

MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE MILHO EM MATO GROSSO DO SUL

Marco Aurélio Argenta Mocinho Júnior¹, Willian Pereira Centurion¹, Arthur Ferreira Sousa Prado¹, Aladio Feuser Schueroff¹, Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido², Cicero Teixeira Silva Costa²

RESUMO: O milho representa um dos principais cereais cultivado e consumido no mundo, em virtude do seu alto potencial produtivo, composição química e valor nutritivo. No entanto, a sua produção é altamente dependente do clima. Objetivou-se estimar a produção do milho por meio da calibração de modelos estatísticos para o Estado de Mato Grosso do Sul - MS. As cidades estudadas foram Chapadão do Sul, Costa Rica, Ponta Porã e Sidrolândia. As variáveis climáticas utilizadas foram temperatura do ar, a precipitação pluvial, evapotranspiração potencial, déficit e o excesso hídrico no período de 2003 - 2017 entre fevereiro e maio. Os modelos foram calibrados e comparados pelos métodos KNN e RANDOM. A acurácia e a precisão dos modelos foram analisadas pelo erro percentual médio e pelo coeficiente de determinação ajustado, respectivamente. As variáveis que mais influenciaram na produção do milho foram o déficit hídrico e a temperatura do ar. É possível estimar a produção do milho com regressões lineares múltiplas utilizando variáveis climáticas. Chapadão do Sul e Costa Rica apresentam altos índices de déficit hídrico, enquanto Ponta Porã e Sidrolândia baixos déficits. O modelo mais acurado para estimar a produção do milho nas cidades foi o método RANDOM.

PALAVRAS-CHAVE: Clima; Produtividade; Modelagem.

AGROMETEOROLOGICAL MODELS FOR FORECASTING MAIZE PRODUCTION IN MATO GROSSO DO SUL

ABSTRACT: Corn represents one of the main cereals cultivated and consumed in the world, due to its high productive potential, chemical composition and nutritional value. However, its

¹ Estudante do curso de Agronomia do IFMS *campus* Naviraí. Rua Hilda, 203, Naviraí-MS. CEP. 79950-000, Email: marcoaurelio18@live.com

² Docentes do IFMS *campus* Naviraí-MS. Rua Hilda, 203, Naviraí-MS. CEP. 79950-000, Email: cicero.costa@ifms.edu.br

production is highly climate dependent. The objective of this study was to estimate maize yield by calibrating statistical models for the state of Mato Grosso do Sul - MS. The cities studied were Chapadão do Sul, Costa Rica, Ponta Porã and Sidrolândia. The climatic variables used were air temperature, rainfall, potential evapotranspiration, deficit and excess water from 2003 to 2017 between February and May. The models were calibrated and compared by the KNN and RANDOM methods. The accuracy and precision of the models were analyzed by the mean percentage error and the adjusted determination coefficient, respectively. The variables that most influenced corn production were water deficit and air temperature. It is possible to estimate corn yield with multiple linear regressions using climate variables. Chapadão do Sul and Costa Rica have high levels of water deficit, while Ponta Porã and Sidrolândia have low deficits. The most accurate model for estimating maize yield in cities was the RANDOM method.

KEYWORDS: Climate; Yield; Modeling.

INTRODUÇÃO

A produção do milho e das demais culturas agrícolas é altamente dependente do clima. Dentre os elementos meteorológicos que mais influenciam estão a temperatura do ar e a precipitação pluvial (MAÑAS, 1993). Enquanto altas temperaturas do ar reduzem o desenvolvimento da planta, o estresse hídrico durante o florescimento e enchimento dos grãos do milho reduz a produtividade (GOHARI et al., 2013). Com relação à quantidade necessária de água consumida pela planta durante seu ciclo, a mesma está em torno de 600 mm (BERGAMASCHI et al., 2006), desde que seja bem distribuída.

A cultura do milho é de fundamental importância socioeconômica para o Brasil; que possui uma área de 17,2 milhões de ha⁻¹, uma produção de 98,5 milhões de toneladas, e uma produtividade média de 5,7 t ha⁻¹. A região Centro-Oeste, principal produtora nacional de milho, o plantio é realizado na janela climática ideal para se obter altas produtividades. A expectativa de rendimento é 17,8% superior à safra 2017/18, e uma expectativa de crescimento de 26%.

