journal of American Society of Horticulture Science**, v.119, p. 669-677, 1994.

MARISCAL, M. J.; ORGAZ, F.; VILLALOBOS, F. J. Modelling and measurement of radiation interception by olive canopies. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 100, p. 183-197. 2000.

