

MODELOS AGROMETEOROLÓGICOS PARA PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE DA CULTURA DA SOJA PARA REGIÕES DO ESTADO DO PARÁ

Arthur Ferreira Sousa Prado
IFMS – Campus Naviraí
arthur.prado@estudante.ifms.edu.br

Aladio Feuser Schueroff
IFMS – Campus Naviraí
aladio.schueroff@estudante.ifms.edu.br

Cassio Barboza Poiares
IFMS – Campus Naviraí
cassio.poiares@estudante.ifms.edu.br

Jean Francisco Moura Novaes
IFMS – Campus Naviraí
jean.novaes@estudante.ifms.edu.br

Leucivaldo Carneiro Morais
IFMS – Campus Naviraí
leucivaldo.morais@ifms.edu.br

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi prever a produtividade da cultura da soja através da calibração de modelos estatísticos, com variáveis de produção e climáticas, das localidades com maior produção do Estado do Pará. As localidades do estudo foram Altamira, Santarém, Ulianópolis, Conceição do Araguaia, Uruará e Paragominas. Foram utilizados dados de produtividade média e variáveis climáticas (temperatura do ar, precipitação pluvial, deficiência e excedente hídrico) de cada localidade, para o período de 2000-2020. Os modelos foram calibrados com uso da metodologia de regressão linear múltipla. A acurácia e a precisão dos modelos foram analisadas pelo erro percentual médio e pelo coeficiente de determinação ajustado, respectivamente. As variáveis que mais influenciam na estimativa da soja foram o excedente hídrico e precipitação pluviométrica. É possível estimar o rendimento médio da soja com RLM (regressões lineares múltiplas) por meio de dados de produção e dados de elementos climáticos. O modelo com a melhor performance, no qual se sobressaiu dos demais foi o calibrado para estimar o rendimento médio da soja da cidade de Conceição do Araguaia, localizada na região sudoeste do estado do Pará.

Palavras-chave: Clima; Agricultura; Modelagem; Produtividade.

1. INTRODUÇÃO

Soja (*Glycine max*) é uma das commodities de mais importância agronomicamente e economicamente, sendo o principal componente da base alimentar de muitos animais (MEURER et al. 2008), compondo a ração bovina, além de ser importante para a indústria de processamento para fabricação de óleo (MANDARINO & ROESSING, 2001). Sua produção mundial corresponde 362,947 milhões de toneladas em uma área plantada de 127,842 milhões de hectares (FAO, 2020).

O Brasil, atualmente maior produtor mundial de grão participando de 37,41% dessa produção total, com 135,409 milhões de toneladas de soja em uma área de apenas 38,502 milhões de hectares, tendo uma produtividade de 3.517 kg/há (CONAB, 2021). O estado com a maior produção de soja do país é o Mato Grosso, com 35,947 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2021), na região norte do Brasil, o estado do Pará é o segundo maior produtor de soja com 1.990.794 mil toneladas, no qual sua área plantada é de 643.267 mil hectares, atrás somente do Tocantins, que em 2020 produziu 3.004.239 milhões de tonelada (ADEPARÁ, 2021).

A soja é uma das commodities com maior relevância no mercado mundial, tendo crescimento crescente à medida que sua demanda aumenta devido ser utilizada na composição de uma grande gama de produtos (FEDERIZZI, 2005). O consumo da soja e seus derivados cresce em escala global, tendo maior concentração em países desenvolvidos, porém agora estão presentes em novas regiões impulsionadas pelo crescimento da renda dos consumidores e mudanças em hábitos do consumo, assim tendo um aumento dos fluxos desse comércio. (ZEMOLIN, 2013)

Em um ritmo enfatizado de expansão, a fronteira agrícola no sul do estado do Pará, demonstra que o ritmo com que o plantio avança no estado é de tamanha impressão (SCHLESINGER; NORONHA, 2006, p. 77; NINNI, 2004; BENATTI, 2003), a média do mesmo estar sobressaída do ritmo nacional, sendo comparável somente ao avanço da fronteira agrícola de MATOPIBA (CONAB, 2008a; FREITAS Jr., 2013).

