



Sistema de monitoramento de produtividade de milho 2ª safra no Mato Grosso

Rogério de Souza Nóia Júnior^(1*), José Lucas Safanelli², Lucas Fernandes de Souza⁽³⁾, Rodrigo Fernando Maule⁽²⁾, Alberto Barretto⁽²⁾, Leonardo Nazário Silva dos Santos⁽⁴⁾, Carolyn Fatima Chaves da Paixão⁽⁴⁾, Leandro Rodrigues da Silva Souza⁽⁴⁾, Anderson Rodrigo da Silva⁽⁵⁾ e Durval Dourado Neto⁽²⁾

¹Universidade Técnica de Munique, Departamento de Agricultura Digital. 85354 Freising, Alemanha. E-mail: rogerio.noia@tum.de

²Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13416-398 Piracicaba, SP. E-mails: zecojs@gmail.com, rfmaule@gmail.com, barretto.alberto@gmail.com e ddourado@usp.br

³Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Brasília, DF. E-mail: lucas.fsouza@agro.gov.br

⁴Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Rio Verde, GO. E-mails: leonardo.santos@ifgoiano.edu.br, carolinyfcpaixao@gmail.com e leandro.souza@ifgoiano.edu.br

⁵Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí. Urutaí, GO. E-mail: anderson.silva@ifgoiano.edu.br

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

RESUMO

História do artigo:

Recebido em 31 de maio de 2022

Aceito em 8 de agosto de 2022

Termos para indexação:

eventos climáticos extremos
segurança alimentar
modelos de simulação de cultura
modelagem agrícola
Zea mays L.

O Brasil é o terceiro maior produtor e exportador mundial de milho, e o estado do Mato Grosso (MT) é responsável por cerca de 50% da produção nacional de milho, com potencial de produzir mais de 40 milhões de toneladas, em mais de 6 milhões de hectares. Quase todo o milho produzido no MT é proveniente da 2ª safra (semeado após a colheita da cultura de verão). Eventos climáticos adversos têm afetado a produção estadual de milho, ameaçando o fornecimento nacional de alimentos. Assim, este estudo objetivou testar o modelo de simulação de cultura da zona agroecológica (MZA-FAO) como ferramenta de monitoramento da produtividade de milho 2ª safra, no Mato Grosso. O sistema de monitoramento da produtividade foi testado em 2021, um ano com baixa produtividade de milho, devido a eventos de seca e a altas temperaturas do ar. O proposto sistema foi capaz de indicar perdas de produtividade em 2021, dois meses antes da colheita. Este resultado indica que possíveis interrupções no fornecimento de alimentos causados por eventos climáticos extremos poderiam ser antecipadas, contribuindo para seu melhor planejamento.

© 2022 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

Com produção média anual superior a 100 milhões de toneladas, o Brasil é o terceiro maior produtor e exportador mundial de milho (FAO stat, 2022). De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, a produção de milho pode superar 115 milhões de toneladas

em 2022, o que corresponde a um aumento de 230% em relação aos 35 milhões de toneladas colhidos na safra de 2002 (CONAB, 2022). O aumento da produção nacional de milho, só foi possível pela introdução da 2ª safra, a qual ocorre em sucessão com cultura de verão, principalmente a soja.

O estado do Mato Grosso (MT) é responsável por cerca

de 50% da produção nacional de milho e, pode superar 40 milhões de toneladas em 2022 em uma área de mais de 6 milhões de hectares (CONAB, 2022). Em comparação, a produção de milho 2ª safra no MT supera a produção nacional de milho da Ucrânia, Índia e México, países ranqueados entre os 10 maiores produtores mundiais da cultura (FAO stat, 2022).

Atualmente, quase todo o milho produzido no MT é proveniente da 2ª safra. Neste sistema, o milho é semeado após a colheita da cultura de verão entre janeiro e abril. Assim, o cultivo do milho pode se estender até meados de julho e agosto, meses normalmente secos. Com o objetivo de minimizar os impactos do clima sobre o milho 2ª safra, os produtores antecipam o início da semeadura da soja para setembro ou começo de outubro, e utilizam cultivares precoces, para que a cultura subsequente de milho seja semeada o mais rápido possível. Entretanto, eventos de secas durante setembro podem atrasar a semeadura da soja e, conseqüentemente, do milho e, assim, reduzir o seu potencial produtivo (Nóia Júnior & Sentelhas, 2019a). A diminuição de produtividade do milho causado pelo atraso da sua semeadura a partir do início de janeiro pode superar 80 kg/ha por dia (Nóia Júnior & Sentelhas, 2019b).

Uma combinação de eventos climáticos extremos durante a safra de 2021 reduziu drasticamente a produção de milho 2ª safra no Brasil e no MT. Eventos de seca e altas temperaturas do ar entre setembro e outubro de 2020 atrasaram a semeadura da soja no MT. Em consequência, houve atrasos na colheita da soja e no plantio do milho 2ª safra. No final de fevereiro de 2021 no MT, apenas 50% da área destinada ao milho 2ª safra havia sido semeada, que contrastou com os 92% do mesmo período do ano anterior (CONAB, 2022). Com isso, as fases de florescimento e enchimento de grãos do milho aconteceram entre maio e julho, período extremamente seco. A produção de milho em 2021 no MT, foi de 32 milhões de toneladas, cerca de 2 milhões inferior a safra anterior. Por isso, o preço da saca de 60 kg de milho superou o valor de R\$100,00 pela primeira vez na história, inflacionando o custo de diversas atividades agropecuárias, como a produção de carne de frango e suínos (CEPEA, 2022).

