



ARTIGO ORIGINAL

Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza^{1*}

¹Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Avenida Presidente Tancredo Neves, 2501, Belém, PA, Brasil

Autor Correspondente:

*E-mail: paulo.jorge@ufra.edu.br

PALAVRAS-CHAVE

Fronteira agrícola
Glycine max (L.) Merrill
Simulação
Índice de área foliar
Tempo térmico

KEYWORDS

Agricultural border
Glycine max (L.) Merrill
Simulation
Leaf area index
Thermal time

Modelos empíricos para o crescimento da soja no leste da Amazônia em função do tempo térmico

Soybean growth empirical models as a function of thermal time in eastern Amazonia

RESUMO: Na agricultura, uma boa tomada de decisão é sempre baseada em uma imagem clara da realidade, a qual pode ser representada por um modelo. A simulação matemática em ciências agrárias permite, por exemplo, prever resultados de diferentes técnicas de manejo ou de uma determinada condição ambiental. Avaliou-se neste trabalho o crescimento da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) variedade BRS *Tracajá* exposta às condições naturais de campo do leste da Amazônia durante os anos de 2006 e 2008, utilizando a escala térmica como variável independente. As condições climáticas entre os anos do experimento foram similares. O máximo IAF alcançado no experimento de 2006 foi de 7,2 aos 70 dias após a semeadura (DAS), enquanto que em 2008 o máximo valor foi de 6,5 aos 67 DAS. A máxima produção de matéria seca (MS), antes da maturação fisiológica, foi de 1.024 e 995 g m⁻² em 2006 e 2008, respectivamente. Modelos empíricos foram ajustados às curvas de IAF e MS geradas nos experimentos de 2006 e 2008, em função do tempo térmico, e validados com os dados obtidos nos experimentos de 2008 e 2006, respectivamente, e apresentaram ótimo desempenho, reproduzindo de forma satisfatória os dados nas condições climáticas observadas.

ABSTRACT: In agriculture, a good decision is always based on a clear image of the reality, which can be represented by a model. Mathematical simulation in agricultural science allows us to forecast results from different management techniques or from a specific environmental condition. In this work, we evaluated the growth of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) under natural field conditions by using thermal time scale as an independent variable. The experiments were carried out in eastern Amazonia in 2006 and 2008. The climatic conditions of the two experiments were very similar. The maximum leaf area indexes (LAI) obtained in 2006 and 2008 were 7.2 at 70 days after sowing (DAS) and 6.5 at 67 DAS, respectively. The maximum above ground biomass production before physiological maturity was 1,024 g m⁻² in 2006 and 995 g m⁻² in 2008. Empirical models were fitted to the LAI and dry matter (DM) generated in the 2006 and 2008 experiments as a function of thermal time, and they were validated with the 2008 and 2006 data, respectively. The models showed good agreement, reproducing satisfactorily the data observed under such climatic conditions.

1 Introdução

A produção agrícola de soja que antes era concentrada em algumas microrregiões situadas no sul do País apresentou uma migração para a região Norte, possuindo novos centros de produção próximos ou mesmo dentro dos limites da região Amazônica (Simon; Garagorry, 2005). Fatores como os baixos preços das terras e condições climáticas favoráveis em alguns locais da Amazônia fizeram com que houvesse esta migração na agricultura Brasileira (Homma, 1996).

Apesar de a cultura da soja ainda ser majoritariamente utilizada como ração animal pelo uso do farelo de soja, Vieira et al. (1999) avaliaram o teor nutricional de seis cultivares de soja e constataram que elas apresentavam excelente balanço de aminoácidos essenciais à alimentação humana, podendo ser consideradas como uma fonte de proteína de alta qualidade.

A análise de crescimento de culturas tem sido adotada como uma importante ferramenta para avaliar o crescimento da planta como um todo, assim como a contribuição dos distintos órgãos na sua fisiologia (Benincasa, 2003), sendo possível obter relações entre fatores ambientais e características morfofisiológicas e a produtividade. As medidas mais comumente utilizadas neste tipo de análise são as lineares e superficiais e medidas de peso e número das estruturas (Santos Neto et al., 2007).

