

Parametrização e calibração de um modelo simples para simulação da produtividade potencial da cultura de soja em áreas de baixas latitudes

Simone Toni Ruiz Corrêa²; Durval Dourado Neto³; Fábio Vale Scarpere⁴

¹ Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23 a 28 de agosto de 2015.

² Agrônoma. Pós-doutoranda, Depto. Sustentabilidade, CTBE, Campinas - SP, Fone (19) 3512-3514, simone.correa@bioetanol.org.br

³ Agrônomo, Prof. Doutor, Depto. de Produção Vegetal, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, d.dourado@gmail.com

⁴ Agrônomo, Pesquisador, Depto. Sustentabilidade, CTBE, Campinas, fabio.scarpere@bioetanol.org.br

RESUMO: Objetivou-se com o este trabalho adaptar, por intermédio da parametrização (escolha dos parâmetros) e da calibração (determinação da ordem de grandeza dos parâmetros) um modelo simples para estimação da produtividade potencial da cultura de soja em áreas de baixas latitudes. Para tanto, utilizou-se um modelo simples, o LINTUL, cujo conceito baseia-se na produção de matéria seca linearmente relacionada à quantidade de radiação interceptada pela cultura, crescidas sob condições potenciais. Foram feitas modificações no modelo original, como a introdução de função para cálculo da sensibilidade ao fotoperíodo, durante o período decorrido entre V1 e a antese; e a introdução de função temperatura para cálculo do aumento diário na soma térmica, com base em valores limítrofes para desenvolvimento da cultura. Outras modificações: a emergência ocorre quando o acúmulo de graus-dia acima do limiar alcança o valor mínimo conhecido para emergência e a massa de matéria seca inicial das raízes na emergência não é mais tida como zero. A resposta do modelo pode ser visualizada tanto em graus-dia quanto em ED (estádio de desenvolvimento). As variações na ordem de grandeza dos parâmetros estudados foram: para k (0,45-0,99); AFE (0,025-0,036); IAFi (0,012-0,017); IAFcr (5-6); IAFju (0,75-1,0); cr_{exp} (0,010) e EUR (1,30-2,15). Os parâmetros mais correlacionados com a produtividade potencial foram: cr_{exp} , k e EUR.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem, eficiência no uso da radiação, período juvenil longo

Parametrization and calibration of a simple crop growth model to estimate soybean potential production in low latitude areas

ABSTRACT: The aim of this work was to adapt, through the parameterization (choice of parameters) and the calibration (determination of the parameters order of magnitude) a simple model to estimate the soybean potential productivity in low latitudes areas. For this, it was used a simple model, the LINTUL, whose concept is based on the dry matter production linearly related to the amount of radiation intercepted by the crop, grown under potential conditions. Modifications were made on the original model, such as the introduction of a function to calculate the sensitivity to photoperiod during the period between V1 and anthesis and; the introduction of temperature function for calculating the daily increase in thermal time, based on threshold values for the crop development. Other changes: the emergence occurs when the accumulation of degree-days above the threshold reaches the minimum value to emergency, and initial root dry matter in the emergency is no longer taken as zero. The model response can be viewed both in degree days as in ED (development stage). The variations in the order of magnitude of the parameters studied were: for k (0,45 to 0,99); AFE (0,025 to 0,036); IAFi (0,012 to 0,017); IAFcr (5-6); IAFju (0,75-1,0); cr_{exp} (0,010) and EUR (1,30 to 2,15). The more parameters correlated with the potential productivity were: cr_{exp} , k and EUR.

KEY WORDS: modelling, radiation use efficiency, low latitudes, long juvenile period

INTRODUÇÃO

Apesar de incidir sobre a produtividade a maior expectativa de crescimento para o complexo da soja, espera-se que a expansão em área continue a ocorrer em regiões de baixa latitude, como nos Cerrados. No tocante à produção, dada a sensibilidade da cultura de soja ao fotoperíodo, seu cultivo nestas regiões somente teve sucesso mediante hibridações para a transferência de genes, que condicionam período juvenil longo.

