

# ÍNDICE DE FAVORABILIDADE DE RADIAÇÃO SOLAR PARA CULTURAS ANUAIS E PERENES

JOSÉ EDUARDO B. A. MONTEIRO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, Doutor, Assessor de Pesquisa e Desenvolvimento, Instituto Nacional de Meteorologia, Eixo Monumental, Via S1, Sudoeste, Brasília, DF, (61) 3344-0834, eduardo.monteiro@inmet.gov.br

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

**RESUMO:** Uma das principais funções da agrometeorologia é transformar dados meteorológicos em informações com significado biológico ou agrônomo, utilizadas nas decisões de manejo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo matemático que simule a resposta quantitativa proporcional ao crescimento de uma cultura em função da disponibilidade de radiação solar. Dados de fotossíntese de algumas culturas foram padronizados a uma escala relativa [0, 1] e depois utilizados para ajustar um modelo de resposta à radiação fotossinteticamente ativa. O modelo selecionado, denominado índice de favorabilidade de radiação (IFrad), foi utilizado para calcular o equivalente fisiológico de soja, milho e eucalipto em diferentes regiões e períodos. Os resultados diários variaram entre 0,35 e 0,94, indicando condições em que a disponibilidade de RFA pode ser um fator limitante a altas produtividades.

**PALAVRAS-CHAVE:** Modelagem, crescimento, radiação solar, luz.

## SOLAR RADIATION FAVOURABILITY INDEX FOR ANNUAL AND PERENIAL CROPS

**ABSTRACT:** One of the main purposes of agrometeorology is to translate meteorological data into biological and agronomic information, used as support on management decisions. The objective of this work was to develop a mathematical model to simulate a proportional quantitative response to crop growth as function of solar radiation availability. Photosynthesis data of some crops were standardized to a relative scale [0, 1] and used to fit used to fit a response model to photosynthetic active radiation (PAR). The best fit, called radiation favorability index (IFrad), was used to calculate the physiological equivalent of soy, maize and eucalyptus in different regions and seasons. Daily results varied between 0.35 and 0.94, indicating conditions in which PAR availability may be a serious constricting factor to high productivity.

**KEYWORDS:** Crop modeling, crop growth, solar radiation, light.

**INTRODUÇÃO:** Uma das principais funções da agrometeorologia é produzir informações com significado biológico ou agrônomo a partir de dados meteorológicos. Uma grande variedade de modelos de simulação de cultivos tem sido empregada com esse objetivo. Tais modelos, baseados em processos ecológicos e fisiológicos, normalmente se utilizam de dados meteorológicos e são empregados para quantificar o efeito de diferentes fatores de produção no crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetais. Modelos que integram os efeitos