A região Centro Oeste do Brasil apresenta uma área cultivada 8,3 milhões de hectares, produz 52 milhões de toneladas com rendimentos na ordem de 5,3 t ha⁻¹. Dentre os Estados inseridos no Centro Oeste, Mato Grosso do Sul - MS destaca-se no cultivo de milho em regime sequeiro e em rotação com a cultura da soja (CONAB, 2019).

Apesar dos problemas climáticos que limitam o cultivo de milho em MS, o Estado tem uma área cultivada com 1,8 milhões de hectares, produz 10 milhões de toneladas com rendimentos na ordem de 5,4 t ha⁻¹ (CONAB, 2019), sendo inferior aos demais em termos de produtividade. As lavouras mais tardias, cultivadas nos municípios de Nova Andradina, Ivinhema, Eldorado, Sidrolândia, Bonito, Miranda, Dourados, Douradina, Rio Brillante e Maracaju, foram impactadas pela ausência de precipitação registrada a partir de maio de 2019.

A produção agrícola é altamente dependente do clima, e dentre os elementos climáticos que mais influenciam são a temperatura do ar e a precipitação pluvial (MAÑAS, 1993); pois altas temperaturas do ar reduzem o desenvolvimento da planta e o estresse hídrico durante o florescimento e enchimento dos grãos do milho pode reduzir a produtividade em até 70% (GOHARI et al., 2013). A quantidade necessária de água consumida pela planta durante seu ciclo está em torno de 600 mm (BERGAMASCHI et al., 2006), desde que seja bem distribuída ao longo do cultivo.

Uma abordagem interessante é usar estatísticas de modelos em função das condições climáticas para realizar previsões de produção do milho (LOBELL e BURKE, 2010). Dentre estas se destaca a utilização de modelos agrometeorológicos, os quais são alimentados principalmente por informações climáticas, correlacionando-as com a produção (VICTORINO et al., 2015). O referido trabalho teve como objetivo estimar a produção do milho por meio da calibração de modelos estatísticos para o Estado de Mato Grosso do Sul - MS. Assim sendo, objetivou-se neste trabalho calibrar modelos de previsão da produção da cultura do milho usando elementos climáticos em 4 cidade de Mato Grosso do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

Para calibração dos modelos foram utilizadas séries históricas de dados climáticos e da produção de milho nas cidades de Chapadão do Sul, Costa Rica, Ponta Porã e Sidrolândia, ambas em MS, entre os anos de 2003 a 2017 e durante os meses de fevereiro a maio. Os dados de produção do milho foram obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados climáticos de temperatura do ar (°C) mínima, máxima e média e precipitação (mm) foram extraídos da plataforma NASA/POWER (www.power.larc.nasa.gov/). Os municípios foram selecionados por apresentarem as maiores produções de milho no Estado. Foram utilizados modelos de Regressão Linear Múltipla (RLM) para modelagem da produção de milho (Equação 1).

$$Y = CL + a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + d \times X_4 + \varepsilon, \quad \text{Eq. 1}$$

Os modelos foram avaliados pelos seguintes índices: 1) MAPE (%) - Mean Absolute Percentage Error, 2) R^2 - Coeficiente de determinação ajustado, 3) d - Agreement index (Willmott), segundo as equações 2, 3 e 4:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{Y_{est_i} - Y_{obs_i}}{Y_{obs_i}} \right| \times 100 \right)}{n} \quad \text{Eq. 2}$$

$$AdjustedR^2 = \left[1 - \frac{(1-R^2) \times (n-1)}{n-k-1} \right] \quad \text{Eq. 3}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Y_{obs_i} - Y_{est_i})^2}{\sum_{i=1}^N (|Y_{est_i} - \bar{Y}| + |Y_{obs_i} - \bar{Y}|)^2} \quad \text{Eq. 4}$$

Em que: Y_{est_i} - é a variável estimada; Y_{obs_i} - é a variável observada; e n - é o número de dados (anos); k é o número de variáveis independentes na regressão; R^2 - é o coeficiente de determinação; \bar{y} - média da variável produção.

