

Determinação dos Coeficientes de extinção e de eficiência de uso da radiação interceptada para a soja BRS 7482 RR

Artur Gustavo Müller¹; Aleksandra Duarte de Oliveira¹; Jorge César dos Anjos Antonini¹; Fernando Antonio Macena da Silva¹; Maria Emília Borges Alves¹; Juaci Vitória Malaquias²; Klayton dos Santos Xavier³; Arthur Gabriel de Sousa Borettes³; Luís Ramon Morais Souza Silva³; Douglas Rodrigues de Freitas⁴

¹Pesquisador A. BR 20, Km 18, Planaltina, DF.. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ²Analista A. BR 20, Km 18, Planaltina, DF.. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; ³Graduando de Biologia. Rodovia DF 128 - Km 21 S/N Zona Rural, Brasília - DF. Instituto Federal de Brasília ; ⁴Graduando de Biologia. Campus Universitário Darcy Ribeiro · Faculdade de Educação - Prédio FE 03 - Sala BT 06 / 14 · Asa Norte - Brasília-DF · Cep: 70.910-900. Universidade de Brasília

RESUMO

A soja é o cultivo de maior área plantada no Brasil e os coeficientes de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa e de eficiência de uso desta radiação interceptada, que possuem variações com o espaçamento entrelinhas, densidade de plantas e cultivar utilizada. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de curtos períodos sem precipitação sobre o índice de área foliar e massa de matéria seca aérea, além de estimar o coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa e a eficiência de uso da radiação interceptada, em condições sem restrição hídrica para a soja, cultivar BRS 7482 RR. O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, onde foram monitorados a matéria seca da parte aérea, área foliar, radiação fotossinteticamente ativa incidente e transmitida as condições meteorológicas. A partir destes foram ajustados modelos polinomiais para a estimativa dos parâmetros diários de índice de área foliar e de massa seca que foram utilizados para estimativa do coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa e eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa interceptada. Os resultados encontrados para o coeficiente de extinção ficaram dentro do intervalo de 0,42 e 0,75 já referenciados para a cultura da soja, bem como o resultado da eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa interceptada, que ficou entre os valores de 0,917 e 2,18, já obtidos e referenciados. O período de nove dias entre os estádios R5.5 e R6 não afeta a área foliar e a produção de massa aérea da soja. Os coeficientes de extinção da radiação fotossinteticamente ativa (0,736) e de eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (1,435 gramas por MJ m⁻²) estimados para o espaçamento de 0,5m e população de 320 mil plantas por hectare da soja BRS 7482 apresentou valores consistentes e podem ser utilizados na simulação de crescimento.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem; Índice de área foliar; Massa seca aérea;;

INTRODUÇÃO

O Brasil, que se transformou de importador em um dos maiores exportadores de alimentos do mundo, em menos de 40 anos (DALL'AGNOL; GAZZONI, 2018). Na esteira deste desenvolvimento agrícola, a soja encontrou no Brasil condições ambientais e socioeconômicas para se transformar no vegetal mais plantado. A safra de 2023 será de cerca de 155 mil toneladas (CONAB, 2023 A), sendo este o novo recorde de produção com aumento acima de 26% em relação a 2022. É estimado que 95,64 milhões de toneladas sejam exportadas e 52,82 milhões de toneladas utilizadas para a produção de biodiesel e óleo de consumo doméstico e o restante, pode aumentar o estoque final (CONAB, 2023 B).

Sabendo da importância desta cultura é necessário que, sejam tomadas decisões nos diferentes níveis desta cadeia produtiva, desde o nível da lavoura até o nível de logística de insumos e do grão produzido. As tomadas de decisões por parte de agricultores, gestores de empresas e administradores públicos que envolvem as atividades agropecuárias exigem a compreensão das respostas das culturas às variáveis ambientais, mudanças climáticas e práticas de manejo, o que torna os modelos de

simulação uma ferramenta fundamental para o planejamento (Chapagain et al., 2022). Para o nível da lavoura, o uso de modelos de simulação de culturas constitui-se como importantes ferramentas, capaz de representar as interações entre características da cultura, variedade, solo, clima e manejo, e estimar o rendimento da cultura (Nicolau Neto, 2023), bem como simular o balanço hídrico em resposta as variações climáticas, e otimização das estratégias de manejo e da irrigação (Jones et al., 2003).