A elaboração de curvas de crescimento de uma cultura se dá com a amostragem destrutiva de plantas para a obtenção da matéria seca, a qual é representada normalmente em função de dias após a semeadura ou tempo de cultivo (Augostinho et al., 2008), embora a escala térmica ou fototérmica seja a mais utilizada por incorporar os efeitos das condições ambientais às quais a cultura é submetida, sendo um melhor descritor de tempo biológico do que dias do calendário civil (Trentin et al., 2008).

O uso de modelos agrometeorológicos tem facilitado o entendimento sobre as respostas das culturas às diferentes condições ambientais por serem ferramentas poderosas para teste de hipóteses e compreensão de sistemas complexos (Marcelis et al., 1998). De acordo com Dourado Neto et al. (1998), os modelos podem ser classificados como mecanísticos ou explicativos, que são baseados em processos, e descritivos ou empíricos, que são apenas meros instrumentos que descrevem uma característica da planta em função de uma variável ambiental, por exemplo, temperatura.

Apesar das limitações do fator térmico, muitos trabalhos justificam que a temperatura é a variável que melhor explica estatisticamente a duração fenológica das plantas (Ferreira et al., 1997) e, por isso, tem sido utilizado em modelos simplificados (empíricos) como variável independente na simulação de parâmetros de crescimento de culturas, como no caso da soja em São Paulo (Schoffel; Volpe, 2002), do milho no Rio Grande do Sul (Muller et al., 2005), do mamão no Espírito Santo (Berilli et al., 2007) e da cana-de-açúcar em Alagoas (Almeida et al., 2008). Devido à sua simplicidade, quando comparado aos modelos mais complexos, é importante, porém, que esses modelos sejam validados para condições semelhantes para as quais foram gerados (Dourado Neto et al., 1998).

No caso do Leste da Amazônia, nas áreas aonde o cultivo da soja vem sendo desenvolvido, pouco se sabe sobre o padrão de crescimento desta cultura em resposta às condições climáticas da região sendo importante o desenvolvimento de estudos desta natureza. Este trabalho teve como objetivo ajustar modelos empíricos de estimativa do crescimento da soja em função da escala térmica na região.

2 Material e Métodos

O experimento foi realizado na região nordeste do Estado do Pará, a cerca de 320 km da cidade de Belém. O campo experimental ficou localizado em uma área particular de produção com 200 ha de plantio de soja (latitude: 2° 59' 08" S, longitude: 47° 19' 57" W, altitude: 122 m), na qual foi estabelecido um talhão de 200 x 200 m para a amostragem dos dados. O solo da região é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2013) de textura variando de franco-arenosa a muito argilosa, com conteúdo volumétrico de água de 0,43 m⁻³ m⁻³ na capacidade de campo e de 0,19 m⁻³ m⁻³ no ponto de murcha.

O solo foi convencionalmente preparado durante a estação chuvosa de 2006 e 2008, a qual corresponde ao início do ano, e posteriormente foi semeado mecanicamente com a cultivar BRS Tracajá (maturidade intermediária), a qual é a cultivar mais recomendada para esta região (Souza et al., 2013). A população de plantas obtida através de plantio mecanizado foi de 200.000 plantas ha⁻¹ a um espaçamento entre linhas de 0,50 m.

Antes da semeadura, as sementes foram preparadas adequadamente com inoculante (*rhizobium*), fungicida e inseticida. A semeadura foi realizada nos dias cinco e vinte e três de fevereiro de 2006 e 2008, respectivamente, a uma taxa de 26-28 sementes m⁻². Durante a semeadura, realizou-se fertilização do solo com 2-20-18 de N, P e K a 350 kg ha⁻¹ de fertilizante químico. Em todos os experimentos, herbicidas e pesticidas foram utilizados quando necessário. A colheita foi realizada nos dias quinze e seis de junho de 2006 e 2008, respectivamente.

Uma torre micrometeorológica de 3 m de altura foi instalada no centro da área experimental. Sensores meteorológicos foram conectados a um datalogger CR10X (Campbell Scientific, Inc.) e a um multiplexador AM416 (Campbell Scientific, Inc.). As medidas dos dados durante o experimento foram realizadas a cada 10 segundos, fornecendo totais e médias a cada 10 minutos.

