

ACÚMULO DE BIOMASSA E RELAÇÕES RADIOMÉTRICAS DO CAFEIEIRO

Jéfferson de Oliveira Costa¹, Alex Nunes de Almeida², Nathália Lopes Ribeiro³,
Wagner Wilson Ávila Bombardelli⁴, Eusímio Felisbino Fraga Junior⁵, Rubens Duarte
Coelho⁶

RESUMO: A energia radiante absorvida por uma planta é o principal determinante de sua taxa fotossintética e da perda de água através da transpiração e, juntamente a fatores complementares como temperatura do ar e do solo, disponibilidade hídrica e nutrição mineral, condiciona o crescimento vegetal, a produtividade e a qualidade desses produtos. Assim este trabalho teve como objetivo estimar os coeficientes de extinção e o acúmulo de biomassa do cafeeiro, a partir de dados meteorológicos e de medidas de ângulos de inserção das folhas. Foram realizadas 100 medições de ângulos de inserção das folhas em 1 planta escolhida aleatoriamente. Obteve-se de 5,32 t ha⁻¹ no ano de 2012 e de 5,22 t ha⁻¹ no ano de 2013, sendo que estas apresentaram valores superiores aos observados em condições de campo. Parte da superestimativa deve-se ao fato de terem sido assumidas condições potenciais de produtividade máxima.

PALAVRAS-CHAVE: *Coffea arabica*, radiação, produtividade

INTRODUÇÃO

Do total de radiação solar recebida pela superfície da Terra, em média, 44% ocorre em comprimentos de onda úteis para a fotossíntese, comprimentos estes situados entre 0,4 e 0,7 μm . Apesar de toda esta disponibilidade de energia, apenas as espécies mais eficientes e mesmo estas em condições potenciais, incorporam de 3 a 10% dessa radiação à sua produção de fitomassa (FREITAS, 2005).

A eficiência fotossintética de uma copa ou ainda a taxa de assimilação de carbono desta, é afetada pela taxa fotossintética por unidade de área foliar e pela forma como a radiação solar é interceptada, pois esta interceptação altera o balanço de radiação e de energia, e depende das características da copa, ou seja, sua arquitetura e dimensão (BENINCASA, 1988; GALLO et al., 1993; BERNARDES et al., 1996).

O cafeeiro adulto possui uma arquitetura adequada para a interceptação da luz. Ele utiliza de 40% a 54% de sua produção total de matéria seca para incrementar a nova área foliar. Plantas com espaçamentos adensados produzem dosséis com boas características de transmissão de luz, galhos superiores com ângulos pequenos em relação à vertical, folhas distribuídas em grandes distâncias verticais e estruturas cônicas, fazendo com que o dossel receba uma sombra moderada, sendo uma necessidade, visto que as folhas do cafeeiro têm sua máxima fotossíntese a baixas intensidades de radiação (CANNELL, 1976).

Por ser uma planta originalmente de ambiente sombreado, dos sub-bosques de florestas da Etiópia, a saturação luminosa da cultura é baixa, considerando-se os elevados valores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), ao redor de 2500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, encontrados nos trópicos. Folhas expostas diretamente à radiação solar saturam-se à

¹Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Av. Pádua Dias, 11, 13418-900, Piracicaba, SP, E-mail: jeffersontaio@usp.br

²Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, E-mail: alexn@usp.br

³Doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, E-mail: nathalia.lr@usp.br

⁴Mestrando em Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP, E-mail: wagneravila@agricola.eng.br

⁵Professor Adjunto - Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, E-mail: eusimiofraga@ufu.br

⁶Professor Titular - Departamento de Engenharia de Biosistemas - ESALQ/USP, E-mail: rdcoelho@usp.br

aproximadamente $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e folhas sombreadas a $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (KUMAR; TIESZEN, 1980; FAHL; CARELLI, 1994).

Variáveis meteorológicas podem ter correlação com a biomassa das plantas e, nesse sentido, Hayashi et al (2002) destacam que a radiação solar interceptada por um cultivo e o balanço de radiação na cultura desempenham um papel fundamental no microclima em que as plantas crescem, determinando qual a energia disponível para os processos fisiológicos associados com a produção de fitomassa e evapotranspiração.

Diante do exposto acima, este trabalho teve como objetivo estimar os coeficientes de extinção e o acúmulo de biomassa do cafeeiro, a partir de dados meteorológicos e de medidas do ângulo de inserção de folhas da cultura do café.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados no experimento foram obtidos em uma casa de vegetação da área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), localizada nas seguintes coordenadas: latitude $22^{\circ} 40' 30''$ S, longitude $47^{\circ} 38' 00''$ W e altitude de 548 m.