de vários fatores de produção, como o solo, o genótipo da cultura, as condições do tempo e as opções de manejo são bastante completos, permitindo simulações de alto nível e especificidade, porém requerem um grande número de parâmetros. Entre dados meteorológicos “brutos” e saídas de modelos de simulação existe uma grande diferença. Uma posição intermediária pode ser ocupada por métodos de menor especificidade e que permitam traduzir as variáveis do ambiente físico – a oferta ambiental – em um índice que expresse desempenho vegetal. Neste sentido, o conceito de índice equivalente fisiológico (HÖPPE, 1999) pode ser aplicado. A disponibilidade de radiação solar é um dos fatores que mais limitam o crescimento e desenvolvimento das plantas. Toda energia necessária para a realização da fotossíntese, processo que transforma o CO<sub>2</sub> atmosférico em energia metabólica, é proveniente da radiação solar (TAIZ & ZIEGER, 2004). A taxa fotossintética líquida pode ser relacionada à radiação fotossinteticamente disponível (RFA) (MACHADO et al., 1992; ERISMANN et al., 2006). Outros estudos, porém, também demonstram a relação direta entre biomassa acumulada e RFA absorvida acumulada (KENAMIAN et al., 2004; LINDQUIST et al., 2005). Por isso, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo que simule a resposta quantitativa da cultura em termos de eficiência relativa em função da radiação solar. Três premissas embasam a metodologia aqui proposta. Primeiro, a inexistência de um índice quantitativo simples e direto que permita estimar o efeito de uma variável meteorológica no crescimento de uma determinada cultura. Segundo, os resultados do método devem ser facilmente interpretáveis por não-especialistas que necessitem saber a situação de uma cultura face à variação meteorológica, sem ter que interpretar séries de dados ou conhecer as necessidades específicas da espécie. Terceiro, o índice de resposta à radiação solar deve ser calculado em uma escala padronizada, para que seja possível analisá-lo isoladamente ou em interação com índices de outras variáveis meteorológicas (temperatura, disponibilidade hídrica, vento, por exemplo), facilitando a comparação do desempenho esperado de diferentes cultivares e espécies, em diferentes locais e épocas do ano estações.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Uma abordagem lógica seria explorar conceitos básicos de fisiologia vegetal amplamente difundidos como taxa fotossintética, crescimento, desenvolvimento, partição de fotoassimilados e absorção de água e nutrientes. Destes, a taxa fotossintética é o mais adequado por ser diretamente proporcional a RFA disponível e, principalmente, por manter proporção direta com o crescimento acumulado da planta. Resultados experimentais produzidos em estudos anteriores com açaizeiro, kudzu tropical, laranja valência, soja, amendoim e milho (MACHADO et al., 1992; CALBO e MORAES, 2000; TENNESSEN et al., 1994; ERISMANN et al., 2006; MACHADO et al., 2005) foram utilizados para ajustar um modelo que relacionasse a taxa fotossintética, padronizada a uma escala relativa no intervalo [0, 1], como função da RFA. Os modelos foram ajustados por meio do software Table Curve (v2.03, Jandel Scientific, San Rafael, CA, USA) através de análises de regressão. Os critérios utilizados para a seleção do modelo foram (i) coeficiente de determinação  $R^2 > 0,9$ ; (ii) simplicidade matemática e número de parâmetros; (iii) análise do resíduo conjunto. O modelo selecionado foi utilizado para calcular o IFrad de soja e milho em um dia nublado e em um dia sem nuvens. Foi empregado também para estimar o IFrad para eucalipto, ao longo de janeiro e junho de 2009, nos municípios de Bagé – RS e Barra do Garça – MT.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A equação 1 apresenta o modelo selecionado para o ajuste de fotossíntese relativa ( $Fr$ ) à radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em  $J m^{-2} s^{-1}$ , em que  $SL$  é a saturação luminosa da espécie considerada, também em  $J m^{-2} s^{-1}$ .

$$Fr = \frac{\left[ 1 - \exp\left(\frac{-3RFA}{SL}\right) \right]}{(-0,00000035)SL^2 + (0,0001)SL + 1} \quad (1)$$

A Figura 1 ilustra a fotossíntese relativa de algumas espécies em função da disponibilidade de RFA. Neste caso, os resultados foram auferidos em condições experimentais e específicas para a resposta do tecido foliar. Os resultados de fotossíntese relativa não podem ser extrapolados diretamente para uma planta ou para uma população de plantas, pois não considera o índice de área foliar e o coeficiente de extinção. Assim, ao ser extrapolado para condições reais de uma planta ou uma cultura, o valor calculado passa a ser chamado de Índice de Favorabilidade de radiação (IFrad). O IFrad, portanto, é um indicador do equivalente fisiológico da disponibilidade de RFA para a cultura, e não a RFA de fato absorvida.

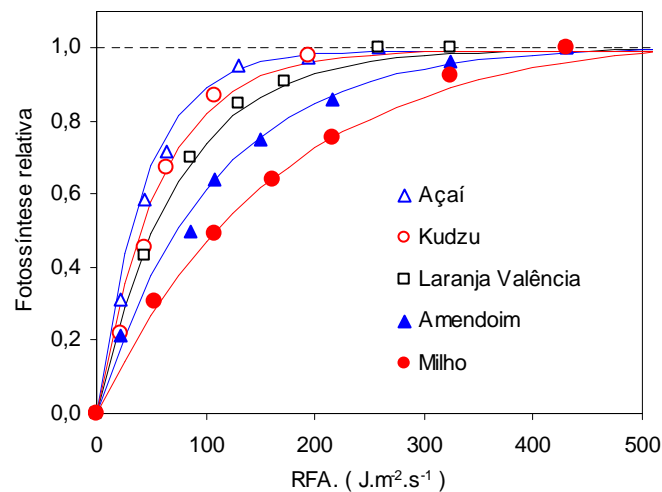


Figura 1. Fotossíntese relativa de açazeiro, kudzu, laranja valência, amendoim e milho (símbolos) em função da disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e ajustes do modelo (linhas) para respectivos pontos de saturação luminosa. Fonte: Machado et al., 1992; Calbo e Moraes, 2000; Tennessen et al., 1994; Erismann et al., 2006; Machado et al., 2005.