OBJETIVOS

Avaliar o efeito de curtos períodos sem precipitação sobre o índice de área foliar e massa de matéria seca aérea e estimar o coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa e eficiência de uso da radiação interceptada em condições sem restrição hídrica para a soja cultivar BRS 7482 RR.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Embrapa Cerrados (Latitude: 15° 35' 30" S; Longitude: 47° 42' 30" W; Altitude: 1030 metros). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger o tipo de clima é Aw (Cardoso et al., 2014). A precipitação média anual é de 1.394mm, sendo 87% distribuída entre os meses de outubro a março e 13% distribuída no período de maio a setembro (Silva et al., 2014). A temperatura média anual de 20,7 °C, com verão quente e úmido e inverno seco. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Amarelo (Santos et al., 2013).

O plantio foi realizado no dia 08/11/2022, utilizando a variedade de soja BRS 7482 RR (89% PG) 0,5 m entre linha e 19 sementes por metro linear, buscando atingir população de 34 plantas por metro quadrado. A adubação constou de 510 Kg da fórmula 0 20 20 + 4,21% SO₄ e 9% Ca. Cada parcela foi constituída por 13 linhas de plantio, espaçadas de 0,5 m, com 6,0 m de comprimento. O delineamento experimental adotado foi de blocos ao acaso, com três repetições e quatro tratamentos.

O sistema de irrigação utilizado foi de aspersão convencional, com quatro aspersores de impacto nos cantos de cada parcela, com pressão de serviço de 1,4 bar e vazão 0,804 m³ h⁻¹. A intensidade de aplicação de água foi de 9 mm h⁻¹.

O fator avaliado no experimento foi o momento de irrigação, sendo definido quando o consumo de água estimado pelo balanço hídrico superava a lâmina do fator f do tratamento. Os níveis de f aplicados foram de 0,2; 0,4; 0,6, que correspondem, respectivamente, a lâminas de 11, 22 e 33 mm de água, e o quarto tratamento foi o não irrigado. Neste trabalho foram utilizados apenas os tratamentos contrastantes de 0,2 e não irrigado.

O balanço hídrico para o controle da irrigação foi realizado com dados diários da estação meteorológica principal da Embrapa Cerrados. A ascensão capilar e o escoamento superficial foram considerados nulos, reduzindo a equação do balanço hídrico a:

$$\Delta A = P + I - ET_c \quad (1)$$

Sendo: ΔA a variação do armazenamento de água do solo até 0,4m de profundidade e, portanto, limitado a 55 mm por suas características de retenção de água entre os limites disponíveis às plantas; P a precipitação diária em mm; I a lâmina de irrigação aplicada no dia em mm e ET_c a evapotranspiração da cultura, que foi estimada pela equação:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (2)$$

Sendo, K_c o coeficiente de cultivo adaptados para o ciclo de 115 dias a partir das tabelas de MENDES (2006) e E_{To} a evapotranspiração de referência, obtida pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), com a resistência aerodinâmica ajustada por Rocha (2000).

Foram instaladas duas barras de sensores na parcela 5 (irrigado com F-0,2) abaixo da linha das primeiras folhas e outras duas barras de sensores na parcela 6 (não irrigado) e uma foi instalado em área sem plantio, recebendo a radiação equivalente a incidente sobre a cultura.

A eficiência de transmissão da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura foram estimadas a partir das parcelas incidente sobre a cultura ($RFA_{inc.}$) e transmitida abaixo do dossel ($RFA_{trans.}$), calculado utilizando a equações:

$$\epsilon_{transm.} = \frac{RFA_{transm.}}{RFA_{inc.}}$$

Os resultados das eficiências de transmissão da RFA foram relacionados com a evolução do IAF para estimar o valor do coeficiente de extinção da população de plantas. Esta estimativa foi efetuada pelo ajuste do coeficiente angular b da equação:

$$\ln(\epsilon_{trans.}) = K * IAF$$

Sendo: $\epsilon_{trans.}$ a eficiência de transmissão da radiação fotossinteticamente ativa, K o coeficiente angular da equação (inclinação da reta), que estima o coeficiente de extinção e IAF o índice de área foliar estimado em função de graus-dia acumulados.