Dados para análise de crescimento foram coletados a cada 7 dias a partir dos 10 dias após a semeadura (DAS). A amostragem das plantas para a biometria consistiu de amostras compostas de linhas de 1 m de comprimento adotando-se um experimento com delineamento inteiramente casualizado (DIC) com seis repetições, com 72 plantas por amostragem, totalizando 18 campanhas de biometria durante o período de crescimento da cultura. Todas as amostras eram mantidas em saco de papel após terem sido coletadas até o processamento final no laboratório. As amostras eram então separadas em folhas, caules, pecíolos, flores, vagens e grãos (quando presentes) e eram posteriormente colocadas para secar em

estufa aerada a 70 °C por no mínimo 48 h, para estimativa do peso seco da planta. O índice de área foliar (IAF) foi estimado através do método dos discos (Benincasa, 2003).

O desenvolvimento fenológico foi avaliado diariamente usando a escala descrita por Fehr e Caviness (Souza et al., 2013) e também durante a amostragem das plantas. Os estádios de desenvolvimento da soja foram descritos usando a escala térmica normalizada (θ), em que o tempo térmico é calculado de acordo com o modelo de “*dente de serra*” em função da temperatura efetiva (Ferreira et al., 1997), e os tempos térmicos medidos para as fases fenológicas R1, R3, R5 e R6 são considerados os normalizadores (Souza et al., 2011). O tempo térmico normalizado foi definido para as fases fenológicas como $\theta=1$ para o florescimento (R1), $\theta=2$ para a frutificação ($\approx R3$), $\theta=3$ para o início do enchimento de grãos (R5), $\theta=4$ para a fase e enchimento pleno do grão (R6) e $\theta=5$ para a maturação fisiológica (R7), sendo o período mais crítico o intervalo de θ entre 1 e 4 (Souza et al., 2013).

Os dados de biometria da soja foram expressos ao longo do ciclo em função do tempo térmico normalizado. Equações empíricas foram ajustadas aos dados observados de índice de área foliar e matéria seca da parte aérea em função do tempo térmico normalizado (θ) com o objetivo de caracterizar o padrão de crescimento da soja na região de estudo. As significâncias das equações geradas foram verificadas com base no teste F (Santos Neto et al., 2007; Augustinho et al., 2008), considerando-as válidas desde que fossem superiores a 95% de probabilidade.

O desempenho das equações empíricas geradas durante o processo de calibração com os dados de 2006 e 2008 foi avaliado através de métodos estatísticos e como critério estatístico, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2), a raiz quadrada do erro quadrático médio (RQEQM) e o índice de concordância (d) desenvolvido por Wilmott (Souza et al., 2011).

Os modelos empíricos gerados nos experimentos de 2006 e 2008 foram validados com dados de períodos diferentes, usando o mesmo banco de dados, mas de anos diferentes aos da calibração, no caso de 2008 e 2006, respectivamente, devido à similaridade observada entre as condições meteorológicas nestes anos, e os seus desempenhos foram avaliados usando os mesmos critérios estatísticos da calibração.

3 Resultados e Discussão

Durante todo o período de crescimento da soja no campo, as condições hídricas e térmicas foram apropriadas para o desenvolvimento da cultura. A precipitação total observada durante todo o ciclo ficou em torno de 1.012 mm em 2006 e de 1.253 mm em 2008 (Tabela 1). Os valores de temperatura do ar observados durante o experimento foram consistentes com os limites suportados pela cultura da soja, apresentando valor médio de 27 °C e valores máximos sempre abaixo dos 35 °C, principalmente durante as fases mais críticas da planta, θ entre 1 e 4 (Figura 1). Os valores ideais de temperatura do ar para o crescimento e desenvolvimento da soja são em torno de 30 °C, mostrando efeitos adversos quando exposta a temperaturas acima dos 40 °C (Avila et al., 2013).

A radiação solar incidente média diária esteve sempre abaixo de 20 MJ m⁻² durante todo o ciclo, com valores médios de radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em torno de 8 MJ m⁻² d⁻¹, embora valores diários de 12 MJ m⁻² tenham sido observados em alguns dias, e raramente tenham atingidos valores abaixo de 6 MJ m⁻² (Tabela 1). Tais condições podem ser consideradas como não limitantes para o crescimento da soja quando comparadas a outras regiões do Brasil.