Um sistema de monitoramento da produtividade de milho 2ª safra no Mato Grosso pode ajudar a antecipar possíveis impactos no fornecimento de alimentos causados por eventos climáticos extremos, como ocorrido na safra 2021. Modelos de simulação de cultura, que foram abordados em diversos trabalhos que identificaram o impacto do clima e sua variabilidade na agricultura brasileira (Battisti et al., 2017; Battisti & Sentelhas, 2019, 2017; Dias & Sentelhas, 2017), poderiam ser também utilizados como base de um sistema de monitoramento da produtividade de milho 2ª safra. Assim, o objetivo deste trabalho foi testar o mo-

delo de simulação de cultura da zona agroecológica (MZA-FAO) como ferramenta de um sistema de monitoramento produtividade de milho 2ª safra no Mato Grosso.

Material e Métodos

Clima e solo

O estado do Mato Grosso é dividido em sete microrregiões (IMEA, 2022) (Figura 1) e distribuídas em duas zonas climáticas segundo a classificação de Köppen (Alvares et al., 2013): Clima de monção, com precipitação pluvial significativa durante todo ano e um mês seco (Am), e clima de savana, com precipitação pluvial significativa durante todo ano e todo o inverno seco (Aw). Dentro de cada uma das sete microrregiões (IMEA, 2022), o município com maior produção de milho foi selecionado como representativo para toda a microrregião (Tabela 1).

Os solos predominantes de cada município foram selecionados a partir do mapa interativo de classificação dos solos do IBGE (IBGE, 2014) (Tabela 1). Informações sobre teor de areia e capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), para cada tipo de solo, foram obtidas do projeto RADAMBRASIL (1974). Temperatura do ar máxima e mínima do ar (°C), radiação solar global ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) e precipitação pluvial (mm), todos em escala diária, foram coletados do sistema de Previsão de Recursos Energéticos Mundiais (NASAPower) (Team, 2021). O sistema NASAPower foi usado, pois é diariamente atualizado e de fácil acesso, sendo adequado para um sistema de monitoramento de produtividade.

Modelo de Simulação de Cultura

A simulação da produtividade do milho 2ª safra foi realizada com o modelo de simulação de crescimento de cultura da zona agroecológica (MZA-FAO) (Doorenbos & Kassam, 1979; Kassam, 1977). Duarte et al. (2019) calibrou e validou o MZA-FAO para utilizando 129 experimentos conduzidos de 2003 a 2009 em 79 locais, em diferentes estados brasileiros, incluindo o MT. Nestes locais, o MZA-FAO apresentou um erro absoluto médio (MAE) de 1504 kg ha^{-1} , acurácia (índice de Willmott) de 0,76, e precisão (r^2) de 0,55. A calibração de Duarte et al. (2019) também foi usada em estudos para determinar os impactos da data de semeadura (Nóia Júnior & Sentelhas, 2019a), variabilidade climática (Nóia Júnior & Sentelhas, 2019b) e seca (Nóia Júnior & Sentelhas, 2020) na produtividade de milho 2ª safra no Brasil.

Condições iniciais de simulação e monitoramento de safra

Para executar o modelo MZA-FAO, o conteúdo inicial de água foi definido por um balanço hídrico iniciado seis meses antes da semeadura do milho 2ª safra (Figura 2). O

Figura 1. Intensidade de área cultivada com milho 2ª safra no Brasil e microrregiões do estado do Mato Grosso (IMEA, 2022). A intensidade de área cultivada é calculada a partir da relação entre área cultivada com milho 2ª safra e a área total de cada município de acordo com o IBGE (2022).