Os municípios foram selecionados porque representam as maiores produções de milho em Mato Grosso do Sul (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1. Municípios estudados com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes em Mato Grosso do Sul – MS – Brasil.

Localidades	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Estado
Chapadão do Sul	18° 47' 39" S	42° 37' 22" W	790	MS
Costa Rica	18° 32' 38" S	53° 07' 45" W	641	MS
Ponta porá	22° 32' 10" S	55° 43' 32" W	655	MS
Sidrolândia	20° 55' 55" S	54° 57' 41" W	484	MS

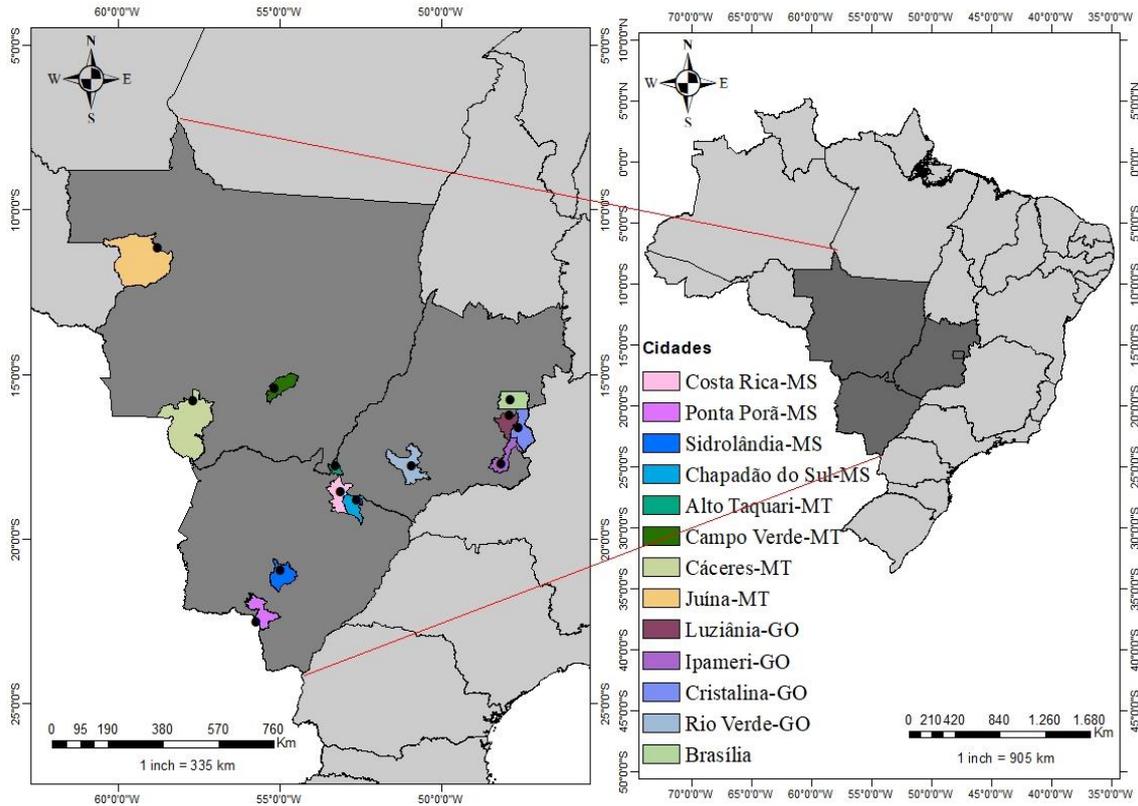


Figura 1. Mapa representativo da região Centro-Oeste, Brasil.

A evapotranspiração foi estimada pelo método de Camargo (1991), conforme a eq. 5.

$$ETP = 0,01 \times Q_G \times T_{med} \times N \tag{Eq. 5}$$

Em que: Q_G é a radiação no topo da atmosfera; T_{med} é a temperatura média do ar; N é o número de dias.