A duração média (em dias) de ocorrência das fases fenológicas da soja (Tabela 1) apresentou variabilidade semelhante aos valores reportados na literatura para cultivares similares no Brasil (Sinclair et al., 2005), e observou-se duração do período vegetativo variando de 31 a 42 dias. Apesar da pequena variabilidade das condições meteorológicas ao longo dos dias entre os diferentes ciclos, a temperatura do ar foi o principal motivo da diferença em dias observada entre as datas, indicando a necessidade de se adotar uma escala térmica ao invés da escala em dias para a identificação da fenologia da cultura (Souza et al., 2013).

Tanto a produção de biomassa como o índice de área foliar apresentaram um padrão de crescimento similar em ambos os experimentos (Figura 2 e 3). Antes dos 30 DAS ($\theta=0,6$), quase não se percebe diferença na produção de biomassa e na área foliar, com valores de IAF em torno de 0,45±0,07 e 0,45±0,04 aos 18 DAS ($\approx \theta=0,3$) em 2006 e 2008, respectivamente. O máximo IAF observado durante o experimento de 2006 foi de 7,2±0,49 aos 30 (70 DAS) e de 6,5±0,13 aos 30 (67 DAS) em 2008. Máximos IAFs entre 4 e 7 também foram encontrados por Schoffel e Volpe (2002), dependendo da cultivar e da

Tabela 1. Total de chuva, temperaturas diárias máximas (T_{max}), mínimas (T_{min}) e médias (T_{med}), radiação global incidente média diária (S_{in}) e fotossinteticamente ativa (PAR) em cada estágio da soja.

Table 1. Total rainfall, daily maximum (T_{max}), daily minimum (T_{min}) and daily mean air temperature (T_{med}), daily mean incident global solar (S_{in}) and Photosynthetically active radiation (PAR) at each stage of soybean.

Fases	Vegetativo		Florescimento		Frutificação		Enchimento de grãos		Maturação	
	06	08	06	08	06	08	06	08	06	08
Duração(dias)	41	40	13	16	12	10	40	46	17	19
Chuva(mm)	336,6	401,8	135,2	397,0	175,0	72,2	336,8	289,5	29,3	92,5
T_{max} (°C)	30,1	30,9	30,8	30,4	30,1	30,6	31,6	31,1	32,3	31,8
T_{min} (°C)	22,2	21,8	22,1	21,9	21,7	21,5	21,5	22,2	21,9	21,8
T_{med} (°C)	25,2	25,0	25,1	24,6	25,0	24,8	25,4	25,2	25,8	25,6
S_{in} (MJ m ⁻²)	17,9	18,9	17,2	17,2	17,6	18,5	16,8	18,1	20,1	18,9
PAR (MJ m ⁻²)	8,6	8,4	8,2	7,2	8,2	7,5	7,9	7,2	9,3	7,2