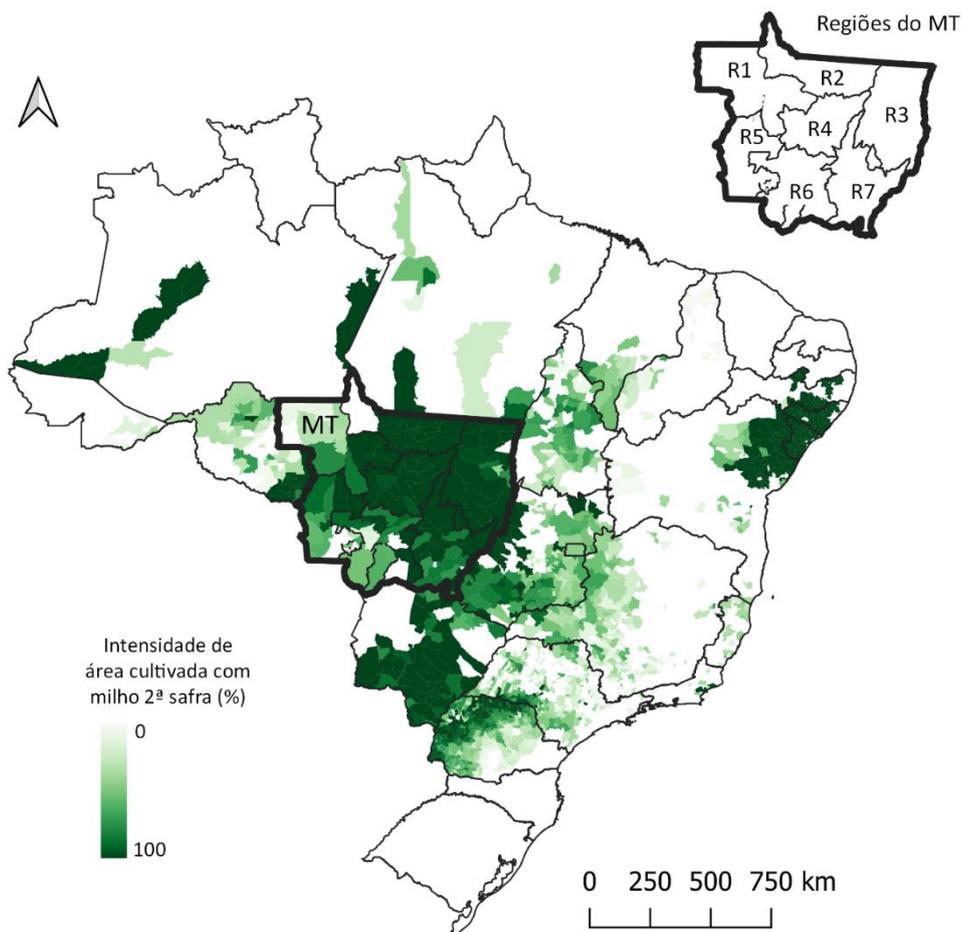


Tabela 1. Microrregiões, municípios e seus respectivos tipos de solos predominante (IBGE, 2014), teor de argila e capacidade de armazenamento de água (RADAMBRASIL, 1974). A CAD foi calculada considerando uma profundidade de 65 cm.

Microrregião	Município	Solo Predominante	Teor de Areia (%)	Capacidade de Armazenamento de Água (CAD, mm)
R1	Brasnorte	Latossolo/Neossolo	77	53
R2	Matupá	Argissolo	9	84
R3	Querência	Latossolo	49	74
R4	Sorriso	Latossolo	38	80
R5	Campo Novo do Parecis	Latossolo	27	83
R6	Diamantino	Latossolo	32	82
R7	Primavera do Leste	Latossolo/Neossolo	58	69

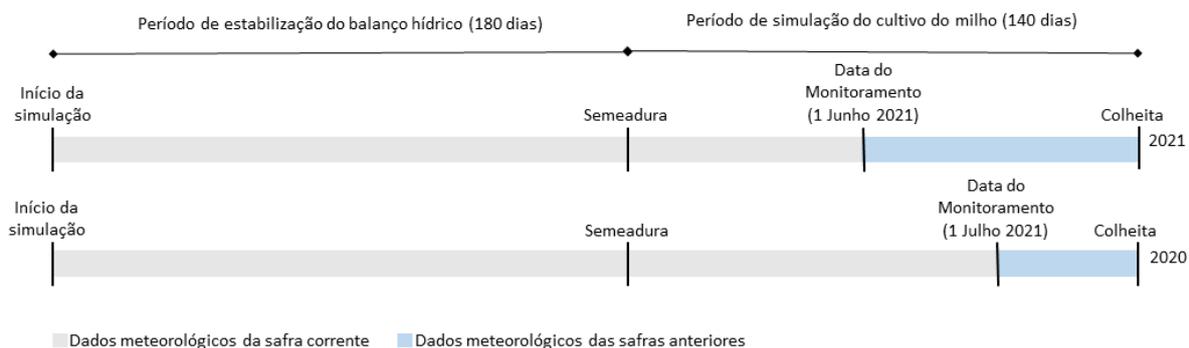
MZA-FAO não simula a fenologia e a duração do ciclo da cultura e, por isso, o ciclo do milho 2ª safra foi fixado em 140 dias, seguindo as recomendações da Conab (CONAB, 2022).

A produtividade de milho 2ª safra foi simulada em diferentes datas de semeadura entre o início de janeiro a março, com intervalos de sete dias. Os dados simulados de

produtividade da soja obtidas para cada data de semeadura, foram agregados de acordo com a curva de progressão da semeadura do milho em cada microrregião do MT, disponibilizadas pelo IMEA (2022).

A produtividade do milho foi simulada em três safras, de 2019 a 2021. A safra 2019 e 2020, foram simuladas para analisar a performance estatística do modelo MZA-FAO. Na

Figura 2. Representação esquemática da simulação de produtividade com MZA-FAO para milho segunda safra. A simulação foi realizada usando dados meteorológicos observados na safra atual (em cinza) e completando os dados meteorológicos ‘futuros’ (que ainda não aconteceram na safra atual, em azul).



safra de 2021, o modelo MZA-FAO foi testado como ferramenta de um sistema de monitoramento da produtividade de milho.

Para monitorar a produtividade de milho 2ª safra em 2021, foi computada a variação da produtividade do milho entre junho e julho de 2021, em relação à safra de 2020. Esta variação de produtividade foi calculada com base em uma relação entre a produtividade simulada de milho para a safra atual e a produtividade simulada para a safra anterior (safra de referência), ambas na mesma data de semeadura.

$$\text{Variação de produtividade}(\%) = \left(\frac{\text{Sim} - \text{Milho}_{\text{safra atual}}}{\text{Sim} - \text{Milho}_{\text{safra de referência}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que, Sim-Milho é a produtividade simulada de milho para a safra atual (Sim-Milho_{safra atual}), e para a safra de referência (Sim-Milho_{safra de referência}).