A casa de vegetação é coberta com filme plástico de polietileno transparente, com espessura média de $100 \mu\text{m}$ e possui altura, na parte central, de 4,0 metros e 2,5 nas laterais; sendo estas fechadas com tela do tipo sombrite preto, com aproximadamente 50% de interceptação luminosa.

A cultura utilizada para os cálculos dos coeficientes de extinção e estimativas da biomassa foram coletados em plantas de café arábica da variedade Catuaí IAC 144. Coletaram-se dados dos ângulos de inserção das folhas do cafeeiro, tomando-se medidas na porção inferior, mediana e superior da planta, sendo realizadas 100 medições para composição de uma amostra. As medições de ângulo foliar foram realizadas utilizando um transferidor e um nível de mão.

Com os dados coletados foi feita uma distribuição e verificou-se o ângulo de maior ocorrência, assim definiu-se o ângulo médio de inserção das folhas do cafeeiro. Na Figura 1 observa-se a distribuição dos ângulos de inserção das folhas amostradas.

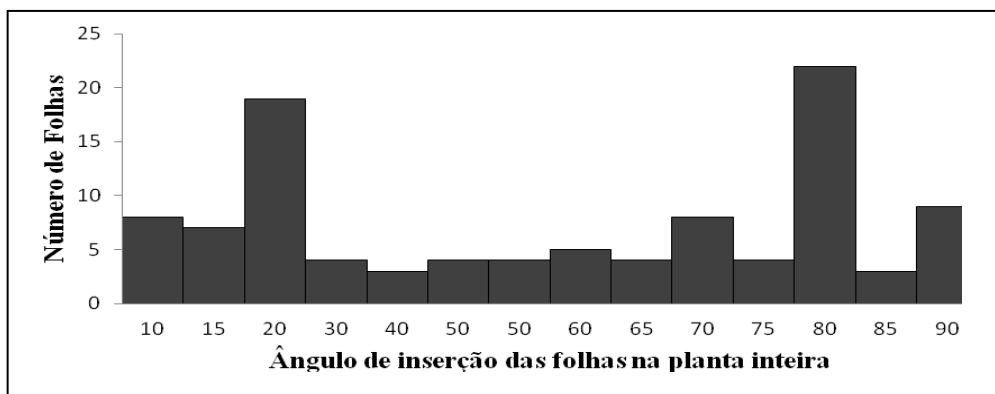


Figura 1. Distribuição da frequência dos ângulos de inserção medidos.

Além das medidas na cultura, utilizaram-se os seguintes dados: declinação solar, duração do fotoperíodo, horário do nascer e pôr do sol, ângulo zenital e o ângulo horário. Todos estes parâmetros têm sua metodologia descrita detalhadamente em Marin (2013).

Os cálculos de todos os parâmetros supracitados foram realizados para todos os dias dos anos de 2012 e de 2013. Os dados usados apresentavam intervalos de 15 minutos. Para o cálculo do coeficiente de extinção (k), assumiu-se que a folhagem do cafeeiro possui distribuição elipsoidal e foi utilizada a abordagem proposta por Campbell (1986) para sua determinação. Esta consiste na estimativa da razão entre os eixos vertical e horizontal da arquitetura da copa (x) obtida a partir da Equação 1.

$$x = -1,7433025 + \frac{162,22848}{AMI} \quad (1)$$

em que,

AMI - ângulo médio de inserção das folhas, graus.

O AMI adotado foi o ângulo de inserção de 80°. Definido o valor de x, utilizou-se a Equação (2) para determinar o coeficiente de extinção a partir da abordagem proposta por Campbell e Norman (1998), sendo função da distribuição do ângulo de inserção (x) e do ângulo zenital do sol (Zh) (Figura 2), nesse caso determinado a cada 15 minutos.

$$k = \frac{\sqrt{x^2 + (\text{tg}z)^2}}{x + 1,774 * (x + 1,182)^{-0,7333}} \quad (2)$$

em que,

Z - ângulo zenital do sol, graus.