O IFrad é um índice quantitativo e relativo (no intervalo de 0,0 a 1,0). É relativo à condição de disponibilidade de radiação em que a taxa fotossintética é máxima e que resultaria em crescimento ótimo ou ideal, ou seja IFrad = 1,0. O extremo oposto, IFrad = 0, ocorre em condição de RFA tão baixa que resulte em fotossíntese líquida nula ou crescimento nulo, o que corresponderia ao ponto de compensação luminosa. No entanto, para se ajustar o modelo de modo a considerar o ponto de compensação, seria necessário considerar a temperatura, já que a respiração varia conforme a temperatura. Assim, nesta simplificação, o modelo está ajustado de modo que o índice é nulo quando a radiação é nula.

O IFrad tem correlação linear direta com a taxa de crescimento da cultura, permitindo estimar a resultante biológica da variação da radiação incidente ao longo de um dia. Em outras palavras, significa transformar radiação solar ( $J.m^{-2}$ ) em desempenho ou eficiência vegetal, ajustável para qualquer espécie e variedade, alterando-se apenas a saturação luminosa. Seguindo essa simplificação, a Figura 2 exhibe a variação da radiação incidente e do IFrad para soja e milho, observados em um dia nublado (A) e em outro sem nuvens (B). De modo geral, após o nascer do Sol, à medida que a radiação incidente aumenta, o IF aumenta

proporcionalmente até atingir o máximo ( $IF = 1,0$ ) quando a radiação é maior ou igual ao ponto de saturação da espécie, como ocorre para a soja na Figura 2b, mas não para o milho.

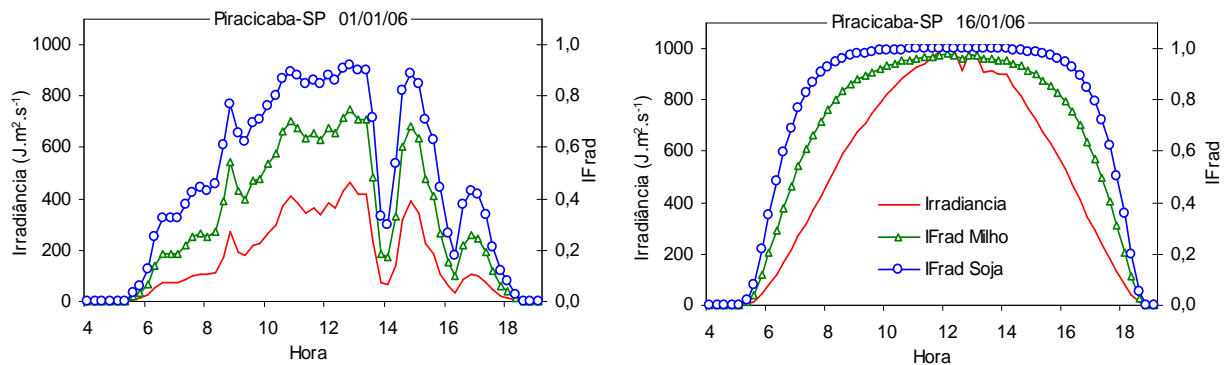


Figura 2. Radiação solar incidente em um dia nublado e em um dia sem nuvens, em Piracicaba, SP, e índices de favorabilidade de radiação (IFrad) para soja e milho, considerando saturação luminosa ocorrendo em, respectivamente, 250 e 500  $J.m^{-2}.s^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa.

Um Índice de Favorabilidade (IF) pode ser definido como um indicador proporcional ao crescimento esperado de uma cultura sem outros fatores limitantes. É expresso na forma de uma relação entre o valor atual e o ideal, por isso o IF será sempre um número entre o crescimento nulo (0) e o crescimento máximo (1). Pode ser analisado tanto em termos de valores instantâneos (Figura 2) quanto pela média de um período (dia, mês, ciclo), sem perda de informações. A Figura 3 ilustra resultados de IFrad calculado para a cultura do Eucalipto, considerando saturação luminosa em 920 mmol de fóton  $m^{-2} s^{-1}$  ( $198 J m^{-2} s^{-1}$  de RFA) (Silva et al., 1998), nos meses de janeiro e junho de 2009, em Bagé – RS e Barra do Garça – MT. Percebe-se com clareza a diferença entre dias sem nuvens e nublados, assim como a diferença entre as localidades nas duas épocas analisadas. Em janeiro, a diferença entre localidades se traduz pela alternância de dias nublados ou chuvosos e dias sem nuvens, quando o IFrad oscilou entre 0,7 e 0,9 nas duas localidades. Já em junho, fica evidente os maiores valores de IFrad em Barra do Garça, em torno de 0,8, enquanto que em Bagé, entre 0,4 e 0,7.

