

ADAPTAÇÃO DO MODELO NOAH-MP-CROP PARA REPRESENTAR A CULTURA DA SOJA EM RONDÔNIA, BRASIL

Luiz Antonio Candido¹; **Aline Corrêa de Sousa**²; **Marcelo Crestani Mota**³; **Santiago Vianna Cuadra**⁴; **Ranyelli Cunha de Figueiredo**⁵; **Ricardo Antonio Marengo Mendonza**¹

¹Prof. Pesquisador. Manaus, Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); ²Bolsista Pós-doutorado. Manaus, Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); ³Prof. Pesquisador. Vilhena, Rondônia. Faculdade Marechal Rondon (FARON); ⁴Pesquisador. Campinas, São Paulo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Agricultura Digital (CNPTIA); ⁵Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico. Manaus, Amazonas. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

RESUMO

A soja é uma cultura altamente adaptada e cultivada em diversas regiões do Brasil, como na mesorregião do Cone Sul de Rondônia (CSRO). Portanto, ao utilizar modelos agrícolas para simular o desempenho das cultivares de soja, é crucial considerar as informações locais para garantir resultados precisos e realistas. O objetivo deste trabalho foi ajustar e avaliar o modelo Noah-MP-Crop utilizando uma cultivar de soja na região de Rondônia, para simular a cultura durante a safra 2017/2018. Para isto, foram considerados os dados observacionais meteorológicos e da cultura obtidos em uma campanha experimental realizada na época. A representação aproximada do Índice de Área Foliar (IAF), da biomassa seca de caules e folhas da cultivar de soja 75I77 RSF IPRO (ULTRA), quando comparou-se valores medidos e simulados, demonstra que modelo Noah-MP-Crop, após os ajustes dos parâmetros físicos, fenológicos e fisiológicos foi capaz de representar a expansão das folhas e biomassa seca durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura na safra 2017/2018.

PALAVRAS-CHAVE: mudança climática; gerenciamento de riscos; rendimento de safra; agroecossistema; modelo de cultura agrícola

INTRODUÇÃO

A mesorregião Cone Sul de Rondônia (CSRO), localizada no Estado de Rondônia, Brasil, tem se destacado na última década como área de forte incremento na produção da cultura de soja, substituindo as pastagens e usufruindo de condições climáticas ideais (BATISTA, 2016; EMBRAPA, 2017; CONAB, 2019).

Contudo, de acordo com Leite-Filho et al. (2021) alterações no regime de chuvas e aumento da temperatura na região são esperados e já observados. O regime hídrico necessário para o cultivo da soja pode ser impactado e o estresse térmico pode afetar negativamente os cultivares na região, reduzindo a produtividade e comprometendo a qualidade dos grãos.

Estes cenários climáticos projetados reforçam a importância da adoção de ferramentas computacionais que permitam avaliar as interações complexas entre o clima, solo, planta e manejo, com a finalidade de desenvolver práticas agrícolas sustentáveis, de conservação do solo, de proteção dos recursos hídricos e de preservação da biodiversidade na região. Neste sentido, modelos de simulação do crescimento de culturas vêm sendo aprimorados (JONES et al., 2003; LIU et al. 2016; MOTA, 2019; WARRACH-SAGI et al. 2022).

Estudos recentes verificaram o uso de modelos para avaliar o impacto de cultivares no clima. Avanços utilizando o Noah-MP-Crop, como mostrados em LIU et al. (2016), apontaram para simulações de fluxos à superfície mais precisas, ao compará-las com outros modelos de superfície. No entanto, tais estudos são desenvolvidos para outras culturas e em outras regiões do globo (como a soja e milho dos EUA), que apresentam aspectos agroclimáticos diferenciados da soja brasileira, como ciclo de desenvolvimento longo e característica foliar de diversidade de plantas menores, por exemplo. Portanto, tem-se a necessidade de representar cultivares de soja para o clima brasileiro, isto é, aplicar

modelos com informações locais, que permitam simulações que representem de forma robusta a morfologia e a ecofisiologia de tais cultivares (MOREIRA et al., 2023). O uso deste modelo ajustado localmente, permite simular a biomassa de raízes e folhas, assim como o rendimento de grãos das culturas quando elas atingem a maturidade fisiológica. As simulações de rendimento podem ser potencialmente aplicadas em avaliações agroclimáticas, bem como em previsões de rendimento futuro utilizando cenários ou mesmo modelagem regional do clima sobre regiões produtoras.