Para simular a produtividade de qualquer cultura agrícola com o MZA-FAO, é necessário ter valores diários de temperatura do ar máxima e mínima do ar (°C), radiação solar global (MJ m⁻² d⁻¹) e precipitação pluvial (mm) para todo ciclo da cultura. Para as simulações de produtividade de milho 2ª safra deste estudo, foram necessários 320 dias de dados meteorológicos (180 dias para estabilização do balanço hídrico e 140 dias para cobrir o ciclo da cultura do milho). Contudo, quando se aplica o MZA-FAO para simular a produtividade de uma cultura que ainda não foi colhida, é necessário completar o período de cultivo restante com dados meteorológicos de safras passadas, como esquematizado na Figura 2. Assim, a data de monitoramento se refere ao período em que foi realizada a simulação da produtividade do milho (e.g. 1 de junho) durante a safra de 2021, completando-se os dados meteorológicos faltantes (de 1 de junho até a colheita) com dados observados da safra anterior, de 2020 (Sim-Milho_{safra atual}). Ao mesmo tempo, foi simulado a produtividade do milho 2ª safra com todos

os dados meteorológicos provenientes da safra 2020, sendo este valor considerado como Sim-Milho_{safra referência}. Com isso, se garante que a variação de produtividade simulada em diferentes períodos de 2021, com a simulada de 2020, se dá somente devido as diferenças meteorológicas ocorridas durante estas safras.

Avaliação da Performance do modelo de simulação de cultura MZA-FAO

As análises foram realizadas com o software R (R Core Team, 2017). A performance do modelo MZA-FAO para simular a produtividade de milho foi avaliada por meio da comparação da produtividade simulada com a observada, em cada um dos locais estudados. As produtividades usadas são provenientes dado censo agrícola realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022). A performance do MZA-FAO para simular a produtividade de milho no MT foi avaliada empregando os seguintes índices estatísticos: coeficiente de determinação (r²), índice de concordância de Willmott (d) (Willmott et al., 1985), e raiz quadrada média do erro de predição (RMSE).

Resultados e Discussão

Performance do MZA-FAO para simular a produtividade de milho 2ª safra no MT

A simulação da produtividade do milho 2ª safra para diferentes regiões do MT apresentou r² de 0,15, índice d de 0,25 e RMSE de 840 kg ha⁻¹, o que representa um erro de 12% em relação à média observada na região. Battisti et al. (2020) também compararam resultados de simulação de produtividade de milho 2ª safra, com o MZA-FAO, com a produtividade reportada pelo censo do IBGE na região Centro-Oeste, e encontraram um erro médio (55%) e índice d (0,44) superior ao deste estudo. Segundo Battisti et al. (2020), o modelo MZA-FAO simula a produtividade atingível (i.e. máxima produtividade obtida em condições sem limitações nutricionais e fitossanitárias, afetada somente

pelas condições climáticas) enquanto que a produtividade reportada pelo censo agropecuário do IBGE considera as perdas de produtividade causadas por doenças, pragas e déficit nutricional. Estes fatores podem explicar, por exemplo, as diferenças entre a produtividade simulada e observada na região 3 (R3 – Querência-MT) em 2019, R5 (Campo Novo do Parecis-MT) e R6 (Diamantino-MT) em 2020 (Figura 3).

Os valores observados foram obtidos a partir do censo agropecuário realizado pelo IBGE (IBGE, 2022), e os valores simulados obtidos de simulações com o modelo MZA-FAO. A microrregião 1 (R1) é representada por Brasnorte-MT, R2 por Matupá-MT, R3 por Querência-MT, R4 por Sorriso-MT, R5 por Campo Novo do Parecis, R6 por Diamantino-MT e R7 por Primavera do Leste – MT.

Uso do modelo MZA-FAO como ferramenta para monitoramento da produtividade de milho 2ª safra

O modelo MZA-FAO foi aplicado para monitoramento da produtividade do milho 2ª safra durante a safra de 2021. Para caracterizar as condições meteorológicas da safra de 2021 no MT, foi plotado a média mensal da temperatura do ar e da chuva em 2021 (asteriscos vermelhos) e para o histórico de 20 anos (de 2000 a 2020, boxplots), em Primavera do Leste – MT (R7), apresentados na Figura 4.

A temperatura do ar média entre os meses de janeiro (período de pré-semeadura) e fevereiro (início da semeadura 2 m de altura), em 2021, foi quase 1 °C maior que a média histórica. No mesmo período, a precipitação pluvial, média diária, foi 30% inferior ao esperado. A precipitação pluvial continuou abaixo da média em março e abril,

Figura 3. Valores observados e simulados de produtividade do milho 2ª safra nas safras (a) 2018/2019 (colhida em 2019) e (b) 2019/2020 (colhida em 2020).