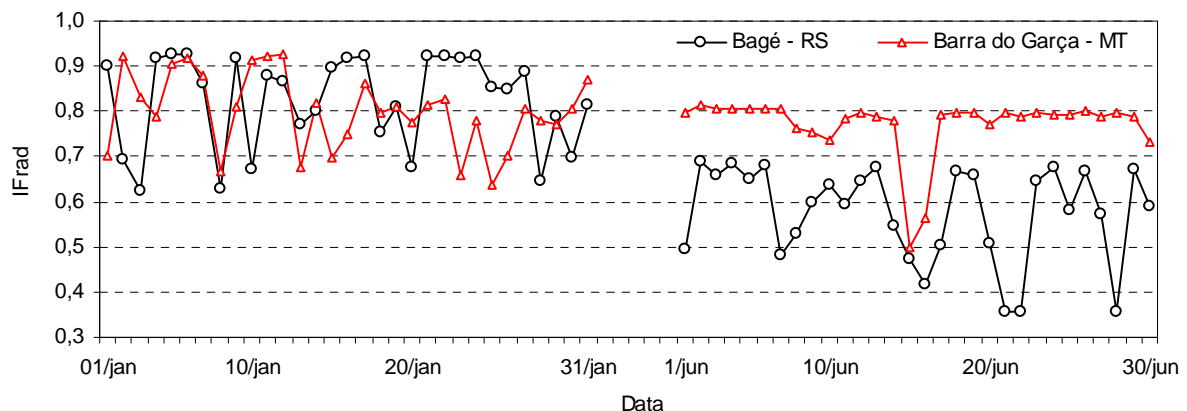


Figura 3. Índices de favorabilidade de radiação (IFrad) diário para *Eucalyptus citriodora*, saturação luminosa em  $198 J.m^{-2}.s^{-1}$  de radiação fotossinteticamente ativa, nos municípios de Bagé – RS e Barra do Garça – MT, nos meses de janeiro e junho de 2009.

Assim, pode-se dizer que o IF indica o quanto o ambiente foi propício ao crescimento de uma espécie, num dado período. É essencialmente uma variável do ambiente físico, mas calculado com base em parâmetros biológicos, o que se traduz no equivalente fisiológico da

cultura. Modelos de simulação baseados em processos são amplamente utilizados para analisar a resposta de uma cultura para as condições do ambiente. Exemplos de aplicação incluem caracterização de ambientes de produção (incluindo zoneamento), resposta de cultivos a datas de plantio, identificação de tecnologias adequadas a cada região e aquecimento global (WHITE et al., 2005).

**CONCLUSÕES:** O IFrad é uma representação simplificada dos efeitos da radiação solar no crescimento vegetal. É um índice útil à medida que permite transformar dados de radiação em um indicador quantitativo, proporcional ao crescimento esperado de uma cultura sem outros fatores limitantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CALBO, M.E.R.; MORAES, J.A.P.V. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Rev. bras. Bot.**, São Paulo, v. 23, n. 3, 2000.
- DIAS-FILHO, M.B. Photosynthetic light response of the C<sub>4</sub> grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia agricola** (Piracicaba, Braz.) 2002, vol.59, n.1, p. 65-68.
- ERISMANN, N.M.; MACHADO, E.C.; GODOY, I.J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.7, p.1099-1108, 2006.
- MACHADO, E.C. et al. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.40, n.12, p.1161-1170, dez. 2005
- MACHADO, E.C. et al. Fotossíntese, remobilização de reservas e crescimento de grãos em dois híbridos de milho sob deficiência hídrica na fase de enchimento dos grãos. **Bragantia** (Campinas), vol. 51, n. 2, p. 151-159, 1992.
- TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Fisiologia vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. et al., 3° ed., Porto Alegre: Artemed, 2004. 719p.
- TENNESSEN, D.J.; SINGRASS, E.L.; SHARKEY, T.D. Light emitting diodes as a light source for photosynthesis research. **Photosynthesis Research**. Vol. 39, p. 85-92, 1994.
- SILVA, WILSON DA et al. Condutância estomática de *Eucalyptos citriodora* e *E. grandis*, em resposta a diferentes níveis de água no solo e de convivência com *Brachiaria brizanta* Stapf. **Bragantia**, Campinas, v.57, n.2, 1998 .
- HÖPPE, P. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. **International Journal of Biometeorology**, v. 43, p. 71–75, 1999.
- KEMANIAN, A.R. et al. Variability of Barley Radiation-Use Efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 44, p. 1662–1672, 2004.
- LINDQUIST, J.L. et al. Maize Radiation Use Efficiency under Optimal Growth Conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 72–78, 2005.