Neste trabalho, portanto, descreve-se a configuração dos parâmetros necessários para a construção do modelo Noah-MP-Crop, sua execução e avaliação com relação aos conjuntos de dados (isto é, fluxos de superfície) na safra 2017/2018, obtidos no CSRO, no município de Vilhena-RO. Estas informações viabilizarão a estruturação inicial de um sistema de modelagem aprimorado para representar as áreas de cultivo brasileiras, além de fornecer produtos de simulação importantes para as safras regionais.

OBJETIVOS

Ajustar os parâmetros físicos, fenológicos e fisiológicos da soja no modelo Noah-MP-Crop, utilizando dados meteorológicos e culturais obtidos em campanha experimental realizada no município de Vilhena-RO, durante a safra 2017/2018, avaliando comparativamente as simulações de variação temporal do índice de área foliar e biomassa seca de folhas e caules com as medidas observacionais de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A área de estudo está localizada no sítio experimental da Faculdade Marechal Rondon (FARON), no município de Vilhena-RO (Lat: 60°05' O; Lon: 12°46' S; 600 m de altitude), na mesorregião do Cone Sul (CSRO) (Figura 1), onde desde 2017 vem sendo realizado monitoramento agrometeorológico utilizando cultivares de milho e soja. O clima da região é o tropical chuvoso (Am, classificação Köppen), com época seca bem definida - precipitação total anual de 2200 mm; temperatura média anual de 24,6 °C (máxima, 29 °C; mínima, 19,3 °C); e umidade relativa média anual de 74% (ALVARES et al., 2013). A época chuvosa é de outubro a abril e a época seca é de junho a agosto. O solo predominante é o Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de textura argilosa (SILVA et al., 2022).

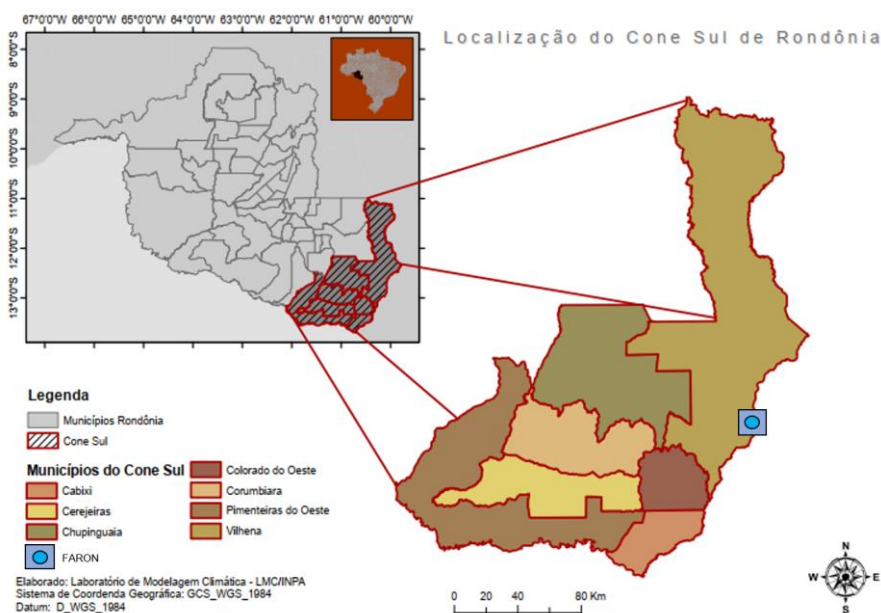


Figura 1: Mapa de localização do sítio experimental da Faculdade Marechal Rondon (FARON), em Vilhena-RO.

Campanha experimental

Sítio experimental e características da cultura de soja

A safra de soja foi monitorada entre outubro de 2017 e fevereiro de 2018 na área experimental da FARON, e a semeadura utilizou espaçamento de 0,5 m entre fileiras e profundidade do sulco de 0,03 m. O início do cultivo ocorreu em 27 de outubro de 2017, usando a cultivar 75I77 RSF IPRO (ULTRA), que apresenta ciclo médio completo estimado em 104 dias. Essa cultivar apresenta porte pequeno, baixo índice de ramificação, alto potencial produtivo e população variando de 320 a 380 mil plantas por hectare. O seu cultivo é recomendado para a macrorregião sojícola 4 e edafoclimática 402, onde a semeadura deve ocorrer entre 10 de outubro e 15 de novembro (ZDZIARSK et al., 2018), especialmente para as localidades com altitude superior a 400 m, caso de Vilhena, no CSRO.