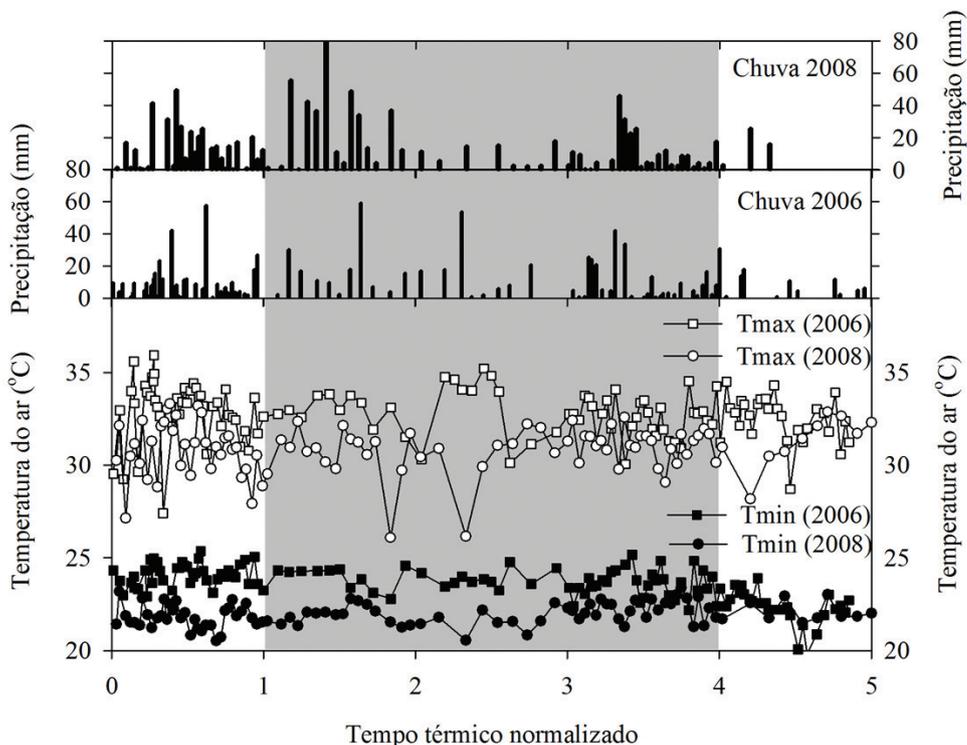


Figura 1. Variabilidade temporal das chuvas e da temperatura do ar mínima e máxima durante os experimentos de 2006 e 2008.
Figure 1. Temporal variability of rainfall, and of minimum and maximum air temperature during the 2006 and 2008 experiments.

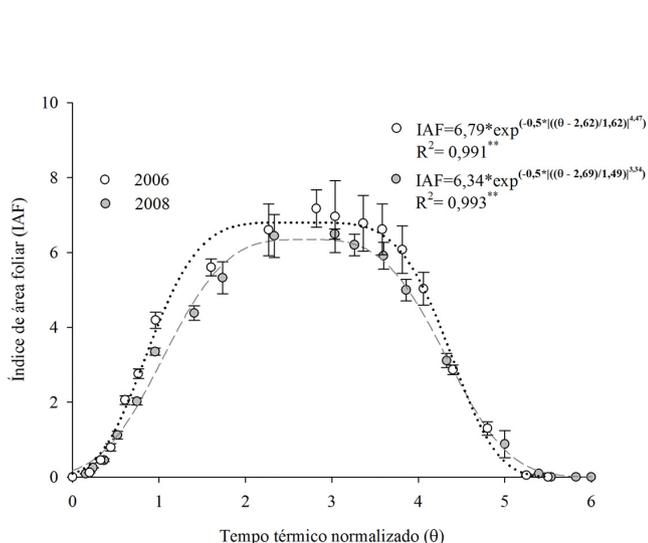


Figura 2. Índice de área foliar da soja em 2006 e 2008 em função do tempo térmico normalizado; **Significativo pelo teste F ($p < 0,01$).
Figure 2. Leaf area index of soybean in 2006 and 2008 in terms of the normalized thermal time. ** Significant by F test ($p < 0,01$).

data de semeadura adotadas. Embora o IAF tenha atingido seu máximo valor durante o período de enchimento de grãos, nota-se que seus valores estiveram próximos destes extremos logo após o início da frutificação ($\theta = 2,5$). Isto sugere que, embora esta cultivar tenha hábito determinado de crescimento, sua produção de área foliar continua mesmo após o florescimento.

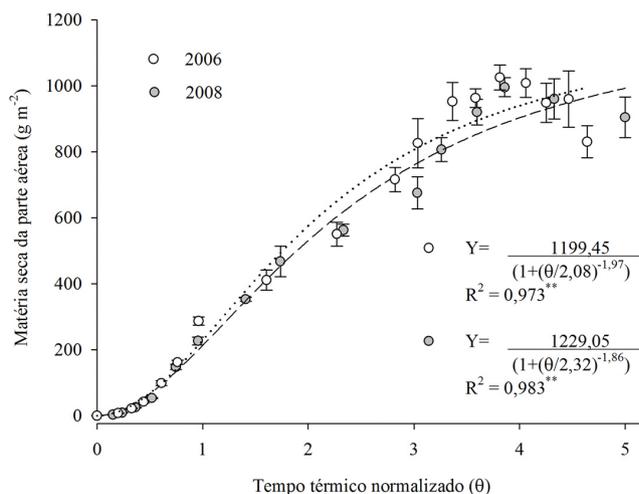


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea da soja até a maturação fisiológica (R7) em 2006 e 2008 em função do tempo térmico normalizado; **Significativo pelo teste F ($p < 0,01$).
Figure 3. Above ground dry matter production of soybean until the physiological maturity (R7) in 2006 and 2008 in terms of the normalized thermal time. Significant by F test ($p < 0,01$).