Para a estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e a Massa de matéria Seca Aérea (MSA) foram coletadas amostras da parte aérea das plantas contidas em duas linhas de 0,5 m de comprimento, cujas folhas e demais partes da planta foram destacadas e secas em estufa a 65°C para determinar a massa de matéria seca de folhas, caule e legumes, que somados formam o total da massa de matéria seca da parte aérea da população de plantas. Para determinar a Área Foliar Específica (AFE) foram previamente separadas três plantas cujas folhas foram destacadas, passadas em planímetro eletrônico, para determinar a área, e colocadas em estufa, posteriormente, foi determinada a massa de matéria seca das folhas.

O índice de área foliar (IAF) foi estimado através da divisão dos valores da área foliar total e a área de solo ocupada pelas plantas:

$$IAF = AF_{total}/AS \quad (5)$$

Como a amostra utilizada era composta por duas linhas de 0,5 m espaçadas por 0,5 m entre linhas, o valor de AS (área do solo) foi de 0,5 m² por amostra.

A área foliar total da amostra foi obtida pela equação:

$$AF_{total} = MS \text{ folhas amostra} * AFE (6)$$

Sendo: AF_{total} a massa de matéria seca de folhas da amostra, que foi obtida pela pesagem após secagem das folhas da amostra em estufa a 65°C, por 48 horas e a AFE é a área foliar específica estimada pela divisão da área foliar, obtida em planímetro eletrônico, e a massa seca das folhas, sendo ambas da sub amostra de cinco plantas.

Para relacionar com os dados diários de eficiência de interceptação, o índice de área foliar (IAF) obtido nas amostragens foi ajustado ao modelo polinomial em função de graus-dia acumulados, sendo aceito o modelo de maior coeficiente de determinação com coeficientes significativos.

O cálculo dos graus dia seguiu a metodologia de Camargo et al. (1987), considerando a temperatura base de 14 °C, para a soja.

Para obtenção da eficiência com que a população de plantas transforma a energia fotossinteticamente ativa interceptada em biomassa constituinte da parte aérea, conhecida por eficiência de uso da RFA interceptada, o peso acumulado da matéria seca foi dividido pela RFA interceptada acumulada estimada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1, são apresentadas as precipitações pluviométricas do período experimental (07/11/2022 a 05/03/2023), que foi caracterizado por terem os meses de novembro, dezembro e janeiro com chuvas acima da média histórica e com o máximo de seis dias sem precipitação, provocando duas irrigações no tratamento com $f = 0,2$, ou seja, com esgotamento de 20% da capacidade de armazenamento de água no solo (CAD). No mês de fevereiro o período entre os dias 8 e 16 também não ocorreu precipitação, necessitando de mais duas irrigações, sendo que a cultura já estava no final de enchimento de grãos, transitando do estágio R5.5 a R6.

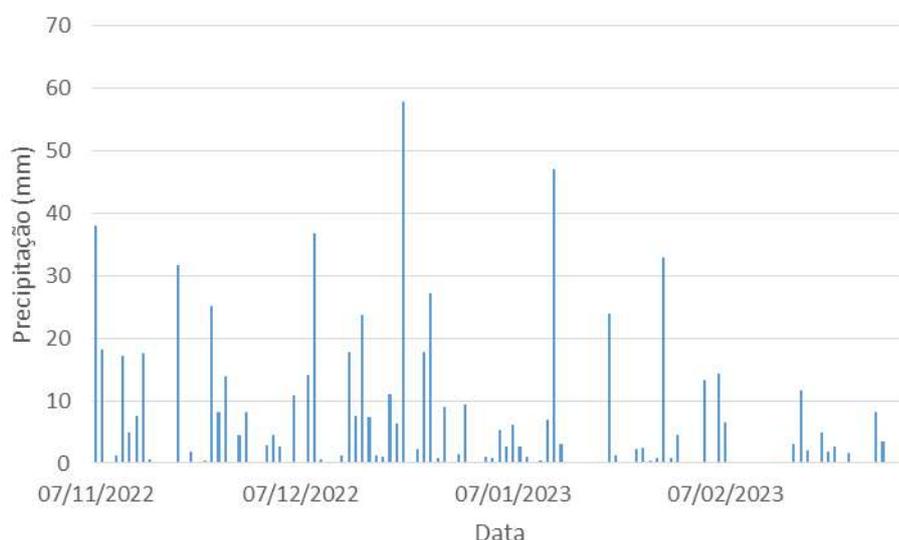


Figura 1. Precipitações pluviométricas na estação principal da Embrapa Cerrados, no período de 07/11/2022 a 05/03/2023.