Índice de Área Foliar (IAF)

Dados de estimativas de IAF foram obtidas de MOTA (2019) para o ciclo completo de desenvolvimento da cultura de soja, e que utilizou medidas de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) incidente e da parte interceptada pela cobertura do dossel vegetal durante a safra 2017-2018. Para tanto foi determinada a fração de interceptação da RFA e coeficiente de extinção da radiação RFA e aplicada segundo a modificação da lei de extinção da radiação de Lambert-Beer, por meio de parametrização de distribuição da energia luminosa ao longo do dossel vegetal. A extinção da radiação com o crescimento da cultura segue uma expressão exponencial, que é associada ao coeficiente de extinção de RFA e ao IAF (BRÉDA, 2003).

Biomassa de caules e folhas

Dados de biomassa seca de folhas, galhos e caules, obtidos por MOTA (2019) a partir de amostragens de elementos de plantas em áreas de 1 m², seguindo a metodologia de ALAGARSWAMY et al. (2000) e com frequência quinzenal, abrangem o período dos 35 dias após a semeadura (DAS) até a fase de maturação plena (DAS 95) e, portanto, são utilizados aqui na comparação com os resultados do modelo.

Dados meteorológicos

Sensores meteorológicos automáticos foram utilizados na obtenção de medidas de temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento, radiação solar incidente e precipitação, instalados a 3 m de altura em uma torre micrometeorológica. Estes parâmetros meteorológicos foram medidos a cada 5 segundos e médias de 5 minutos foram armazenadas em "datalogger", durante a safra 2017/2018. Médias de 30 minutos destes dados foram determinadas e utilizadas como forçantes no modelo Noah-MP-Crop, descrito a seguir.

Modelo de cultura

O Noah-MP-Crop (LIU et al., 2016) foi utilizado para simular os processos de balanço de radiação, energia e água da superfície no modo desacoplado. Este modelo representa o crescimento de culturas agrícolas tradicionais e determina o índice de área foliar, a umidade do solo, a evapotranspiração, e a produtividade das culturas. Esses processos físicos e fisiológicos são controlados por parâmetros específicos da cultura, do solo e do clima. O solo foi distribuído em quatro (04) camadas de 0,1, 0,3, 0,6 e 1 m de espessura, totalizando 2 m de profundidade. O modelo Noah-MP-Crop usa as mesmas parametrizações do Noah-MP e foram configuradas com as seguintes opções: Dinâmica de vegetação com IAF calculado pelo modelo de cultura; Resistência estomática de Ball-Berry; Fator de umidade

do solo controlando a resistência estomática do Noah (umidade do solo); Opção de escoamento superficial e subsuperficial do TOPMODEL com lençol freático; Coeficiente de arrasto da camada superficial de Monin-Obukhov; Permeabilidade e textura do solo padrão; Transferência radiativa de dois-fluxos (direto e difuso); e esquema de cultura de LIU et al. (2016).

Simulações com o modelo NOAH-MP-Crop

O modelo Noah-MP-Crop foi integrado ao longo dos 104 dias do ciclo de desenvolvimento da soja, com passo de tempo de 30 minutos, inicializado às 01h do dia 27 de outubro de 2017 e finalizado às 00h do dia 05 de fevereiro de 2018 - safra 2017/2018 utilizando o modo 1D (unidimensional) do modelo e os dados meteorológicos medidos no sítio em Vilhena-RO. Os estádios de crescimento da cultura de soja são representados por cinco (05) períodos de desenvolvimento das plantas: 1) semeadura à emergência; 2) semeadura ao estágio vegetativo inicial; 3) semeadura ao estágio vegetativo normal; 4) semeadura ao estágio reprodutivo; 5) semeadura à maturidade fisiológica. Estas fases são dinamicamente determinadas em função do acumulado de Graus-Dia (GDD) (Quadro 1). Os parâmetros de controle fenológico (GDDS1-5) foram ajustados, juntamente com os parâmetros de controle fisiológico (LFPT, STPT, RTPT) associados aos fluxos de carboidratos para folhas, caules e raízes. Os respectivos valores adotados no modelo e os ajustados (entre parênteses) para os diferentes estádios (PGS1-8) são mostrados no Quadro 1.

Quadro 1: Parâmetros físicos, fenológicos e fisiológicos adotados e ajustados na simulação com o modelo Noah-MP-Crop.