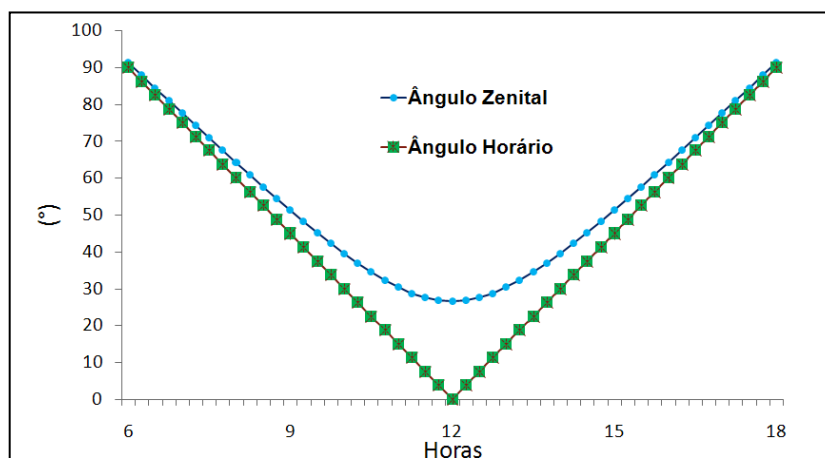


Figura 2. Ângulo horário e ângulo zenital do sol utilizado no cálculo do coeficiente de extinção da cultura

A radiação solar incidente (I_h) utilizada foi obtida no posto meteorológico da ESALQ. Esta variável é muito importante, uma vez que é a partir dela que se estima a radiação efetivamente absorvida pela planta.

Além da influência sobre a produção de biomassa, a interação entre a vegetação e a radiação solar tem um aspecto qualitativo, uma vez que as plantas têm habilidades diferenciadas para absorver, transmitir e refletir, sendo que essas respectivas frações foram determinadas pelas Equações 3, 4 e 5, respectivamente. A fração de radiação refletida é função do coeficiente de reflexão da superfície, ou seja, o albedo, variando de acordo com as características ópticas da superfície, neste estudo, a superfície adotada foi o dossel do cafeeiro, assumindo-se albedo de 18%.

$$T_h = I_h \cdot \text{EXP}^{-K \cdot \text{IAF}} \quad (3)$$

$$R_h = I_h \cdot R \quad (4)$$

$$A_h = I_h - T_h - R_h \quad (5)$$

em que,

T_h – radiação transmitida, w m^{-2} ;

I_h – radiação solar incidente, w m^{-2} ;

IAF – índice de área foliar;

R_h – radiação solar refletida, w m^{-2} ;

R – albedo da superfície, decimal, e

A_h – radiação solar absorvida, w m^{-2} .

Assumindo-se que apenas 55% da energia solar incidente tenha sido efetivamente utilizada em processos fotossintéticos e de produção de biomassa pelo cafeeiro (GALVANI e DECHANDT, 2003), a Densidade de Fluxo de Fótons Fotossintéticos (DFFF), foi determinada pela Equação 6.

$$DFFF = (I_h / E_{1mol}) \cdot 0,55 \times 10^6 \quad (6)$$

Com relação à densidade de fluxo de fótons fotossintéticos ativos (DFFFA), as mesmas considerações realizadas acima são válidas, sendo esta, no entanto função da radiação absorvida, determinada pela Equação 7:

$$DFFFA = (A_h / E_{1mol}) \cdot 0,55 \times 10^6 \quad (7)$$

A taxa de assimilação líquida de carbono, foi obtida a partir dos resultados horários da taxa de assimilação e da PAR determinados por Araujo et al. (2007). No referido trabalho, foram determinadas a taxa de assimilação e da PAR para cafeeiro com 18 anos de idade, sob condições de campo em Viçosa. O cafeeiro foi dividido em extrato superior e inferior, e consideradas orientações para plantas com face voltada para oeste e leste. A partir dos resultados dos diferentes extratos e faces consideradas, a curva de ajuste global que se obteve foi a Equação 8:

$$y = 0,585 \ln(x) - 1,358 \quad (8)$$

Calculou-se a fixação de CO_2 pela fotossíntese, decorrente do fluxo de fótons, considerando-se que 1 mol de CO_2 equivale a 44 g mol^{-1} e 264g de CO_2 correspondem a 180g de glicose, conforme a Equação 9:

$$\text{CO}_2 = \text{Taxa de assimilação} \cdot \frac{44 \text{ g}}{\text{mol}} \cdot \frac{10^{-6} \text{ mol}}{\mu\text{mol}} \cdot \frac{180 \text{ g}}{260 \text{ g}} = \frac{\text{g}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (9)$$