Esta condição de reduzida necessidade de irrigação complementar, durante o período, fez com que não ocorresse variações na expansão das folhas e acúmulo de matéria seca, entre os tratamentos contrastantes avaliados. Esta situação foi comprovada, a partir do teste T pareado entre os tratamentos, para as duas variáveis. Sendo assim, os valores dos dois tratamentos foram analisados

conjuntamente, o que aumenta a precisão da estimativa do coeficiente de extinção da RFA no dossel da soja, e da eficiência de uso da RFA interceptada.

A instalação do IAF foi mais rápida após os 125 graus dia, com valor máximo aos 500 graus dia, que correspondeu a 5,0 e 4,8, respectivamente, para o tratamento não irrigado e o irrigado. Valores de IAF máximo superiores a 5, são encontrados na literatura para soja sem deficiência hídrica, como observado por Conceição (2023) e Moreira (2023), porém, este valor pode ter sido influenciado pelo período de chuvas acima da média e a presença de nebulosidade mais constante, o que reduz a disponibilidade de radiação solar (Silva, 2013), outro fator que pode ser adicionado, é o ciclo curto da variedade estudada, reduzindo o período vegetativo. Após os 700 graus dia, observou-se a rápida senescência e o IAF nulo, antes de completar 800 graus dia (figura 2).

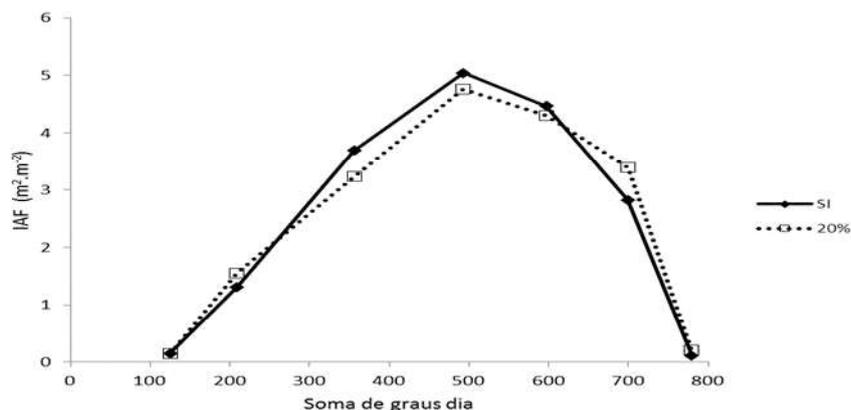


Figura 2. Índice de área foliar da soja nos tratamentos sem irrigação (SI) e com irrigação após esgotamento de 20% da capacidade de água disponível no solo a 0,4 metros de profundidade, em relação à soma de graus dia.

A Figura 3 permite observar que a equação polinomial cúbica apresentou excelente ajuste de curva, coeficiente de determinação alto e significativo (0,9946) ao estimar os valores diários de IAF. O coeficiente de determinação estima que mais de 99% das variações de IAF foram explicadas pela equação cúbica em função da soma de graus dia, durante o período de 125 a 780 graus dia, contudo fora deste domínio a equação não é válida pois produz valores negativos e não passa pela origem. Desta forma, foi neste domínio que a equação foi utilizada para estimativa do IAF diário.