Parâmetros	Descrição	Valores padrão (ajustados)
PLTDAY	Data de Plantio	296 [27-10-2017]
HSDAY	Data de Colheita	400 [05-02-2018]
GDDTBASE	Temperatura base para acúmulo de GDD	10 (13)
GDDTCUT	Temperatura superior para acúmulo de GDD desde a semeadura até a emergência	30 (35)
GDDS1	GDD desde a semeadura à emergência	60 (65)
GDDS2	GDD desde a semeadura ao estágio vegetativo inicial	675 (536,2)
GDDS3	GDD desde a semeadura ao estágio vegetativo normal	1183 (714,2)
GDDS4	GDD desde a semeadura ao estágio reprodutivo	1253 (806,5)
GDDS5	GDD desde a semeadura à maturidade fisiológica	1605 (968,7)
LFPT(PGS 1-8)	Fração do fluxo de carboidratos para a folha	0;0;0,4;0,2;0;0;0 (0;0,85;0,7;0,45;0,3;0,25;0,05;0)
STPT(PGS 1-8)	Fração do fluxo de carboidratos para o caule	0;0;0,2;0,5;0;0;0 (0;0,15;0,35;0,2;0;0;0)
RTPT(PGS 1-8)	Fração do fluxo de carboidratos para a raiz	0;0;0,4;0,3;0,05;0;0 (0;0;0,3;0,4;0,2;0,1;0;0)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Índice de área foliar e biomassa

Uma comparação entre o IAF simulado e estimado a partir das medidas experimentais é apresentada na Figura 2. O ciclo de desenvolvimento, incluindo as fases de crescimento vegetativo, maturidade fisiológica e senescência foliar são bem representados pelo modelo após o ajuste dos parâmetros. O RMSE entre o IAF simulado e estimado foi de 0,17 m²/m², e o coeficiente de determinação R² foi 0,9918 ($p < 2,2e-16$). Sendo que a germinação das plantas de soja foi simulada em torno de 5 DAS, e a máxima expansão foliar em torno de 66 DAS; enquanto as medidas indicam a ocorrência de uma germinação lenta aos 10 DAS, com aparecimento do primeiro par de folhas unifoliadas (estádio vegetativo V1) se estabelecendo 20 DAS com um IAF de aproximadamente 0,17 m²/m², e o pico de crescimento foliar ocorrendo em 7 DAS. Logo o modelo adiantou o fechamento do estágio reprodutivo R6 em cerca de 9 dias. Apesar das diferenças, o padrão medido de crescimento, máximo seguido de redução do IAF, associado às fases de crescimento vegetativo, maturação e senescência foram em grande parte simulados pelo modelo.

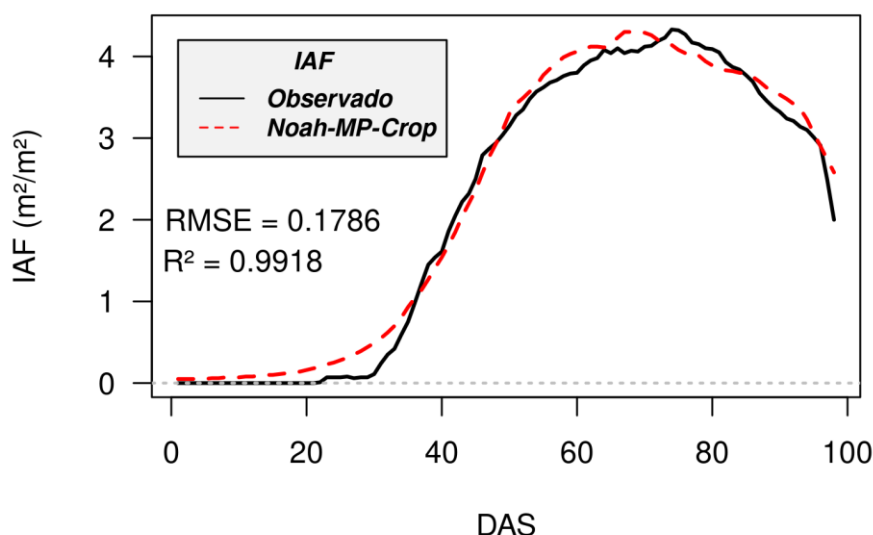


Figura 2: Variação diária do Índice de Área Foliar (IAF, m²/m²) observado e simulado pelo Noah-MP-Crop, em função do número de Dias Após a Semeadura (DAS).