Uma vez determinada a quantidade de CO_2 fixado, a glicose bruta para o cafeeiro foi obtida, multiplicando seus valores pela área ocupada e pelo referido intervalo de tempo considerado. Assumindo uma área padrão de um hectare, para o intervalo de tempo de

900 segundos (referentes ao intervalo horário de 15 minutos entre os dados de CO₂), e dividindo o produto por 1000 para obter valores em kg ha⁻¹ a cada 15 minutos, de acordo a Equação 10:

$$Glicose_B = CO_2 \cdot \frac{10000m}{1ha} \cdot \frac{900s}{15 \text{ min}} \cdot \frac{1kg}{1000g} = \frac{kg}{ha \cdot 15 \text{ min}} \quad (10)$$

Já a glicose produzida foi obtida a partir dos valores de glicose bruta, levando-se em consideração o índice de área foliar do cafeeiro e a massa de glicose do grão de café, portanto, determinada de acordo com a Equação 11:

$$Glicose_P = Glicose_B \cdot \text{massa da glicose} \cdot \text{IAF} \quad (11)$$

Como a massa de glicose do grão de café é dada pelo produto entre a respiração de manutenção, o índice de colheita, a eficiência estrutural e a umidade, foi utilizado quatro índices para considerar essas variáveis com os seguintes valores, 50%, 50%, 60%, 35%, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor do coeficiente de extinção (k) estimado para a cultura do café pode ser visto na Figura 4.

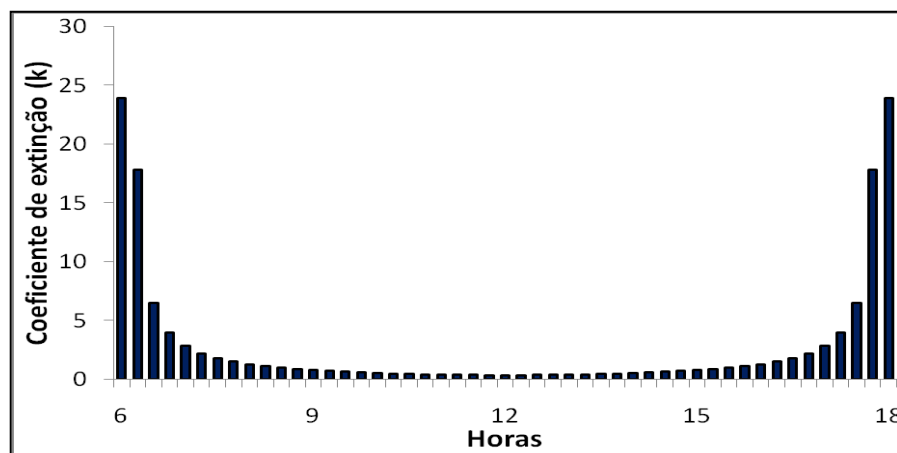


Figura 4. Coeficiente de extinção do cafeeiro ao longo do dia

Observa-se que os valores do coeficiente de extinção variaram entre 1 e 24 ao longo do dia, sendo que, os maiores valores foram obtidos nas primeiras e nas últimas horas do dia e os menores valores foram obtidos na metade do dia. Na Figura 5, tem-se a radiação solar incidente e as frações transmitidas, refletida e absorvida obtidas ao longo dos dias.

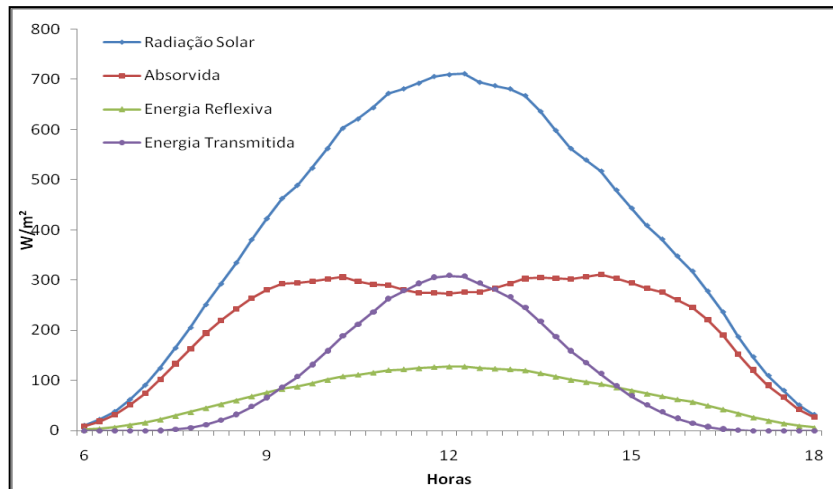


Figura 5. Radiação solar incidente e as frações absorvida, refletida e transmitida

Observa-se que a radiação solar incidente apresenta um valor máximo próximo do meio-dia e valores menores no início e final do dia. As frações absorvida, refletida e transmitida tem comportamentos distintos ao longo do dia em função da radiação solar incidente e em função do albedo e do índice de área foliar. Na Figura 6 estão os valores de DFFFA integrados ao longo do dia.