Após a determinação da evapotranspiração potencial (ETP), foram gerados o balanço hídrico (BH) por Thornthwaite e Mather (1955) com a capacidade de armazenamento igual a 50 mm. O balanço hídrico foi determinado de acordo com as equações 6 a 11 que estão descritas abaixo:

$$\text{if } (P - ETP)_i < 0 = \begin{cases} NAC_i = NAC_{i-1} + (P + ETP)_i \\ STO_i = WC_e \frac{(NAC_i)}{WC} \end{cases} \tag{Eq. 6}$$

$$\text{if } (P - ETP)_i \geq 0 = \begin{cases} STO_i = (P + ETP)_i + STO_{i-1} \\ NAC_i = WC \ln \frac{(STO_i)}{WC} \end{cases} \tag{Eq. 7}$$

$$ALT_i = STO_i - STO_{i-1} \tag{Eq. 8}$$

$$AET_i = \begin{cases} P + |ALT_i|, & \text{if } ALT < 0 \\ ETP_i, & \text{if } ALT \geq 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 9}$$

$$DEF = ETP - AET; \quad \text{Eq. 10}$$

$$SUR_i = \begin{cases} 0, & \text{if } ALT < 0 \\ (P - ETP)_i - ALT_i, & \text{if } WC = 0 \end{cases} \quad \text{Eq. 11}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maior índice de chuva entre 2003 - 2016 foi em Juína, enquanto os menores índices ocorreram em Ipameri e Cáceres com chuva na média de 1.000 mm (Figura 2A).

A temperatura média em Cáceres foi a mais alta na região Centro Oeste, isso está relacionado com a baixa quantidade de chuva na região (Figura 2B). O déficit hídrico no Centro Oeste se manteve mais uniforme em Mato Grosso, Goiás e no Distrito Federal, com variações entre 200 a 400 mm. Houve uma pequena variação em Mato Grosso do Sul, onde o déficit foi abaixo de 200 mm (Figura 2C). O maior excedente hídrico foi em Cáceres, com 800 mm, por ser a cidade com maior precipitação pluviométrica. Sidrolândia não apresentou uma alta taxa de excedente hídrico, em que variou entre 100 a 200 mm (Figura 2D).

Com base nos resultados apresentados, pode-se observar que o Estado do Mato Grosso do Sul apesar de apresentar uma precipitação superior às necessidades hídricas do milho, a má distribuição das chuvas interferem diretamente no potencial produtivo das culturas agrícolas porque ocorre períodos de déficit hídrico (veranicos). E quando este déficit coincide com o florescimento e enchimento de grãos, os rendimentos da cultura do milho pode ser inferior a 70% do potencial agrícola da cultura.

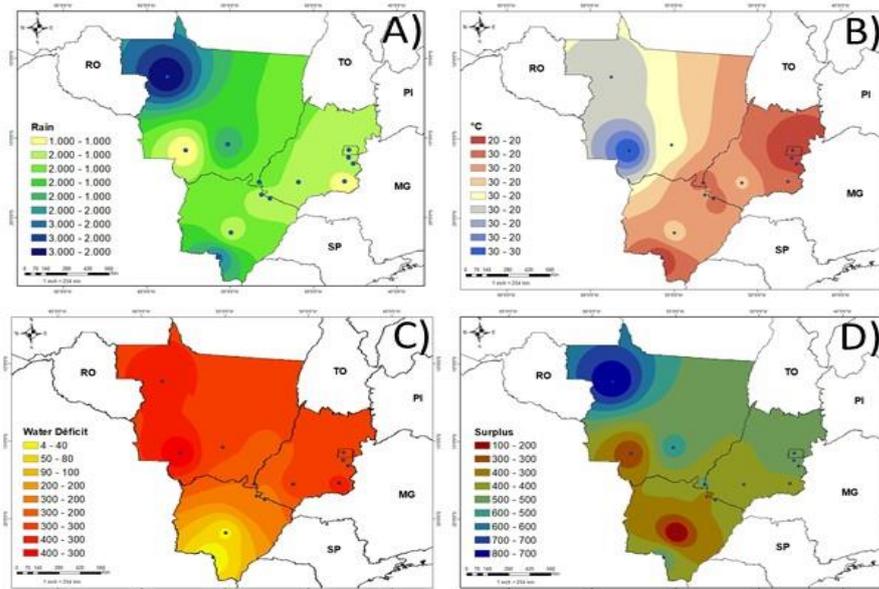


Figura 2. Variação da temperatura do ar, precipitação, Deficiência e Excedente hídrico na região Centro-Oeste. a) Precipitação; b) Temperatura; c) Déficit; d) Excedente hídrico.