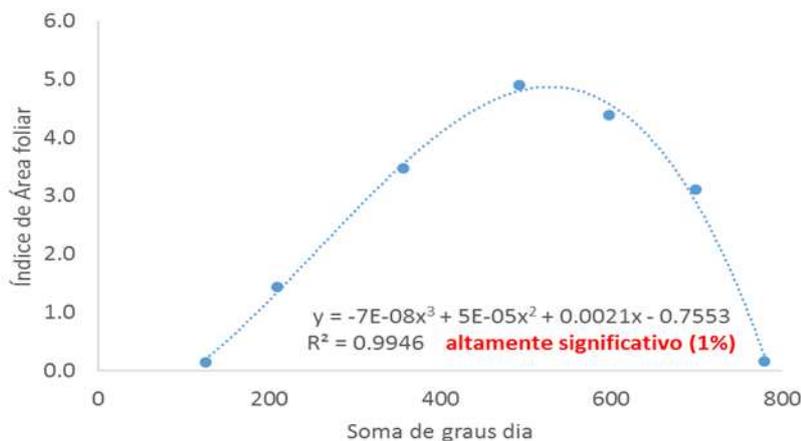


Figura 3. Índice de área foliar da soja médio entre os tratamentos sem irrigação (SI) e com irrigação após esgotamento de 20% da capacidade de água disponível no solo a 0,4 metros de profundidade, e a equação cúbica resultante da relação com a soma de graus dia.

A eficiência de transmissão da radiação fotossinteticamente ativa foi estimada diariamente, considerando a média dos quatro sensores instalados em parcelas irrigadas e não irrigadas. Os resultados apresentam variações com a soma de graus dia invertido em relação às variações do IAF (figura 4), mantendo valores abaixo de 0,1 no período em que o IAF é superior a 3.

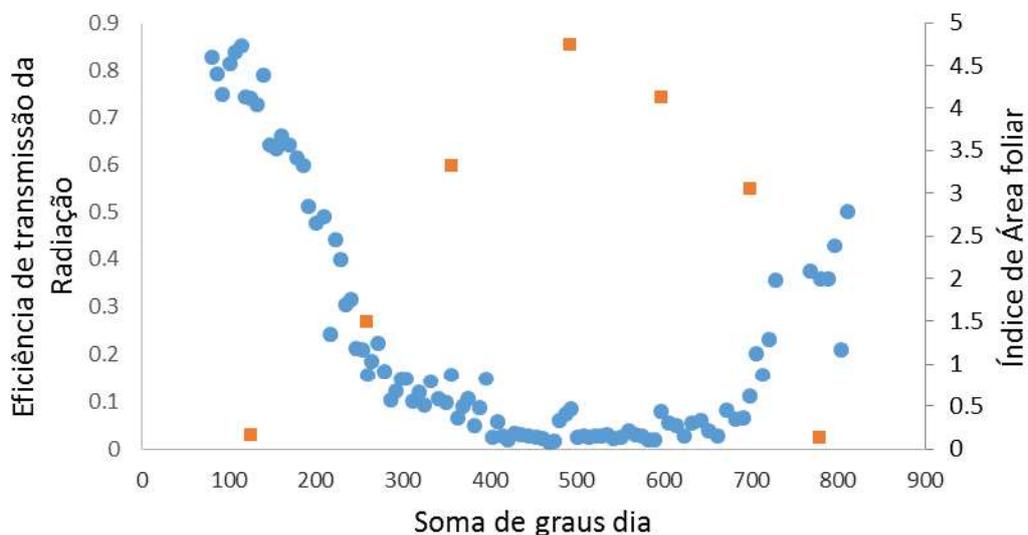


Figura 4. Eficiência de transmissão da Radiação e Índice de área foliar da soja em relação à soma de graus dia, em Planaltina - DF.

A relação do IAF com o logaritmo neperiano da transmissividade se ajusta a equação linear que passa pela origem e apresenta coeficiente de determinação e coeficiente de inclinação significativos (figura 5), sendo assim, definido o coeficiente de extinção em 0,736 para a cultivar de soja BRS 7482 cultivado em espaçamento de 0,5m e população de 320 mil plantas por hectare. Os valores de coeficiente de extinção variam principalmente com a densidade de plantas e o espaçamento, podendo encontrar valores de 0,42 e 0,52 (Adeboye, 2016) em plantio com espaçamento de 0,6 m e 55 mil plantas por hectare a valor de 0,75 com espaçamento de 0,7 m e 100 mil plantas por hectare (Confalone, 1997).