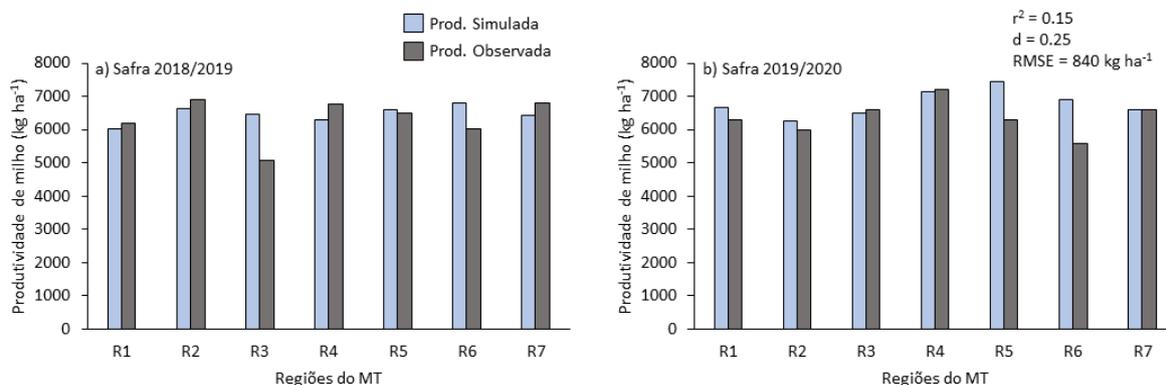
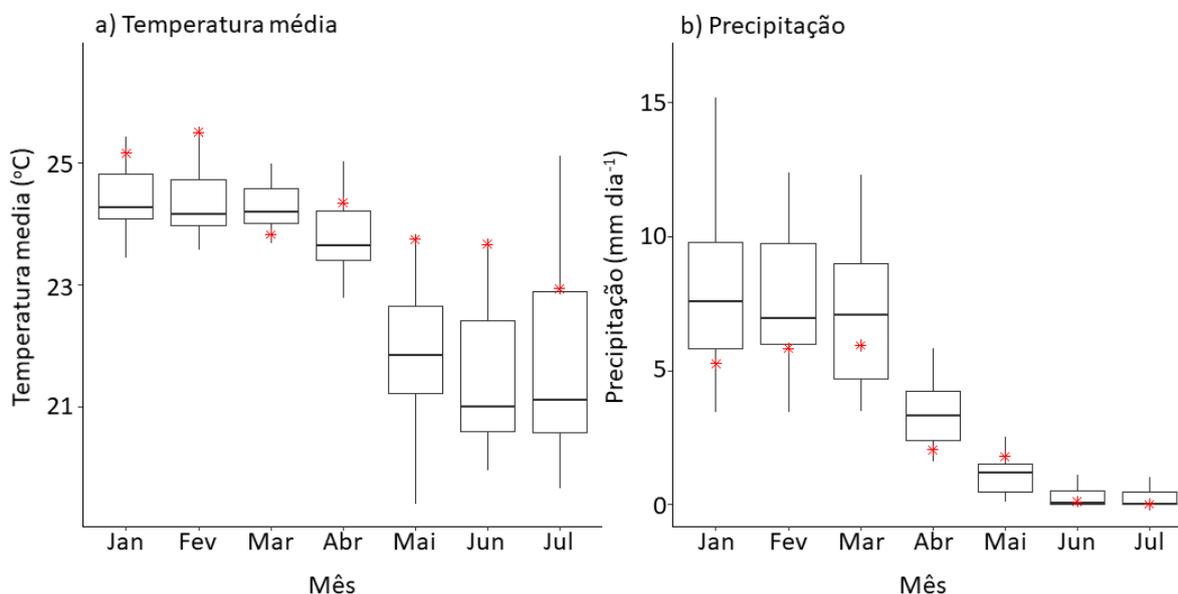


Figura 4. Condições meteorológicas durante o milho 2ª safra em 2021, Primavera do Leste - MT. (a) temperatura média e (b) precipitação acumulada mensal durante o cultivo do milho 2ª safra de janeiro a julho de 2021. Boxplots representam a variação histórica mensal de 2000 a 2020 de (a) temperatura média e (b) precipitação. Os asteriscos vermelhos representam os valores mensais registrados em 2021 de (a) temperatura média e (b) precipitação.



período de estabelecimento do milho 2ª safra (Figura 4b). Em maio durante o florescimento do milho, a precipitação pluvial foi acima do esperado para a região, mas o valor registrado de cerca de 2 mm d⁻¹ (60 mm por mês), não foi adequado para atender a demanda hídrica do milho, que pode superar 120 mm em 30 dias durante este estágio fenológico. As altas temperaturas do ar associadas aos baixos volumes de precipitação pluvial de maio a julho, durante as fases de florescimento, enchimento de grãos e maturação do milho, afetaram mais o crescimento da cultura na região de Primavera do Leste. Segundo a Conab, a produtividade de milho no estado do MT em 2021 foi de 5600 kg ha⁻¹, a menor desde 2016.

A Conab realiza o monitoramento do milho 2ª safra, a nível estadual, com atualizações quinzenais da produtividade durante a safra. O IBGE realiza o censo agrícola, e reporta a produtividade média mensal a nível municipal, mas os resultados são publicados somente um ano e meio após a colheita da safra. Assim, por meio das instituições públicas brasileiras ainda não é possível ter uma estimativa de produtividade em escala espacial inferior ao tamanho de um estado brasileiro. Neste estudo, por outro lado, testou-se a aplicação do modelo MZA-FAO para estimar a produtividade de milho 2ª safra em microrregiões no MT durante a safra de 2021.