Evaporação e transpiração

A representação da evaporação da água do solo e da transpiração da cultura de soja na simulação é demonstrada na Figura 3. A evaporação direta e a transpiração não foram medidas experimentalmente, mas as diferenças de comportamento refletem bem o impacto do incremento da cobertura foliar da superfície (conforme mostrado pelo IAF, Figura 2) no aumento da transpiração e na redução das perdas de água pela evaporação da água do solo até a fase de maturação da cultura. A variabilidade da transpiração decorre da redução da radiação solar incidente à superfície durante a ocorrência de forte nebulosidade e precipitação na área experimental. Na fase de senescência foliar as perdas de água por evaporação da água do solo voltam a aumentar e a transpiração reduz, conforme observado em outras campanhas experimentais e estudos de modelagem com cultivo de soja (MOREIRA et al., 2015; MOREIRA et al., 2018; MOTA, 2019; MOREIRA et al., 2023). Na fase de crescimento vegetativo (até 40 DAS) a evaporação do solo oscila entre 1 e 3 mm/dia e a transpiração

atinge o valor máximo de 1 mm/dia. Enquanto na maturação da soja (entre 60 e 80 DAS) a evaporação cai a menos de 0,25 mm/dia e a transpiração se eleva e atinge valores entre 1 e 3,5 mm/dia, corroborando com BERGAMASCHI et al. (2007) e MONTEIRO (2009) .

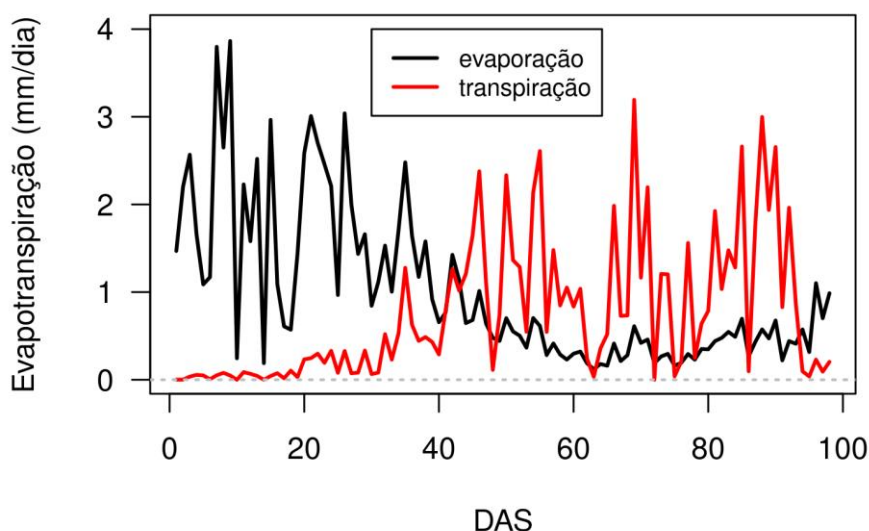


Figura 3: Variação diária da evaporação e transpiração (mm/dia) simuladas pelo Noah-MP-Crop, em função do número de Dias Após a Semeadura (DAS).

Biomassa seca de caules e folhas

As variações temporais na biomassa de matéria seca do dossel da cultivar de soja e sua distribuição em caules e folhas, juntamente com respectivos valores simulados pelo modelo Noah-MP-Crop, são apresentados nas Figura 4a e 4b, e abrangem o ciclo completo de desenvolvimento da cultura. Aos 40 DAS a biomassa de caules medida (Bc_{obs}) se estabeleceu em cerca de $60,5 \text{ g/cm}^2$. Aos 54 e 68 DAS, já nas fases de pleno crescimento vegetativo e início do estágio reprodutivo, os valores de Bc_{obs} atingiram os patamares de $151,6$ e $177,6 \text{ g/cm}^2$, respectivamente. Enquanto aos 82 e 95 DAS, notam-se valores de biomassa de caules com tendência de redução, pois a energia fotossintética nesse estágio é direcionada para a floração e enchimento dos grãos. Até os 82 DAS o modelo representa de maneira muito próxima a variação de Bc (Bc_{mod}), com maior subestimativa aos 54 DAS. Na fase final, início da senescência, o modelo mantém a Bc em $150,2 \text{ g/cm}^2$ (Bc_{mod}), enquanto as medidas apontam uma redução para $89,4 \text{ g/cm}^2$ (Bc_{obs}) (Figura 4a). Apesar desta grande diferença no período de fechamento do ciclo da cultura, percebe-se que o modelo consegue acompanhar de forma razoável a lignificação das estruturas das plantas de soja, bem como representar a translocação e conversão dos fotoassimilados e carboidratos em matéria seca, com a umidade da massa de grãos variando entre 13% a 15% (FEHR; CAVINESS, 1977). O RMSE da Bc para todo o período da safra foi $33,85 \text{ g/cm}^2$, e o coeficiente de determinação R^2 foi de 0,48.