Reduções importantes no índice de área foliar da soja foram observadas por Thomas e Costa (1994) devido ao déficit de água. Durante condições de secas severas, ocorre uma considerável redução na condutância estomática das plantas, a qual causa uma interrupção na assimilação de CO_2 , e, sob tais condições, as próprias reservas de água da planta podem ser consumidas, podendo causar sua morte (Sinclair, 2000). Em

ambos os experimentos, a quantidade de água disponibilizada pelas chuvas não ofereceu riscos por falta de água (Figura 1).

Um modelo empírico foi ajustado aos dados observados de IAF e a análise estatística da regressão linear dos valores observados versus simulados (Tabela 2). O modelo empírico se ajustou muito bem aos dados observados durante o processo de calibração, com coeficientes de determinação maiores que 0,95 para todos os anos, indicando uma ótima precisão dos valores simulados, além de elevada exatidão (0,88 em 2006 e 0,98 em 2008) e baixos erros aditivos (Tabela 2).

Baseado na estatística gerada no processo de validação dos dados de 2006 e 2008, percebe-se que as equações conseguiram reproduzir satisfatoriamente o IAF com o conjunto de dados independentes, apresentando erros médios (RQEQM) de 0,63 e 0,84 $m^2 m^{-2}$ em 2006 e 2008, respectivamente. Embora tenha ocorrido uma subestimativa em 2006 e uma superestimativa em 2008, as equações apresentaram alta exatidão (b) e precisão (R^2). Tais funções empíricas poderiam ser usadas para simular o IAF nesta região durante anos que apresentem condições meteorológicas similares às observadas durante os experimentos, por exemplo, sob efeitos do fenômeno La Niña.

Muller et al. (2005) encontraram ajustes altamente significativos ao utilizarem um modelo empírico segmentado em função de graus-dia para a simulação do IAF do milho. No entanto, segundo os autores, a ocorrência de condições adversas, como estresse hídrico, inviabiliza o uso de tais equações, podendo gerar superestimativas dos valores simulados. Este fato corrobora a importância de se validar os modelos apenas em condições semelhantes, indicando a necessidade de se ajustar outras equações para descrever a resposta da cultura em tais condições. Schoffel e Volpe (2002) conseguiram melhores ajustes utilizando equações de terceiro grau para estimar o IAF da soja em função de graus-dia, obtendo altos coeficientes de determinação, mas constataram a necessidade de se ter equações específicas para cada condição meteorológica a que a cultura foi submetida.

Aos 25 DAS ($\theta \approx 0,5$), a soja apresentou em torno de $42,2 \pm 3,6 g m^{-2}$ de biomassa seca da parte aérea em 2006 e $53,3 \pm 2,1 g m^{-2}$ em 2008. A máxima produção de matéria seca antes da maturação fisiológica ($\theta=5$) foi de $1.024 \pm 38,1$ e de $995 \pm 24,5 g m^{-2}$ em 2006 e 2008, respectivamente. Apesar desta pequena diferença entre os anos, a biomassa total da parte aérea no momento da colheita final ($\theta=6$) não diferiu significativamente (teste t, $p < 0,05$), chegando a $725,5 \pm 19,8 g m^{-2}$, em 2006, e a $704 \pm 21,9 g m^{-2}$, em 2008.

Diferentes equações têm sido ajustadas para descrever o crescimento de algumas culturas em função da data de semeadura ou de variáveis climáticas. Modelos quadráticos foram adotados por Schwambach et al. (2002) para descrever a matéria seca de pepinos, equações polinomiais foram usadas por Schoffel e Volpe (2002) para descrever a fitomassa da soja em função de graus-dia, e até mesmo ajustes lineares para o caso da matéria seca da parte aérea do Sambacaitá em função do DAS (Santos Neto et al., 2007). Entretanto, ajustes deste tipo, baseados em simples polinômios, não oferecem possibilidade alguma de interpretação biológica, sendo necessário o uso de equações que descrevam curvas assintóticas (Pereira, 2002), uma vez que o crescimento da maioria das culturas segue um padrão exponencial na fase inicial, seguido de um padrão linear após o fechamento do dossel (Confalone et al., 2010).

Funções do tipo logística ou de Gompertz ou até mesmo modelos um pouco mais aprimorados como a função expo-linear têm sido comumente adotadas para descrever o padrão de crescimento de culturas anuais, por apresentarem uma descrição mais precisa do crescimento em função do tempo ou tempo térmico (Pereira, 2002; Moura et al., 2008; Confalone et al., 2010). A biomassa total da parte aérea descreveu um padrão sigmoidal em função do tempo térmico normalizado, e os dados foram ajustados a uma função logística (teste F, $p < 0,01$).