É fundamental a determinação de estratégias que considerem produção, dimensões econômicas e ambientais. Nesse tocante, o uso da modelagem agrícola auxilia a explorar sistematicamente o potencial produtivo em escala global e prever produtividades futuras em determinadas condições, muitas ainda não testadas em condições reais. Modelos que se baseiam no conceito da produção de matéria seca linearmente relacionada à quantidade de radiação interceptada pela cultura, crescidas sob condições potenciais (MONTEITH, 1977) foram intensamente explorados para diversas culturas.

Um exemplo é o modelo LINTUL (*Light INTerception and Utilization*) (BOUMAN et al., 1996), desenvolvido pela Universidade de Wageningen, Holanda, parametrizado para batata, cevada e trigo, entre outras culturas. A cultura de soja, porém, nunca foi testada por este modelo.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi adaptar, por intermédio da parametrização e calibração, um modelo simples (LINTUL), para estimação da produtividade potencial da cultura de soja em regiões de baixa latitude.

MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo:

A descrição do modelo no que diz respeito à fenologia da cultura e condições ambientais, desenvolvimento da área foliar, eficiência no uso da radiação e divisão da produção da biomassa baseia-se em Van Oijen e Leffelaar (2007 e 2008).

Sumariamente, tem-se que a relação linear entre produção de biomassa e radiação fotossinteticamente ativa interceptada determina um limite finito para o potencial de produtividade. O total de biomassa formado divide-se nos diversos órgãos usando frações de alocação definidas em função do estágio de desenvolvimento fenológico da cultura (ED). As massas de matéria seca dos órgãos da planta são obtidas pela integração de suas taxas de crescimento ao longo do tempo. As simulações correm na cadência temporal de 1 dia, com integração retilínea das taxas. As entradas de informações requeridas pelo modelo incluem propriedades fisiológicas da cultura e as condições de tempo atuais do local, caracterizadas pela sua latitude, temperaturas máxima e mínima diária e irradiação para cada dia do ano.

A Figura 1 apresenta o fluxograma do modelo Lintul adaptado à cultura de soja (Lintul-soja).

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Tos=32°C) para cálculo do aumento diário na soma térmica e, conseqüentemente, o ED, com base em valores limítrofes para desenvolvimento da cultura. Outras modificações: Na adaptação atual, a emergência ocorre quando o acúmulo de graus-dia acima do limiar alcança o valor mínimo conhecido para emergência (GDEM, °C.d), enquanto que, no modelo de origem, a emergência da plântula ocorre em função do tempo, dependendo apenas no número do dia de emergência (parâmetro dado). A massa de matéria seca inicial das raízes na emergência não é mais tida como zero. A radícula começa a se estender para baixo dentro de 24-48 horas após a sementeira e, quando os cotilédones emergem, sua massa é aproximadamente 25% da massa de matéria seca total das novas folhas (dados não publicados). A resposta do modelo pode ser visualizada tanto em graus-dia quanto em ED; ambos prescrevem o mesmo momento no ciclo da cultura.

Calibração: O ciclo total de desenvolvimento da variedade Savana foi estimado corretamente pelo modelo em 144 dias, a contar pela data da sementeira. O período compreendido entre a sementeira e emergência foi de 7 dias, assim como transcorreram 64 dias e 73 dias entre a emergência e antese e entre esta e a maturação, respectivamente.

Durante o crescimento exponencial, a velocidade com que o IAF atingiu seu máximo foi determinada pela temperatura diária efetiva, e também pela taxa de crescimento relativo da área foliar (cr_{exp} , °C.d⁻¹). Maiores valores desta taxa implicam em IAF máximo em menor tempo. Notou-se que seu efeito, em termos de produtividade, está relacionado com outros parâmetros, como o limite máximo de IAF. Simulando-se o aumento de cr_{exp} dentro de limites pré-estabelecidos na literatura, e mantendo os outros parâmetros como fixos, não houve ganhos em produtividade, acima do valor 0,011°C.d⁻¹ (Figura 2-A). Durante o crescimento linear, o aumento no IAF é calculado como função da área foliar específica (AFE, m²(folha). g⁻¹(folha)) e da matéria seca das folhas (MSf, g.m⁻²), com AFE representando o custo de produção fisiológico de novas folhas. Simulando-se variações nos valores de AFE em função do tempo, notou-se que as diferenças nos valores do IAF são mais evidentes próximo a antese, decaindo gradualmente logo em seguida (Figura 2-B). Valores mais altos de AFE, dado os demais parâmetros constantes, significam ganhos medianos em rendimento.