A variação da biomassa seca de folhas apresentada na Figura 4b, mostra que no início do estágio vegetativo (40 DAS), a biomassa Bf_{obs} foi de $77,3 \text{ g/cm}^2$. Ao adentrar ao fim do estágio vegetativo e início do estágio reprodutivo, ocorreu ganho de biomassa foliar, respectivamente, associados a expansão do IAF, por consequência do aumento da taxa fotossintética da cultivar, alcançando acumulados de biomassa de $138,0 \text{ g/cm}^2$ e $141,8 \text{ g/cm}^2$ (Bf_{obs}) em 54 DAS e 68 DAS, respectivamente. A partir da proximidade do fechamento do ciclo da cultivar (estádios reprodutivos R7 a R8), aos 82 e 95 DAS, houve redução da biomassa foliar, resultante da maturação e senescência

da cultivar. De maneira geral, o modelo (Bf_mod) representou com acurácia a variação da biomassa foliar, porém apresentou subestimativa de $25,8 \text{ g/cm}^2$ em 40 DAS. Esta diferença reduziu para $16,4 \text{ g/cm}^2$ em 54 DAS, com superestimativas a partir de 68 DAS, porém com amplitude de diferença inferior a 12 g/cm^2 . Essa variação é descrita por um $RSME = 14,68 \text{ g/cm}^2$ e um $R^2 = 0,83$. Os resultados da superestimativa de biomassa seca de caules no final do ciclo mostra a necessidade de considerar o ajuste de outros parâmetros que controlam a translocação de fluxos de carboidratos de caules para grãos na fase final de maturação fisiológica, enquanto a biomassa seca de folhas necessita de mais ajustes na fase de crescimento vegetativo.