Tabela 2. Estatística do desempenho do modelo empírico de índice de área foliar e da produção total de matéria seca.

Table 2. Statistical performance of the leaf area index and total dry matter production empirical models.

Ano	\bar{O}	\bar{P}	N	RQEQM	d	a	b	R^2
Índice de área foliar ($m^2 m^{-2}$)								
Calibração								
2006	3,85	4,11	17	0,67	0,981	0,738	0,877	0,949
2008	3,01	3,03	17	0,22	0,998	0,081	0,980	0,992
Validação								
2006	3,85	3,63	17	0,84	0,968	0,586	0,791	0,919
2008	3,01	3,43	17	0,63	0,985	0,117	1,104	0,981
Matéria seca ($g m^{-2}$)								
Calibração								
2006	576,86	576,96	17	66,85	0,992	15,45	0,973	0,970
2008	473,88	474,88	15	50,12	0,995	11,34	0,978	0,982
Validação								
2006	576,86	548,88	17	74,59	0,990	11,11	0,932	0,969
2008	473,88	500,04	15	59,18	0,994	16,83	1,092	0,981

\bar{O} = média observada; \bar{P} = média simulada; n = número de dados.

A estatística da análise de regressão entre os valores observados e simulados de produção de biomassa encontram-se na Tabela 2. Apesar de a função encontrada para 2006 apresentar um erro maior na calibração (RQEQM = 67) comparado aos erros de 2008, os demais parâmetros mostram que o modelo empírico conseguiu simular muito bem a matéria seca. Mesmo com erros aditivos de 15 e de 11 g m⁻² em 2006 e 2008, respectivamente, todas as funções empíricas reproduziram precisamente (acima de 97%) a produção de biomassa da soja para as condições meteorológicas da região de estudo. A validação dos modelos empíricos com os dados de 2006 e 2008 apresentou elevada precisão, 97% e 98%, respectivamente, e elevados índices de concordância, corroborando sua eficiência na simulação da biomassa aérea em função do tempo térmico.

4 Conclusões

Modelos empíricos ajustados às curvas de IAF e matéria seca conseguiram reproduzir satisfatoriamente os dados observados em função do tempo térmico. Apesar de terem sido validadas apenas equações empíricas para condições úmidas, os resultados gerados em 2006 e 2008 poderiam ser utilizados na simulação destes parâmetros da soja sob condições semelhantes às deste estudo.