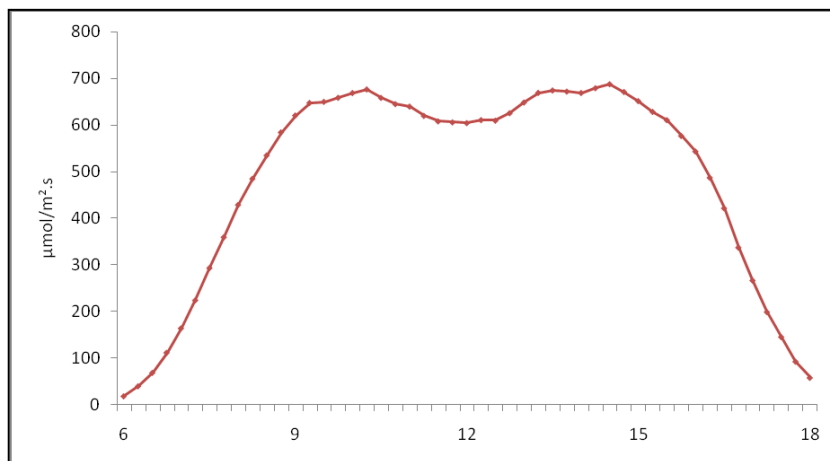


Figura 6. Variação horária da DFFFA

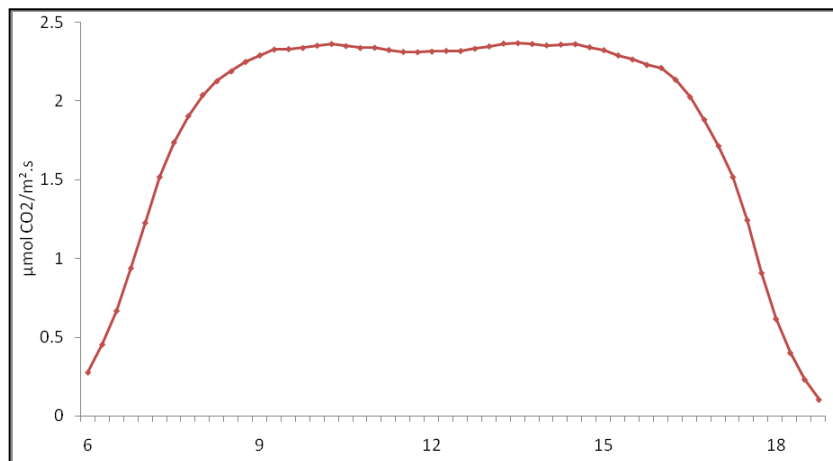


Figura 7. Taxa de assimilação de CO₂

Observa-se que a Densidade de Fluxo de Fótons Fotossintéticos Ativos apresenta uma variação ao longo do dia em função da variação da radiação solar absorvida. Na Figura 7 pode ser visto a variação da taxa de CO₂ fixado ao longo do dia.

As taxas de assimilação de glicose bruta e de glicose produzida pelo cafeeiro podem ser observadas na Figura 8. Integrando a massa da glicose bruta e da glicose produzida ao longo do dia, obtiveram-se valores iguais a 23,9 kg ha⁻¹ e 13,0 kg ha⁻¹, respectivamente.