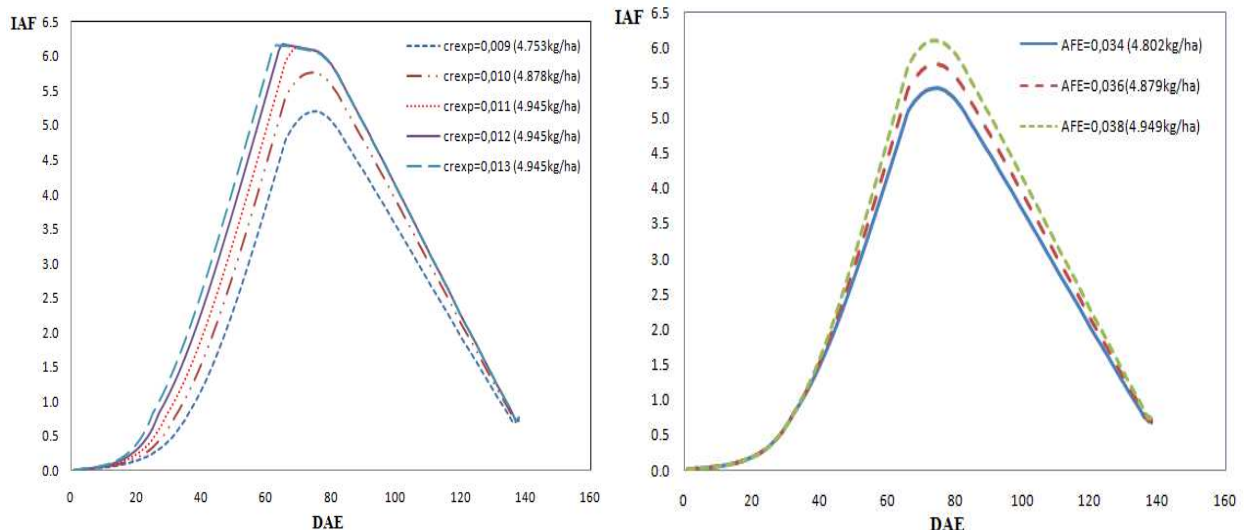


Figura 2. Índice de área foliar (IAF, m²(folha). m⁻²(solo)) ao longo dos dias após a emergência (DAE,d), em função de diferentes valores de cr_{exp} (°C.d⁻¹) (A) e AFE (m².g⁻¹) (B), assumindo como constantes os demais parâmetros (EUR=1,8g.MJ⁻¹; IAF_{cr}=6 (m²(folha).m⁻²(solo)); k=0,7 (m²(solo).m⁻²(folha)); AFE=0,036 (m².g⁻¹ – caso A); cr_{exp} =0,010 (°C.d)⁻¹ – caso B)

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros

Como a interceptação de luz não depende somente do IAF mas também de propriedades físicas das folhas e da estrutura do dossel, lâminas foliares mais largas e maiores, com porte adequado da planta, tendem a interceptar mais radiação solar. O coeficiente de extinção luminosa k fornece indicações sobre a capacidade da planta em interceptar a radiação: valores maiores podem ser atribuídos à distribuição mais uniforme da área foliar e a arquitetura mais plana do dossel, sendo associados a maior interceptação da RFA e aumento de rendimento.