A temperatura média do ar em Mato Grosso do Sul (MS) é de 20 °C. Janeiro foi o mês mais chuvoso do Estado com excedente hídrico de dezembro a março. Agosto foi o mês com maior deficiência hídrica em MS. Ponta Porã apresentou menor taxa de déficit hídrico entre os municípios estudados (Figura 3).

A variação climática durante o ano foi semelhante entre os municípios de Chapadão do Sul e Costa Rica e entre Ponta Porã e Sidrolândia. As cidades de Ponta Porã e Sidrolândia, apresentaram pequena taxa de déficit hídrico. A média mensal da precipitação nos municípios estudados foi de 250 mm, com maiores quantidades nos meses de dezembro e janeiro (Figura 3).

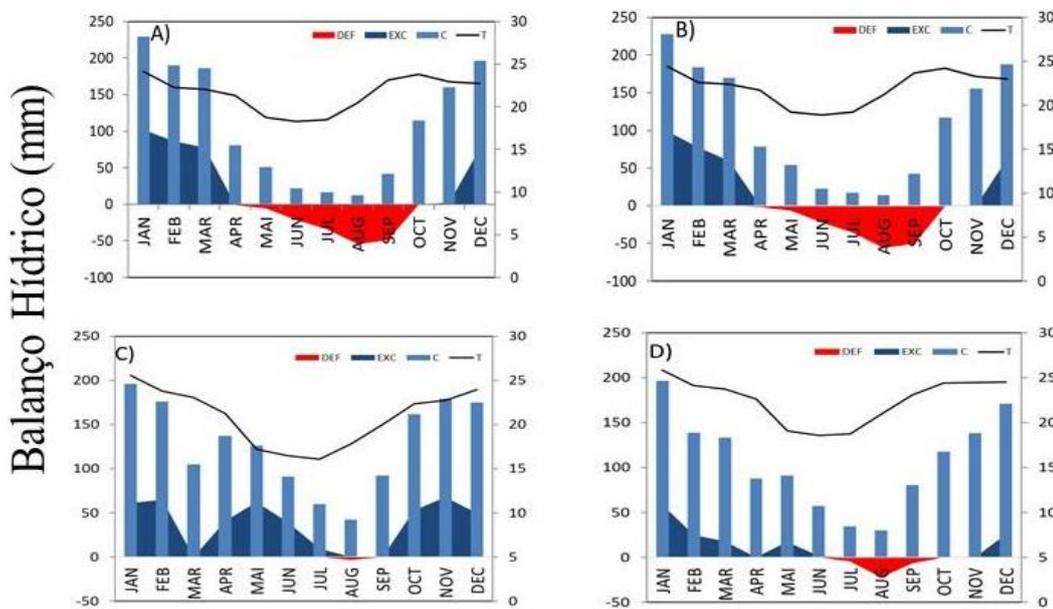


Figura 3. Variação da temperatura do ar, precipitação, Deficiência e Excedente hídrico em Mato Grosso do Sul. a) Chapadão do Sul; b) Costa Rica; c) Ponta Porã; d) Sidrolândia.

O modelo RANDON apresentou maior semelhança ao ser comparado com a produção real de milho em Chapadão do Sul, Costa Rica e Ponta Porã entre 2003 a 2011, enquanto que em Sidrolândia a semelhança ocorreu apenas entre 2003 a 2006, quando se comparou a produção obtida com a estimada pelos modelos trabalhados (Figura 4).