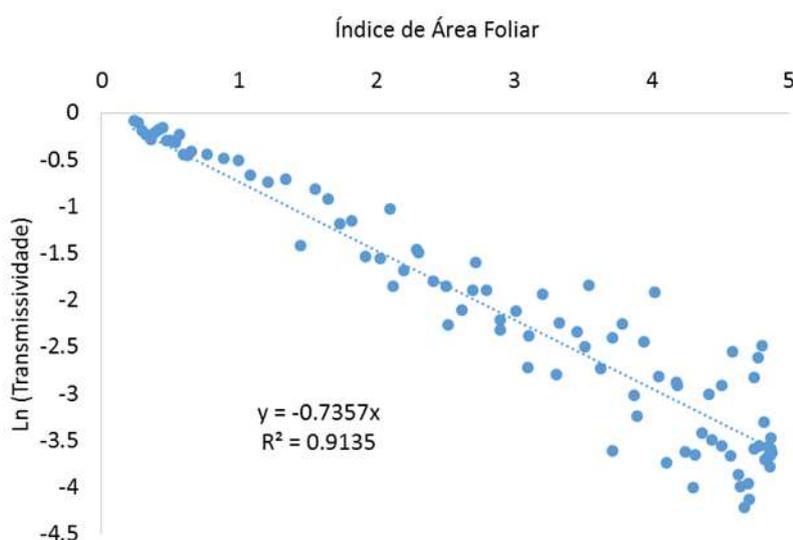


Figura 5. Equação linear, passando pela origem, da relação entre o logaritmo neperiano da transmissividade e o Índice de área foliar da soja, em relação à soma de graus dia da soja BRS 7482, em Planaltina - DF.

A equação polinomial quadrática apresentou maior coeficiente de determinação com coeficientes significativos e foi utilizado para estimar os valores diários de massa de matéria seca da parte aérea (figura 6).

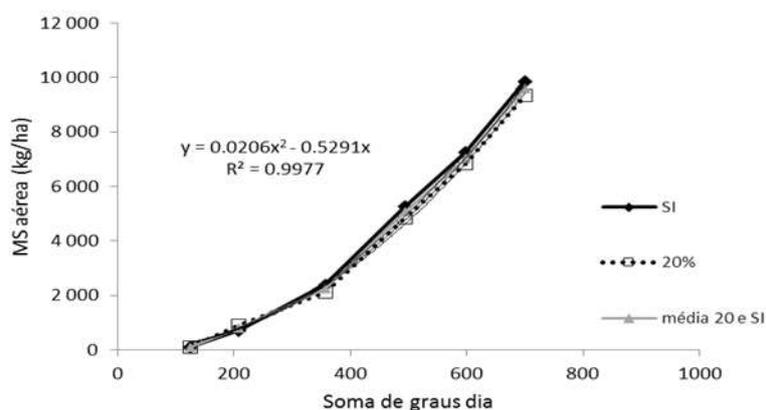


Figura 6. Equação quadrática, passando pela origem, da relação entre a massa de matéria seca aérea e a soma de graus dia da soja BRS 7482, em Planaltina - DF.

A eficiência de uso da RFA interceptada para a cultivar de soja BRS 7482, obtida pela relação da massa de matéria seca aérea estimada acumulada (g m^{-2}) com RFA interceptada estimada acumulada (MJ m^{-2}) foi de 1,696 gramas por MJ m^{-2} de RFA interceptada. Os valores são superiores aos encontrados por Ebadi (2013), que trabalhando com 17 genótipos encontrou valores entre 0,917 e 1,152 gramas por MJ m^{-2} de RFA interceptada e inferiores aos valores máximos de 2,18 encontrados por De Costa and Shanmugathan (2002) e entre os valores de 1,46 e 1,99 gramas por MJ m^{-2} de RFA interceptada encontrados em anos sucessivos na região amazônica por De Oliveira et al. (2009).