A determinação de um índice máximo de área foliar está relacionada, no modelo, com o patamar limite para otimização de cálculos dos demais parâmetros. Portanto, se valores altos de IAF significam alta capacidade fotossintetizante do dossel, há de se considerar um limite, acima do qual o aumento em área não resulta em ganho de produtividade, seja pelo autosombreamento ou pela máxima capacidade das mesmas em interceptar a radiação, respectivamente, 5 e 6. Para cálculo de senescência, o presente modelo utiliza o valor máximo de IAF acima do qual há sombreamento. Aumentando-se este valor no sistema, esta taxa de mortalidade é retardada; portanto IAF alto corresponde a produção alta simulada. Porém, o modelo é falho em não considerar o limite imposto pela interceptação máxima de RFA, que ocorre quando ainda não há autosombreamento. Acima do valor ótimo de IAF para interceptação da radiação, um excesso da área foliar colabora para o aumento da respiração, e o balanço entre esta e a fotossíntese torna-se limitante para a eficiência da produção. Em relação à eficiência no uso da radiação solar (EUR, g.MJ^{-1}), sua curva de resposta aumenta a partir da segunda metade da fase vegetativa, mantendo-se elevada até o enchimento de grãos, quando seu crescimento é linear no tempo devido à translocação de fotoassimilados dos órgãos vegetativos para os grãos.

EUR decresce com o aumento da taxa de senescência das folhas. Embora a planta apresente sombreamento, o aumento na translocação de fotoassimilados das partes vegetativas para os grãos é o principal responsável pela manutenção do crescimento linear. Apesar da translocação de fotoassimilados não ser contemplada no modelo, a EUR é tida como máxima e constante por todo o ciclo da cultura. A Figura 3 mostra o desempenho do IAF mediante diferentes valores de k (A) e EUR (B), dentro de limites plausíveis da Literatura.