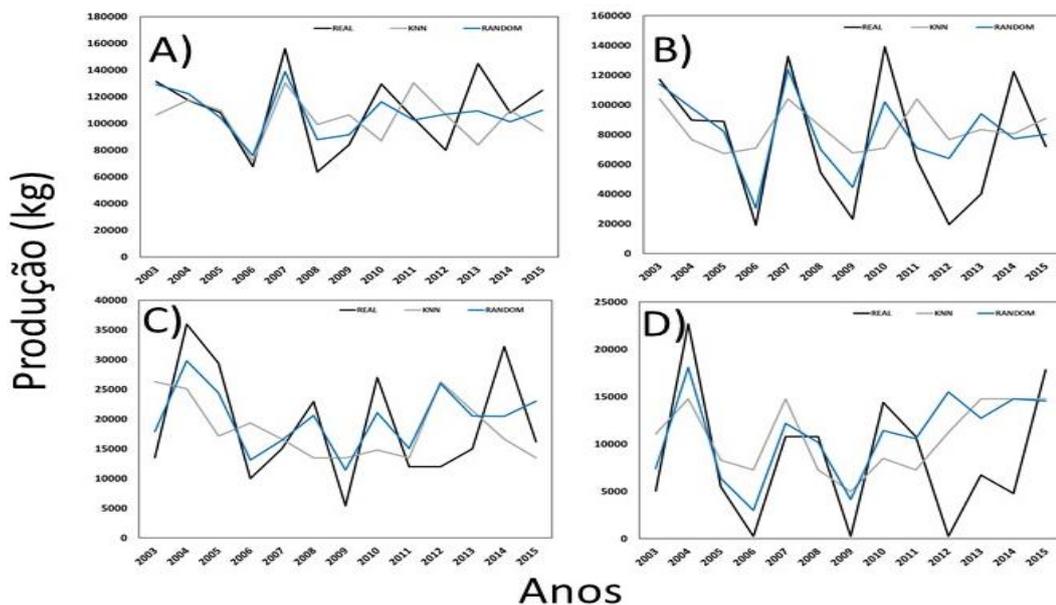


Figura 4. Comparação dos modelos que estimam a produção real de milho no Estado do Mato Grosso do Sul. a) Chapadão do Sul; b) Costa Rica; c) Ponta Porã; d) Sidrolândia.

Assim sendo, fica evidente que o modelo RANDON tem melhor ajustes que o modelo KNN. Isso se verificou porque a linha que representa o modelo RANDON é a que mais se aproxima da linha da produção real da cultura do milho em todos os municípios avaliados. De maneira geral, o modelo RANDON acompanhou a variabilidade real da produção da cultura em todos os anos.

Quando se avaliou o MAPE, o R^2 e o d, observa-se que o modelo RANDON foi mais eficiente, com maiores valores de R^2 e d, e menores valores de MAPE (Figura 5).

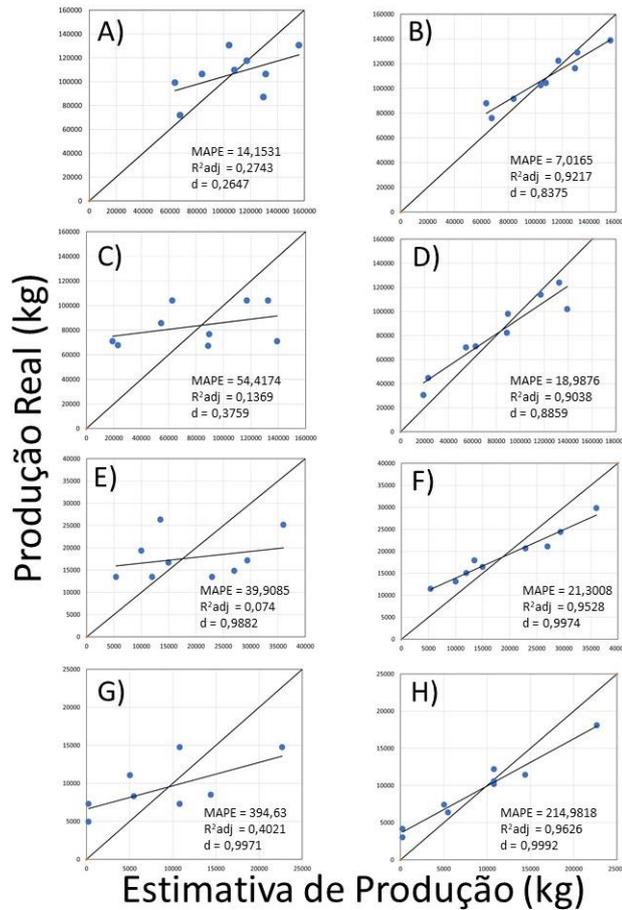


Figura 5. Comparação dos modelos de estimativa do milho para MS. A) Chapadão do Sul (KNN); B) Chapadão do Sul (RANDOM); C) Costa Rica (KNN); D) Costa Rica (RANDOM); E) Ponta Porã (KNN); F) Ponta Porã (RANDOM); G) Sidrolândia (KNN); e H) Sidrolândia (RANDOM).