O monitoramento da produtividade de milho em diferentes regiões do MT em 2021 foi realizado quinzenalmente, de junho a julho. As simulações para safra de milho em 2021 indicavam produtividade abaixo das safras anteriores (2020 e 2019) desde o início de junho, dois meses antes do fim da colheita no estado (Figura 5). As estimativas de produtividade de milho 2ª safra para 2021, continuaram a se

reduzir até o final da colheita, em julho. As incertezas relacionadas as estimativas (área sombreada ao redor da linha de estimativa em 2021, cor verde) durante o monitoramento do milho 2ª safra em 2021, se reduziram à medida que o final do período de colheita se aproximou. Isso ocorre porque o número de dias simulados do ciclo do milho com dados climáticos observados na safra corrente aumenta à medida que se aproxima do fim da safra.

De acordo com as estimativas do MZA-FAO, a produtividade do milho 2ª safra em 2021 foi entre 10 e 17% menor que a safra de 2020 e, variou de acordo com a região. A menor produtividade em 2021 era indicada nos monitoramentos realizados no começo de junho, quase dois meses antes do final da colheita (Figura 6). Os dados oficiais da Conab, indicaram que a produtividade de milho 2ª safra no MT em 2021 foi cerca de 12% menor que a safra colhida em de 2020, similar aos resultados encontrados neste estudo. As regiões centrais do estado do MT, representadas por Sorriso e Campo Novo do Parecis, foram as que apresentaram a menor diminuição de produtividade de milho 2ª safra em 2021, quando comparado com 2020 (Figura 7).

Considerações finais

Neste trabalho, o modelo de simulação de cultura MZA-FAO foi testado como principal ferramenta para um sistema de monitoramento de produtividade do milho 2ª safra em 2021, um ano marcado por eventos climáticos extremos e baixa produtividade da cultura. Usando um local representativo para cada microrregião produtora de milho do MT (IMEA, 2022), foi possível demonstrar que o proposto

Figura 5. Monitoramento da produtividade de milho 2ª safra em regiões do MT, 2021. Para cada uma das sete microrregiões, é apresentado a produtividade média observada nas safras de 2019 (linha vermelha) e 2020 (linha amarela) (IBGE, 2022), e a produtividade simulada ou estimativas de produtividade do milho 2ª safra em 2021. A estimativa de produtividade (linha verde) foi computada usando dados meteorológicos observados na safra 2021 (até a data do monitoramento) e completando até o final do ciclo com dados meteorológicos de cinco safras anteriores a 2021 (2016–2020). As incertezas (área sombreada) é o desvio padrão da produtividade obtida para cada uma das simulações completando os dados meteorológicos com as safras de 2016 a 2020.

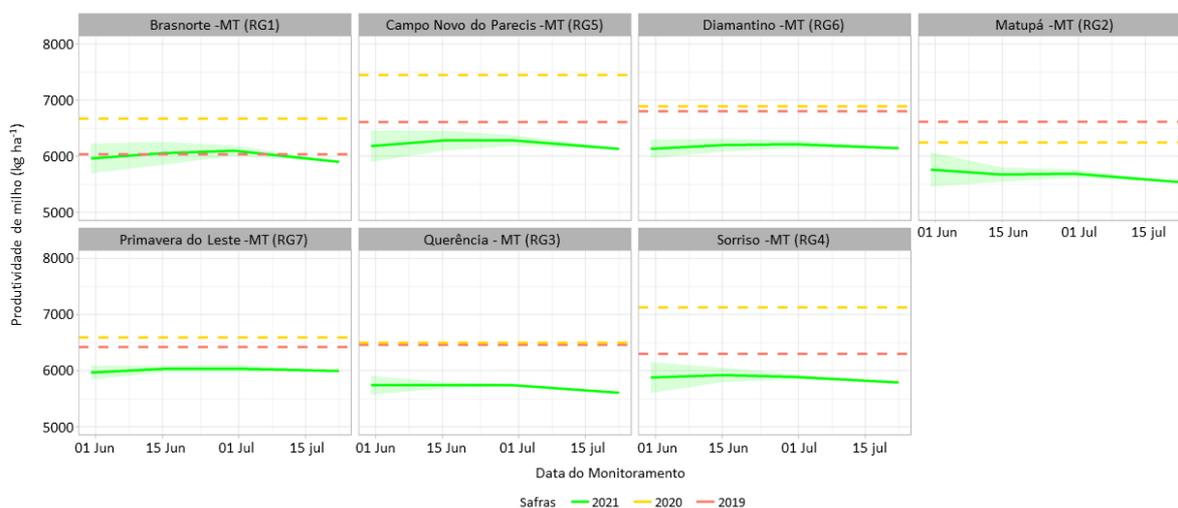


Figura 6. Variação da produtividade de milho 2ª safra simulada em 2021, em relação a observada em 2020 (IBGE, 2022).