Referências

- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; FILHO, G. M.; FERREIRA JUNIOR, R. A. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação a disponibilidade hídrica e unidades térmicas. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542008000500013>
- AUGOSTINHO, L. M. D.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; FREITAS, N. Acúmulo de massa seca e marcha de absorção de nutrientes em mudas de goiabeira 'Pedro Santo'. *Bragantia*, v. 67, n. 3, p. 577-585, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000300004>
- AVILA, A. M. H.; FARIAS, J. R. B.; PINTO, H. S.; PILAU, F. G. Climatic restrictions for maximizing soybean yields. In: BOARD, J. E. (Ed.). *A comprehensive survey of international soybean research: genetics, physiology, agronomy and nitrogen relationships*. Vienna: Intech, 2013. p. 367-375.
- BENINCASA, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BERILLI, S. S.; OLIVEIRA, J. G.; MARINHO, A. B.; LYRA, G. B.; SOUSA, E. F.; VIANA, A. P.; BERNARDO, S.; PEREIRA, M. G. Avaliação da taxa de crescimento de frutos de mamão (*Carica papaya* L.) em função das épocas do ano e graus-dias acumulados. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 29, n. 1, p. 11-14, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452007000100005>
- CONFALONE, A. E.; BERNARDES, M. S.; COSTA, L. C.; RIGHI, C. A.; DOURADO NETO, D.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; PEREIRA, C. R. Exponential model on soybean growth in Argentina and Brazil. *Ciência Rural*, v. 40, n. 5, p. 1009-1016, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010000500002>
- DOURADO NETO, D.; TERUEL, D. A.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. R.; FRIZZONE, J. A.; BACCHI, O. O. S. Principles of crop modeling and simulation: I. uses of mathematical models in agricultural science. *Scientia Agricultural*, v. 55, n. especial, p. 46-50, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Brasília, 2013. 353 p.
- FERREIRA, M. E.; MELO-ABREU, J. P. M.; BIANCO, V. V.; MONTEIRO, A. Predicting phasic development of Green beans for processing using a model with high temperature reduction of thermal time accumulation. *Scientia Horticulturae*, v. 69, n. 3-4, p. 123-133, 1997. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00999-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00999-5)
- HOMMA, A. K. O. Política agrícola ou ambiental para a preservação da Amazônia? *Revista de Política Agrícola*, v. 5, n. 4, p. 16-23, 1996.
- MARCELIS, L. F. M.; HEUVELINK, E.; GOUDRIAN, J. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: a review. *Scientia Horticulturae*, v. 74, n. 1, p. 83-111, 1998. [http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238\(98\)00083-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0304-4238(98)00083-1)
- MOURA, M. S.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F.; SOARES, J. M.; CARMO, J. F. A.; BRANDÃO, E. O. Modelos de crescimento para o feijão-caupi e o milho, sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado, no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 16, n. 3, p. 275-284, 2008.
- MULLER, A. G.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; RADIN, B.; FRANÇA, S.; SILVA, M. I. G. Estimativa do índice de área foliar do milho a partir da soma de graus-dia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, n. 1, p. 65-71, 2005.
- PEREIRA, C. R. *Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura da soja sob diferentes condições ambientais*. 2002. 282 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- SANTOS NETO, A. L.; FILHO, S. M.; SILVA, F. D. B.; MOREIRA, F. J. C.; DINIZ, F. O. Crescimento inicial de sambacaitá (*Hyptis pectinata* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 3, p. 310-316, 2007.
- SCHVAMBACH, J. L.; ANDRIOLO, J. L.; HELDWEIN, A. B. Produção e distribuição da matéria seca do pepino para conserva em diferentes populações de plantas. *Ciência Rural*, v. 32, n. 1, p. 35-41, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000100007>
- SCHOFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Contribuição relativa da temperatura do ar no desenvolvimento de três cultivares de soja. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 10, n. 2, p. 97-104, 2002.
- SIMON, M. F.; GARAGORRY, F. L. The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. *Environmental Conservation*, v. 32, n. 3, p. 203-212, 2005. <http://dx.doi.org/10.1017/S0376892905002201>
- SINCLAIR, T. R. Model analysis of plant traits leading to prolonged crop survival during severe drought. *Field Crops Research*, v. 68, n. 3, p. 211-217, 2000. [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00125-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00125-8)
- SINCLAIR, T. R.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L. Comparison of vegetative development in soybean cultivars for low-latitude environments. *Field Crops*

Research, v. 92, n. 1, p. 53-59, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2004.08.008>

SOUZA, P. J. O. P.; SOUZA, A. M. L.; SAMPAIO, L. S. Soybean development and thermal requirement under the climatic conditions of Paragominas, Pará state, Brazil. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 56, n. 4, p. 371-375, 2013.

SOUZA, P. J. O. P.; FARIAS, J. R. B.; MELO E ABREU, J. P. M.; RIBEIRO, A.; ROCHA, E. J. P.; BOTELHO, M. N.; SOUSA, A. M. L. Simulation of soybean growth and yield under northeastern Amazon climatic conditions. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 6, p. 567-577, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X201100060001>

TRENTIN, R.; SCHREIBER, F.; STRECK, N. A.; BURIOL, G. A. Soma térmica de sub-períodos do desenvolvimento da planta de melancia. *Ciência Rural*, v. 38, n. 9, p. 2464-2470, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782008000900008>

THOMAS, A. L.; COSTA, J. A. Influência do déficit hídrico sobre o desenvolvimento e rendimento da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 29, n. 9, p. 1389-1396, 1994.

VIEIRA, C. R.; CABRAL, L. C.; PAULA, A. C. O. Composição centesimal e conteúdo de aminoácidos, ácidos graxos e minerais de seis cultivares de soja destinada à alimentação humana. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 34, n. 7, p. 1277-1283, 1999. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X1999000700021>

Agradecimentos: Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento da pesquisa (processo nº 481613/2010-2).

Fonte de financiamento: Financiada através do projeto Universal, CNPq, processo nº 481613/2010-2.

Conflito de interesse: O autor declara não haver conflito de interesse.