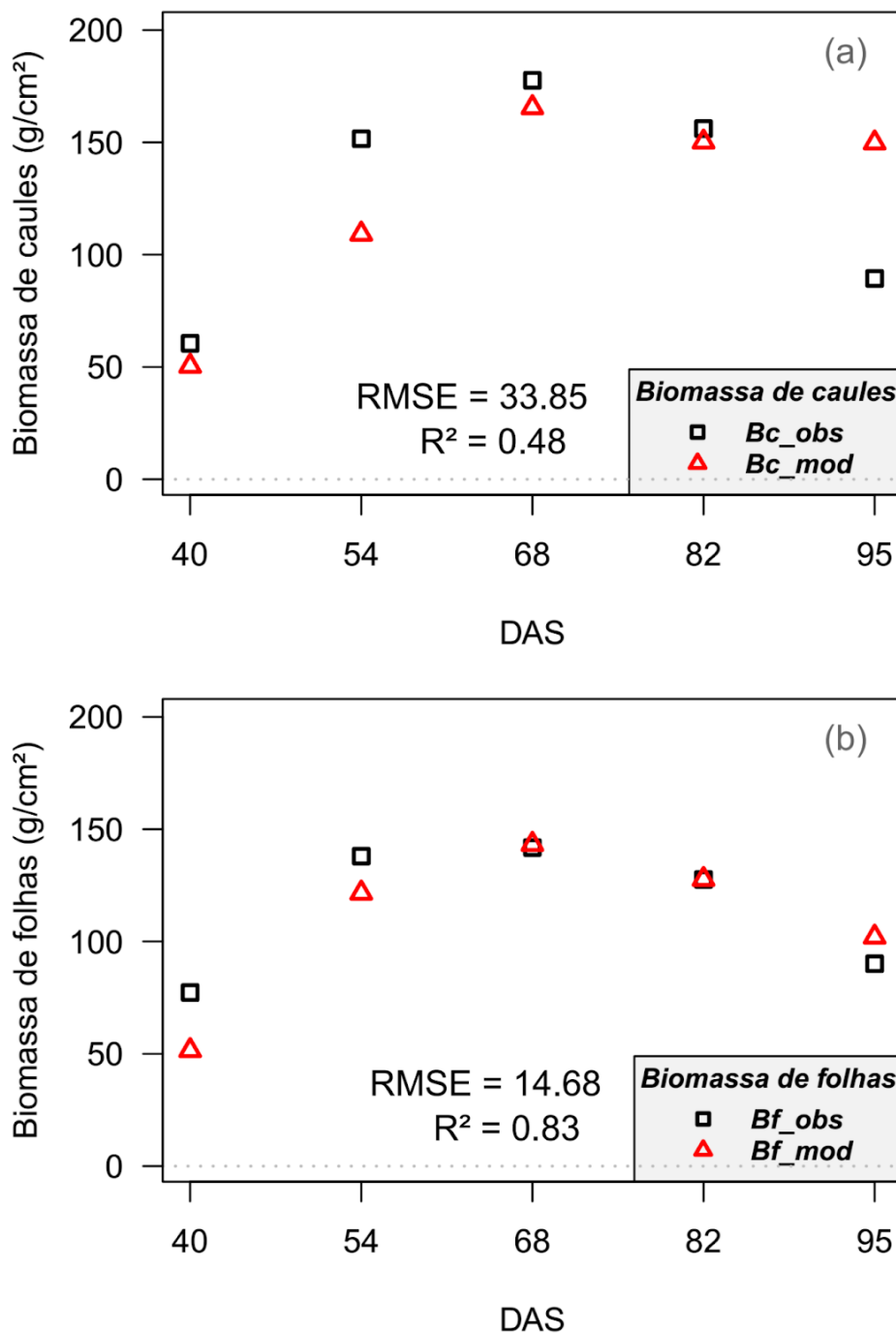


Figura 4: (a) Biomassa de caules (Bc , g/cm^2) e (b) Biomassa de folhas (Bf , g/cm^2) observados (obs, quadrado preto) e simulados (mod, triângulo vermelho) pelo Noah-MP-Crop, em função do número de Dias Após a Semeadura (DAS).

CONCLUSÃO

A representação aproximada do IAF, da biomassa seca de caules e folhas da cultivar de soja 75I77 RSF IPRO (ULTRA) quando comparou-se valores medidos e simulados, demonstra que modelo Noah-MP-Crop, após os ajustes dos parâmetros físicos, fenológicos e fisiológicos foi capaz de representar a expansão das folhas e biomassa seca durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura na safra realizada em 2017-2018 na área experimental da FARON. Entretanto, percebe-se uma tendência do modelo antecipar a fase de germinação e o aparecimento das primeiras folhas, bem como, antecipar a fase de maturação fisiológica, quando ocorre o IAF máximo.

Os resultados promissores obtidos neste trabalho preliminar abrem novas perspectivas e possibilitam uma ampla gama de investigações científicas subsequentes, uma vez que os ajustes e configurações mostrados para o modelo Noah-MP-Crop no município de Vilhena-RO, permitirão o uso desta ferramenta acoplada a modelos meteorológicos, para que sejam realizados estudos de impactos com interação bidirecional. Sendo assim, os efeitos de feedback do ciclo da cultura no clima poderão ser representados de forma mais realista. Além disso, estudos que combinem cenários de áreas com cobertura agrícola (culturas anuais e perenes) ou com a aplicação do sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), poderão mostrar resultados potenciais na mitigação de impactos sob condições futuras do clima.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Processo nº 88887.839245/2023-00 do Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação - Amazônia Legal (PDPG - AMAZÔNIA LEGAL), pela bolsa de Pós-doutorado do segundo autor. Ao PROAP/CAPES; Ao POSGRAD/FAPEAM; Ao CNPQ; Os autores estendem seus agradecimentos ao Laboratório de Modelagem Climática (LMC) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), ao Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LabInstru) da Escola Superior de Tecnologia (EST) da Universidade do Estado do Amazonas (UEA), a Faculdade Marechal Rondon (FARON) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Agricultura Digital (CNPTIA) por fornecerem as estruturas e os materiais para realização das atividades pesquisa a campo.

REFERÊNCIAS

- ALAGARSWAMY, G.; SINGH, P.; HOOGENBOOM, G.; WANI, S. P.; PATHAK, P.; VIRMANI, S. M. Evaluation and application of the CROPGRO-Soybean simulation model in a Vertic Inceptisol. *Agricultural Systems*, v. 63, n. 1, p. 19-32, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(99\)00070-0](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(99)00070-0)>. Acesso em: 12 ago. 2023.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>>. Acesso em: 14 ago. 2023.
- BATISTA, Jessé Alves (2016). Adoção da agricultura de precisão na Amazônia: estudo de caso na região Cone Sul do estado de Rondônia. 2016. 85f. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2016.
- BERGAMASCHI, H.; WHELER, T. R.; CHALLINOR, A. J.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Maize yield and rainfall on different spatial and temporal scales in Southern Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 5, p. 603-613, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000500001>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

BRÉDA, N. J. J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*, v. 54, n. 392, p. 2403-2417, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1093/jxb/erg263>>. Acesso em: 12 ago. 2023.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Séries históricas de área plantada, produtividade e produção, relativas às safras 1976/77 a 2015/16 de grãos, 2001 a 2016 de café, 2005/06 a 2016/17 de cana-de-açúcar. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2&Pagina_objcmsconteudos=3#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 27 de jun. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. O agronegócio e o saldo da balança comercial brasileira. Disponível em: <www.cnpso.embrapa.br/sojaemnumeros/>. Acesso em: 27 de jun. 2023.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. Stages of soybean development. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p. (Special Report, 80).