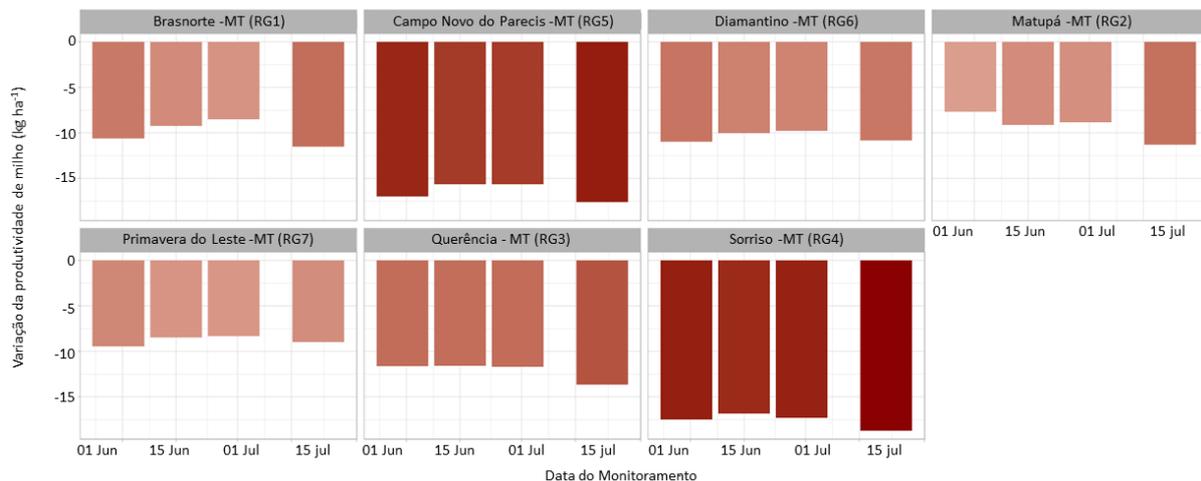
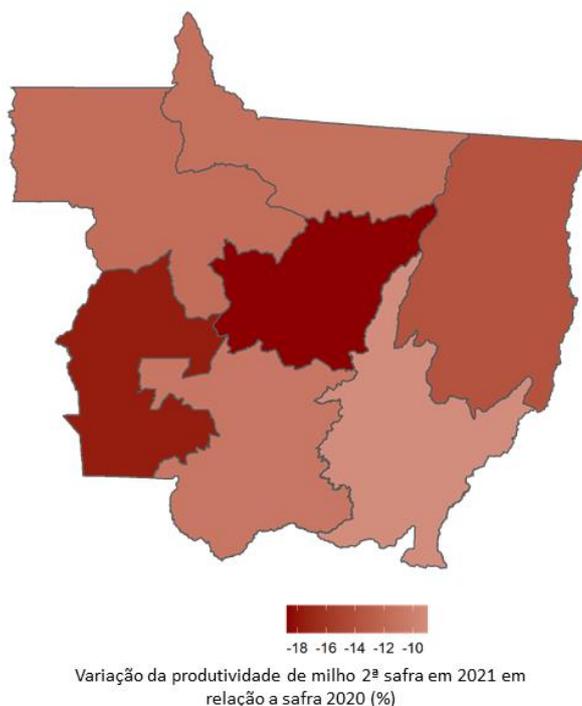


Figura 7. Representação espacial da variação da produtividade de milho 2ª safra simulada em 2021, em relação a observada em 2020 (IBGE, 2022).



sistema de monitoramento, foi capaz de indicar perdas de produtividade em 2021 em junho, dois meses antes do final da colheita. O método proposto utiliza um modelo de simulação de cultura (MZA-FAO) com coeficientes de cultura previamente calibrados, e baseado em dados meteorológicos públicos e facilmente acessíveis por meio do sistema NASAPOWER (Team, 2021). Futuros estudos podem testar a implementação deste sistema em todo território brasileiro, e em escala espacial inferior a testada neste trabalho. Outra possibilidade é o acoplamento de modelos de previsão climática com o proposto sistema, os quais podem ser utilizados para melhorar a capacidade de estimativa

da produtividade final. Assim, possíveis impactos no fornecimento de alimentos causados por eventos climáticos extremos poderiam ser antecipados.

Contribuição dos autores

R. S. NÓIA JÚNIOR e J. L. SAFANELLI redação do artigo. R. S. NÓIA JÚNIOR, J. L. SAFANELLI e L. F. de SOUZA concepção do trabalho, aquisição e análise dos dados. R. F. MAULE, A. BARRETO, L. N. S. DOS SANTOS, C. F. C. DA PAIXÃO, L. R. DA S. SOUZA, A. R. DA SILVA e D. D. NETO concepção do trabalho e revisão do artigo.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Grupo de Políticas Públicas da ESALQ/USP, IFGoiano e a CONAB pelo incentivo na execução do trabalho.

Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; DE MORAES GONÇALVES, J.L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711–728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- BATTISTI, R.; FERREIRA, M.D.P.; TAVARES, É.B.; KNAPP, F.M.; BENDER, F.D.; CASAROLI, D.; ALVES JÚNIOR, J. Rules for grown soybean-maize cropping system in Midwestern Brazil: Food production and economic profits. *Agricultural Systems*, v. 182, 102850, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102850>
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C. Characterizing Brazilian soybean-growing regions by water deficit patterns. *Field Crops Research*, v. 240, p. 95–105, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.06.007>
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. *Agronomy Journal*, v. 109, p. 1612–1622, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0023>
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; BOOTE, K.J.; DE, G. M.; CÂMARA, S.; FARIAS, J.R. B.; BASSO, C.J. Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in Southern Brazil. *European Journal of Agronomy*, v. 83, p. 1–14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.004>
- CEPEA. Center for Advanced Studies in Applied Economics: Commodities prices [WWW Document]. *Agricultural series*, 2022. Available at: <https://www.cepea.esalq.usp.br/en/> (Accessed in 4.4.22).
- CONAB, 2022. National Supply Company: Agricultural information system [WWW Document]. Available at <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra/safra-serie-historica> (Accessed in 2.2.22).
- DIAS, H.B.; SENTELHAS, P.C. Evaluation of three sugarcane simulation models and their ensemble for yield estimation in commercially managed fields. *Field Crops Research*, v. 213, p. 174–185, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.022>
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. (Ed.). *Yield response to water*. Baghdad: International Expert Consultation, 1979. p. 258–279
- DUARTE, Y.C.N.; SENTELHAS, P.C. Intercomparison and Performance of Maize Crop Models and Their Ensemble for Yield Simulations in Brazil. *International Journal of Plant Production*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00073-5>
- FAO stat. **FAOSTAT**: FAO statistical databases [WWW Document], 2022. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#home> (accessed in 6.6.22).
- IBGE. Brazilian Institute of Geography and Statistics [WWW Document]. Municipal agricultural research, 2022. Available at <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca/brasil> (accessed in 2.2.22).
- IBGE. **Mapas interativos**: solos [WWW Document], 2014. Available at <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos> (accessed 6.20.18).
- IMEA. Instituto Mato-grossense de Economia Agropecuária [WWW Document], 2022. Available at <https://www.imea.com.br/imea-site/quem-somos> (Accessed in 4.4.22).
- KASSAM, A.H. **Net biomass production and yields of crops**. Soil Resources, Management and Conservation Service, Land and Water Development Division, FAO, 1974. 38p.
- NÓIA JÚNIOR, R.S.; SENTELHAS, P.C. Yield gap of the double-crop system of main-season soybean with off-season maize in Brazil. *Crop and Pasture Science*, 71, 445–458, 2020.
- NÓIA JÚNIOR, R.S.; SENTELHAS, P.C. Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. *European Journal of Agronomy*, v. 103, 2019a. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.12.008>
- NÓIA JÚNIOR, R.S.; SENTELHAS, P.C. Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. *Agricultural Systems*, v. 173, p. 254–267. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.012>
- R CORE TEAM. **R**: A Language and Environment for Statistical Computing, 2017. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <https://doi.org/http://www.R-project.org/>
- RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. v.10. Rio de Janeiro: Folha AS.21-SANTARÉM, 1976. 507p.
- TEAM, P.P. **The POWER Project** [WWW Document], 2021. NASA Prediction of Worldwide Energy Resources. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/>
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, v. 90, 8995, 1985. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>

REFERENCIAÇÃO

NÓIA JÚNIOR, R. S.; SAFANELLI, J. L.; SOUZA, L. F.; MAULE, R. F.; BARRETO, A.; SANTOS, L. N. S.; PAIXÃO, C. F. C.; SOUZA, L. R. S.; SILVA, A. R.; DOURADO NETO, D. Sistema de monitoramento de produtividade de milho 2ª safra no Mato Grosso. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.30, e027074, 2022.



Crop yield monitoring system for off-season maize in Mato Grosso state, Brazil

Rogério de Souza Nóia Júnior^(1*), José Lucas Safanelli², Lucas Fernandes de Souza⁽³⁾, Rodrigo Fernando Maule⁽²⁾, Alberto Barreto⁽²⁾, Leonardo Nazário Silva dos Santos⁽⁴⁾, Caroliny Fatima Chaves da Paixão⁽⁴⁾, Leandro Rodrigues da Silva Souza⁽⁴⁾, Anderson Rodrigo da Silva⁽⁴⁾ and Durval Dourado Neto⁽²⁾

¹Universidade Técnica de Munique, Departamento de Agricultura Digital. 85354 Freising, Germany. E-mail: rogerio.noia@tum.de

²Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Avenida Pádua Dias, 11, CEP 13416-398 Piracicaba, SP, Brazil. E-mails: zecojls@gmail.com, rfmaule@gmail.com, barretto.alberto@gmail.com e d.dourado.n@gmail.com

³Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB. Brasília, DF, Brazil. E-mail: lucas.fsouza@agro.gov.br

⁴Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde. Rio Verde, GO, Brazil. E-mails: leonardo.santos@ifgoiano.edu.br, carolinyfcpaixao@gmail.com e leandro.souza@ifgoiano.edu.br

⁵Instituto Federal Goiano, Campus Urutá. Urutá, GO, Brazil. E-mail: anderson.silva@ifgoiano.edu.br

(*Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 31 May 2022

Accepted 8 August 2022

Index terms:

extreme weather events

food security

crop models

agricultural modeling

Zea mays L.

ABSTRACT

Brazil is the third largest producer and exporter of maize in the world. The state of Mato Grosso (MT) is responsible for about 50% of the national production of maize, with the potential to produce over 40 million tons in more than 6 million hectares. Almost all maize produced in MT comes from off-season (sown after the summer crop is harvested), and adverse weather events have affected state production of this crop, threatening the national food supply. Thus, the goal of this study was to test the agroecological zone crop simulation model (MZA-FAO) as the main tool of an off-season maize crop monitoring system in Mato Grosso, Central-West Brazil. The monitoring system was tested in 2021, a year with low maize yield due to drought and high temperatures events. The proposed monitoring system indicated yield losses already in June of 2021, two months before the end of the crop harvest. This result indicates that possible disruptions in food supply caused by extreme weather events could be anticipated, helping their ahead planning.

© 2022 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

NÓIA JÚNIOR, R. S.; SAFANELLI, J. L.; SOUZA, L. F.; MAULE, R. F.; BARRETO, A.; SANTOS, L. N. S.; PAIXÃO, C. F. C.; SOUZA, L. R. S.; SILVA, A. R.; DOURADO NETO, D. Sistema de monitoramento de produtividade de milho 2ª safra no Mato Grosso. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.30, e027074, 2022.