CONCLUSÃO

O período de nove dias sem precipitação, ocorrido entre os estádios R5.5 e R6, não afeta a área foliar e a produção de fitomassa aérea da soja. Os coeficientes de extinção da radiação fotossinteticamente ativa (0,736) e de eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (1,435 gramas por MJ m^{-2}) estimados para o espaçamento de 0,5m e população de 320 mil plantas por hectare da soja BRS 7482 apresentou valores consistentes e podem ser utilizados na simulação de crescimento.

AGRADECIMENTOS

Embrapa

FAP DF (Processo Nº 00193-00001136/2021-13)

REFERÊNCIAS

Adeboye et al. Braz J. Impact of water stress on radiation interception and radiation use efficiency of Soybeans (*Glycine max L. Merr.*). **Nigeria. Sci Technol** (2016) 3:15 DOI 10.1186/s40552-016-0028-1. <https://bjst-journal.springeropen.com/articles/10.1186/s40552-016-0028-1> acessado em: 08/08/2023.

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Rome: FAO, pp. 300. (**Irrigation and Drainage Paper, 56**).
- Camargo, B.P. O. Brunini & M.A.C. Miranda. 1987. Temperatura-Base Para Cálculo dos Graus-Dia Para Cultivares em São Paulo. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, 22(2): 115-121 p.
- CARDOSO, M.R.D.; MARCUZZO, F.F.N.; BARROS, J. R. Classificação climática de köppen-geiger para o estado de goiás e o distrito federal. **Acta Geographica**, 8(16): 40-55. 2014.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, v. 10 - safra 2022/23 - Décimo levantamento, Brasília, p. 1-110, julho 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos> (A) Acessado em: 18/07/2023.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, **Brasil deve produzir maior safra histórica de grãos no ciclo 2022/2023, com 317,6 milhões de toneladas**. Publicado: Quinta, 13 de Julho de 2023. Site: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5074-brasil-deve-produzir-maior-safra-historica-de-graos-no-ciclo-2022-2023-com-317-6-milhoes-de-toneladas>. Acessado em: 22/07/2023 (B).
- CONFALONE, A. E. **Captura e utilização da radiação na cultura da soja [Glycine max (L.) Merrill] com e sem irrigação em diferentes estádios de desenvolvimento**. 1997. 74 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1997.
- DALL'AGNOL, A.; GAZZONI, D.L. **A saga da soja: de 1050 a.C. a 2050 d.C**. Londrina, PR, BR: Embrapa, 2018. p. 24-94, Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/220999/1/ID-38839-Livro-Saga-daSoja-versao-web.pdf>
- De Costa WAJM, Shanmugathan KN (2002). Physiology of yield determination of soybean (Glycine max (L.) Merr.) under different irrigation regimes in the sub-humid zone of Sri Lanka. **Field Crops Res.** 75:23-35.
- De Oliveira PJ, Ribeiro A, Paulino da Rocha EJ, Farias JRB, Loureiro RS, Bispo CC, Sampaio L (2009). Solar radiation use efficiency by soybean under field conditions in the Amazon region. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília 44(10):1211-1218.
- JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PORTER, C.H.; BOOTE, K.J.; BATCHELOR, W.D.; HUNT, L.A.; WILKENS, P.W.; SINGH, U.; GIJSMAN, A.J.; RITCHIE, J.T. The DSSAT cropping system model, **European Journal of Agronomy**, London, v.18, p.235-265, 2003.
- MENDES, R. de S. **Determinação da evapotranspiração por métodos direto e indiretos e dos coeficientes de cultura da soja para o Distrito Federal**. 58 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- NICOLAU NETO, P. L. A. **Produtividade de soja in sílico no bioma cerrado em função do fenômeno El Niño Oscilação Sul**. 2023. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2023
- ROCHA, O. C. **Performance de modelos na estimativa da evapotranspiração do feijão preto no Cerrado**. 2000. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 2000.

Santos, H.G. dos; Jacomine, P. K.T.; Anjos, L.H.C.dos; Oliveira, V.A.de; Lumbreira, S. J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A. de; Cunha, T. J. F.; Oliveira, J. B. de. 2013. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, pp.353.

SILVA, F. A. M.; Evangelista, B. A.; MULLER, A. G.; OLIVEIRA, A. D. **Boletim Agrometeorológico Referente ao ano de 2009**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2013. pp. 45. (Embrapa Cerrados. Documentos, 315).