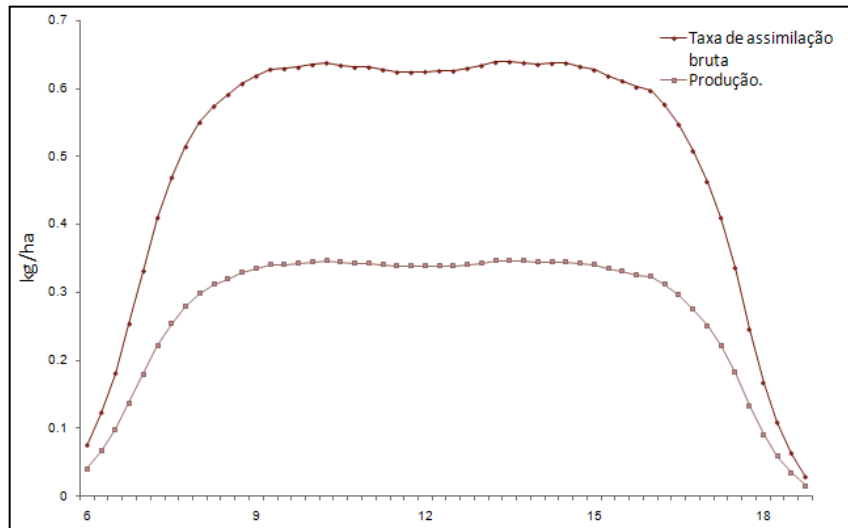


Figura 8. Taxa de assimilação bruta e produção

Somando-se os valores de produção a cada 15 minutos, obteve-se a biomassa produzida pelo cafeeiro próximo de 5,32 t ha⁻¹ no ano de 2012 e de 5,22 t ha⁻¹ no ano de 2013. Sob as condições assumidas, o cafeeiro atingiu produtividade de 88 sacas por hectare.

Os valores excedentes de produtividade obtidos em relação ao observado em campo decorrem da produtividade potencial assumida, em que se pressupõe a variedade do cafeeiro bem adaptado ao ambiente sob condições nas quais não ocorram deficiências hídricas ou nutricionais, nem mesmo incidência de doenças e pragas, durante o ciclo da cultura.

Ainda como fator limitante, a equação para estimar a taxa de assimilação de CO₂ adotada neste estudo (Adaptada de ARAÚJO et al., 2007) foi obtida para uma condição onde a cultura original não apresentou taxas de assimilação superiores a 4,5 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, condição esta que não reflete as taxas médias de assimilação desta cultura, o que pode superestimar as produtividades potenciais.

CONCLUSÃO

O ângulo médio de inserção das folhas do cafeeiro varia em função da porção amostrada na planta, sendo que na média geral o ângulo encontrado nesse trabalho foi o de 80°, o que favorece uma maior absorção da radiação solar incidente.

O acúmulo de biomassa estimada (produção) no ano de 2012 foi de 5,32 toneladas por hectare e no ano de 2013 foi de 5,22 toneladas por hectare.

A modelagem agrometeorológica torna-se uma alternativa para a estimativa de produtividade de cafeeiros em diferentes regiões produtoras.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W.L., DIAS, P.C., MORAES, G.A., CELIN, E.F., CUNHA, R.L., BARROS, R.S., DAMATTA, F.M. Limitations to photosynthesis in coffee leaves from different canopy positions. **Plant Physiology and Biochemistry** 46, 884-890, 2007.

BENINCASA, M.M.P. Análise do crescimento de plantas: noções básicas. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BERNARDES, M.S.; CASTRO, P.R.C.; MARTINS, A.N. Formação da copa e resistência de árvores ao vento: modelo de seringueira. Piracicaba: FEALQ, 1996. 88p.

CAMBELL, G. S.; NORMAN, J. M. Introduction to environmental biophysics, New York: Springer, 1998. 238p.

CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee**, v.41, p.245-253, 1976.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Influência do sombreamento nas características fisiológicas envolvidas no crescimento de espécies de *Coffea*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1994. p.289-290.

FREITAS, E.D. **Apostila de agrometeorologia**: fundamentos de ecofisiologia aplicada. São Paulo: Departamento de Ciências Atmosféricas – IAG/USP, 2005. 145p.

GALLO, K.P.; DAUGHTRY, C.S.T.; WIEEGAND, C.L. Errors in measuring absorbed and computing crop radiation use efficiency. **Agronomy Journal**, v. 85, p.1222-1228, 1993.

GALVANI, E.; DECHANDT, H.C.G. Avaliação preliminar da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) na região metropolitana de São Paulo. IN: SEMINÁRIO DE PESQUISA EM GEOGRAFIA - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA, **CD-ROM**. São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Departamento de Geografia, USP. 2003.

HAYASHI, M.M.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; PRIANTE FILHO, N.; NOGUEIRA, J.S. de; VOURLITIS, G.L. Balanço de energia em *Crotalaria juncea* L. no período seco e no período úmido do ano, em condição de cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n., p.197-205. 2002.

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, 1980.

MARIN, F. Introdução à Micrometeorologia e evapotranspiração. Material Didático. Piracicaba. Departamento de Engenharia de Biosistemas, 2013, 126p.