Dentre os 4 municípios analisados com o modelo RONDON, o maior coeficiente de determinação (r^2) foi obtido na cidade de Sidrolândia (Figura 5H), seguido das cidades de Ponta Porã (Figura 5E), Chapadão do Sul (Figura 5B) e Costa Rica (Figura 5D). Em relação ao erro absoluto percentual (MAPE), o menor valor (7,01%) foi em Chapadão do Sul, seguido por Costa Rica (18,98%), Ponta Porã (21,30%) e Sidrolândia (214,98%). Para o MAPE quanto menor forem os valores melhor será o ajuste do modelo. O índice de concordância (d) obtido para o modelo RONDON foi superior a 0,88, isso demonstra a eficiência do modelo. Diante os resultados observados, ressalta-se que o modelo KNN foi inferior ao modelo RANDOM em todos os índices avaliados.

CONCLUSÕES

Chapadão do Sul e Costa Rica apresentam altos índices de déficit hídrico, enquanto Ponta Porã e Sidrolândia baixos valores de déficit;

O modelo RANDON apresenta o melhor ajuste para previsão da produção do milho utilizando dados meteorológicos;

O modelo KNN demonstra baixa acurácia chegando a um MAPE de 394,63 para o município de Sidrolândia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADJEI; R. K. Impacts of changing climate on maize in the transitional zone of Ghana. *American Journal of Climate Change*, v. 7, p. 463 - 476, 2018.

BERGAMASCHI, H. et al. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 243-249, 2006.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Disponível em: <file:///C:/Users/cicero/Downloads/GrosZjulhoZ-ZCompleto.pdf>, Acesso em 03 de agosto de 2019.

EZEAKU, I.E; OKECHUKWU, E.C.; AND ABA, C. Climate change effects on maize (*Zea mays*) production in Nigeria and strategies for mitigation. *Asian Journal of Science and Technology*, V. 5, p. 862 - 871, 2014.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; LAUSCHNER, M. H.; MELLO, R. W. de. Estimation model for soybean yield in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. v. 36, p. 399-403, 2001.

GOHARI A; ESLAMIAN S; ABEDI-KOUPAI J; BAVANI AM; WANG D; MADANI K. Os impactos das mudanças climáticas na produção agrícola na bacia do rio Zayandeh-Rud, no Irã. *Sci Total Environ* 442: 405–419. doi: 10.1016 / j.scitotenv.2012.10.029, 2013.

JONES, G.; PHILIP, P. T. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. *Global Environmental Change*, v. 13, p. 51-59, 2003.

LOBELL, D. B.; CASSMAN, K. G.; FIELD, C. B. Crop yield gaps: Their importance, magnitude, and cause. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 34, p. 179-204, 2010.

MAÑAS, F.M.S.O.; VALERO, J. A. J. *Agronomía Del Riego*. Madrid: Mundi-prensa, 1993, 732p.

GOHARI, A. et al. "Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can backfire." *Journal of Hydrology*, n. 491, p. 23 - 39, 2013.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, M.; BERLATO, M. A.; RIBOLDP, J. Modelos agrometeorológicos para estimativa do rendimento de mimo, em função da disponibilidade hídrica no Estado do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, Porto Alegre, v. 1, p. 225-241, 1995.

SANTOS, M. A. dos.; CAMARGO, M. B. P. de. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produção do cafeeiro nas condições do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 65, p. 173-183, 2006.

SANTOS, V. S. dos; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Influence of the meteorological elements in the production of green manures sown in different periods. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, 2003.

VICTORINO, E. C.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, D. F. Agrometeorological modeling for coffee productivity forecast in the south region of Minas Gerais state, 2015.