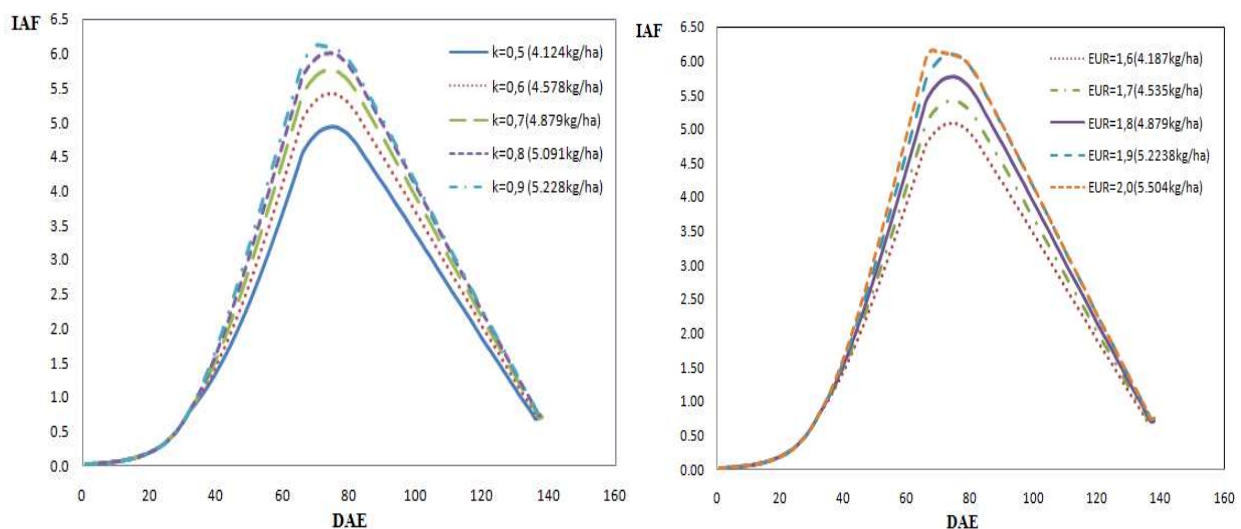


Figura 3. Índice de área foliar (IAF, $\text{m}^2(\text{folha}) \cdot \text{m}^{-2}(\text{solo})$) ao longo dos dias após a emergência (DAE, d), em função de diferentes valores k ($\text{m}^2(\text{solo}) \cdot \text{m}^{-2}(\text{folha})$) (A) e EUR (g.MJ^{-1}) (B), assumindo como constantes os demais parâmetros (IAF_{cr}=6 ($\text{m}^2(\text{folha}) \cdot \text{m}^{-2}(\text{solo})$); AFE=0,036 ($\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$); $c_{\text{exp}}=0,010$ ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$); EUR=1,8 g.MJ^{-1} - caso A; $k=0,7$ ($\text{m}^2(\text{solo}) \cdot \text{m}^{-2}(\text{folha})$) – caso B)

A Tabela 1 resume os valores dos principais parâmetros do modelo obtidos por meio do experimento de campo (valores absolutos) e na Literatura (intervalos). Os valores dos coeficientes de

partição de massa de matéria seca em função dos estádios de desenvolvimento (ED) obtidos por meio do experimento bem como maiores informações podem ser obtidas em RUIZ (2008).

Tabela 1. Principais parâmetros utilizados no modelo

Parâmetros	Abreviação	Valor	Unidade
Soma térmica entre a semeadura e a emergência	STE	80	°C.d
Soma térmica entre a emergência e antese	ST1	819	°C.d
Soma térmica a antese e maturação	ST2	1093	°C.d
Área foliar específica	AFE	0,025-0,036	m ² .g ⁻¹
Área foliar inicial (emergência)	IAFi	0,012-0,017	m ² .m ⁻²
IAF acima do qual há autosombreamento	IAFcr	5-6	m ² .m ⁻²
IAF no final da fase juvenil	IAFju	0,75-1,0	m ² .m ⁻²
Taxa de crescimento relativo do IAF durante a fase juvenil	crexp	0,010	(°C.d) ⁻¹
Coefficiente de extinção luminosa	k	0,45-0,99	m ² .m ⁻²
Eficiência no uso da radiação	EUR	1,30-2,15	g.MJ ⁻¹

CONCLUSÕES

Com base nos experimentos de campo e na literatura, as variações na ordem de grandeza dos parâmetros estudados são: para k (0,45-0,99); AFE (0,025-0,036); IAFi (0,012-0,017); IAFcr (5-6); IAFju (0,75-1,0); crexp (0,010) e EUR (1,30-2,15).

Os parâmetros mais correlacionados com a produtividade potencial são: crexp, que é importante no início do crescimento da cultura, pois, juntamente com a temperatura, está relacionado à velocidade de produção de área foliar; k, relacionado com a capacidade da copa em interceptar radiação e EUR, que mostra quão eficiente a planta é na conversão da radiação em biomassa.

O modelo possui excelente *performance* quanto a predição de tendências, com a variação nos valores dos parâmetros.

Foi observado, na análise de crescimento, que o modelo necessita de ajustes quanto a introdução de módulos, ou funções, que contemplem o balanço de carboidratos, dado aumento excessivo nos valores de IAF (respiração/fotossíntese). São necessários experimentos de campo contemplando estudos de diferentes variedades cultivadas e seus fatores de crescimento. Dessa maneira, poder-se-á avaliar, por exemplo, qual o melhor IAF necessário à máxima produtividade, auxiliando no planejamento do manejo de populações bem como a melhor definição da época de semeadura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOUMAN, B.A.M.; VAN KEULEN, H.; VAN LAAR, H.H.; RABBINGE, R. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 52, p. 171-198, 1996.

EMBRAPA. **Relatório técnico do projeto Nipo-Brasileiro de cooperação em pesquisa agrícola 1987-1992**. Brasília, 1994. 74 p.



XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros



MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B**, London, v. 281, p. 277–294, 1977.

VAN OIJEN, M.; LEFFELAAR, P.A. **Lintul-1**: potential crop growth. Wageningen: Pudoc, 2007, 2008.

RUIZ, S.T. **Adaptação do modelo LINTUL (Light Interception and Utilization) para estimação da produtividade potencial da cultura de soja**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.