GODINHO, V. et al. (2012). Custo estimado de produção de milho safrinha, em plantio direto, na região de vilhena, rondônia, safra 2011/2012. Embrapa Rondônia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2012., 2012.

HE, C., VALAYAMKUNNATH, P., BARLAGE, M., CHEN, F., GOCHIS, D., CABELL, R., SCHNEIDER, T., RASMUSSEN, R., NIU, G.-Y., YANG, Z.-L., NIYOGI, D., AND EK, M. (2023): Modernizing the open-source community Noah-MP land surface model (version 5.0) with enhanced modularity, interoperability, and applicability, *EGUsphere* [preprint], Disponível em: <<https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-675>>, 2023. Acesso em: 23 jun. 2023.

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*, v. 18, n. 3-4, p. 235-265, 2003. Disponível em: <[10.1016/s1161-0301\(02\)00107-7](https://doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00107-7)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

LEITE-FILHO, A. T.; SOARES-FILHO, B. S.; DAVIS, J. L.; ABRAHÃO, G. M.; BÖRNER, J. Deforestation reduces rainfall and agricultural revenues in the Brazilian Amazon. *Nature Communications*, v. 12, n. 2591, p. 1-7, 2021. Disponível em: <[10.1038/s41467-021-22840-7](https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

LIU, X., F. CHEN, M. BARLAGE, G. ZHOU, AND D. NIYOGI (2016), Noah-MP-Crop: Introducing dynamic crop growth in the Noah-MP land surface model, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 13,953-13,972, Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/2016JD025597>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

MONTEIRO, B. A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília, DF: INMET, 2009. 530p.

MOREIRA, V. S. et al. Seasonality of soil water exchange in the soybean growing season in southern Brazil. *Scentia Agricola*, v. 72, n. 2, p. 103-113, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0056>>. Acesso em: 15 ago. 2023.

MOREIRA, V. S. et al. Influence of soil properties in different management systems: simulating soybean water changes in the Agro-IBIS model. *Earth Interactions*, v. 22, n. 4, p. 1-19, 2018. Disponível em: <[10.1175/EI-D-16-0033.1](https://doi.org/10.1175/EI-D-16-0033.1)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

MOREIRA, V. S.; CANDIDO, L. A.; MOTA, M. C.; WEBLER, G.; OLIVEIRA, E. P.; ROBERTI, D. R. *Revista Ciência Agrônoma*, v. 54, e20228398, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.5935/1806-6690.20230014>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

MOTA, Marcelo Crestani (2019). *Análise de Risco Edafoclimático para a Soja Cultivada na Região do Cone Sul de Rondônia: Diagnóstico Atual e em Cenários Futuros do Clima*. 187f. Tese (Doutorado em Clima e Ambiente) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, Amazonas. 2019.

NIU, G. Y., YANG, Z. L., MITCHELL, K. E., CHEN, F., EK, M. B., BARLAGE, M., ... & XIA, Y. (2011). The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah⁺MP): 1. Model description and evaluation with local⁺scale measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12). Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2010JD015139>>. Acesso em: 23 jun. 2023.

SILVA, K. E. M.; MOTA, M. C.; BONADEU, F.; SOUZA, K. G.; ALVES, S. M.; MOREIRA, A. G.; UTUMI, M. M. Effect of selective micronutrients on productivity of upland rice varieties. *African Journal of Agricultural Research*, v. 18, n. 5, p. 346-352, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5897/AJAR2022.15994>>. Acesso em: 13 ago. 2023.

WARRACH-SAGI, K., INGWERSEN, J., SCHWITALLA, T., TROOST, C., AURBACHER, J., JACH, L., et al. (2022). Noah-MP with the generic crop growth model Gecros in the WRF model: Effects of dynamic crop growth on land-atmosphere interaction. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 127, e2022JD036518. Disponível em: <<https://doi.org/10.1029/2022JD036518>>. Acesso em: 27 jun. 2023.

ZDZIARSK, A. D. et al. Key Soybean Maturity Groups to Increase Grain Yield in Brazil. *Crop Science*, v. 58, n. 3, p. 1155-1165, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.2135/cropsci2017.09.0581>>. Acesso em: 14 ago. 2023.