A expansão potencial de produção de grãos sentido a região norte, mostra a modificação logística da região (MARTINS, 1996), influenciando principalmente o investimento governamental e privados, além de incentivar a mudança no tipo de logística de transporte de grãos, tornando o uso de sistemas diversificados de transporte (BENATTI, 2003), como o uso de ferrovias e hidrovias, cujo elas reduzem o custo da operação logística (WILKINSON, 2009).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Sendo atualmente a principal atividade econômica nacional, a agricultura acaba sendo muito dependente do clima, demonstrando relação direta durante todo o processo produtivo agrícola (DIAS, 1997). Por exercer alta influência sobre o ciclo das plantas (Manetti et al., 2017). Os grandes impactos causados nas atividades agropecuárias, muitas vezes é devido a variabilidade climática (SÁ JUNIOR et al., 2012), literaturas como a de Hoogenboom (2000) evidenciaram que as variáveis climáticas de nível crítico na produção agrícola são a temperatura do ar, déficit hídrico, excedente hídrico, precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial, pois estes elementos possuem influência no desenvolvimento, fitossanidade das plantas e produção (Francisco, P. R. M., 2017).

Os fatores climáticos que mais causam dificuldades na produção de soja no Brasil são as geadas, secas e chuvas fortes, obtendo a partir de setembro perdas que chegam em até 60% devido à seca e até 32% devido fortes chuvas (RESSETTI, 2002)

As lavouras de soja passam por diversos estresses abióticos durante todas as safras, tendo oscilações bruscas de temperatura e déficit hídrico, causando danos a produtividade e qualidade final dos grãos (FERREIRA & SILVA, 2015). Em tempos em que há cada vez mais instabilidade climática, assim sendo cada vez mais importante e indispensável se preparar para possíveis cenários climáticos, principalmente aqueles mais negativos. (SENTELHAS et al., 2016).

Déficit hídrico se trata de uma limitação da evapotranspiração da cultura em função da falta de água no solo, assim reduzindo a taxa fotossintética e reduzindo a produtividade (FARIAS, 2001). O déficit hídrico reduz a produtividade da soja independente do momento em que se ocorre (THOMAS, 1994). Para o cultivo da soja a temperatura do solo e ar também são fatores de grande importância em seu desenvolvimento (RODRIGUES et al. 2001), caso a temperatura do solo fique abaixo de 20°C compromete a germinação e emergência da soja (FARIAS & NEPOMUCENO, 2007), e caso fique em altas temperaturas a planta em fase cotiledonar pode ter sua membrana desestruturada (FERRARI et al. 2015). Como condição ótima para a cultura da soja tem como temperatura de 20 a 30°C. (SENTELHAS et al., 2016).

A cultura da soja, assim como as demais culturas necessitam de água para seu desenvolvimento, no caso da soja a necessidade vai elevando conforme o desenvolvimento da planta (FARIAS & NEPOMUCENO, 2007), sendo que na fase de floração-enchimento de grãos é recomendado de 7 a 8 mm/dia, diminuindo após esse período. Sua necessidade durante o

ciclo da cultura da soja, para altos rendimentos, varia entre 450 e 800 mm/ciclo (TOLFO et al. 2017), não dependendo das condições hídricas mais dependendo também das condições climáticas, manejo cultural, duração do ciclo (PACHECO et al. 2008).

As previsões são muito relevantes e importantes na agricultura, uma vez que quanto melhor a previsão antecipada, melhor será as decisões a serem tomadas com base nos números (DIEBOLD, 1996). Prever o que será produzido nos próximos anos, rendimento de plantações, mudanças climáticas que ocorrem é necessário para a demanda no futuro (TILMAN et al., 2011).

A previsão de safras e o rendimento das plantações possuem sua importância em vários quesitos, onde acaba incluindo aspectos macroeconômicos e utilização de recursos informativos para a expectativa de produção para o produtor. Além da importância visando as constantes variações entre safras, englobando diversos setores da produção como a irrigação, métodos estratégicos de plantio e fertilização (JOHNSON, 2013)

Modelos já elaborados como, o modelo CERES-Sorghum (IBSNAT, 1989), originalmente elaborado no uso de estimativa da produtividade de sorgo (Medeiros, S. L. P., 2000). Além do modelo de estimativa de rendimento de soja no estado do Rio Grande do Sul (Fontana et. al, 2001). E por fim, o modelo agrometeorológico para previsão da produtividade de milho, em função da disponibilidade hídrica no estado do Rio Grande do Sul (Matzenauer, 1995)

Na literatura são poucos os trabalhos com tamanha ousadia em realizar previsões de safras em função das condições climáticas. Assim, objetivou-se calibrar modelos de previsão da produção da cultura da soja usando elementos climáticos.

3. METODOLOGIA

Com a finalidade de calibração dos modelos agrometeorológicos para a previsão de rendimento médio (kg/ha) de soja em regiões do estado do Pará (PA), Brasil, foram utilizadas series históricas de dados climáticos e rendimento médio de soja no período de 2000 a 2020. Foram selecionadas 6 localidades (Tabela 1. e Figura 1) usando como quesito regiões com maior produção de soja no estado do Pará, o ranking para seleção dessas localidades foram obtidas juntamente ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2020).

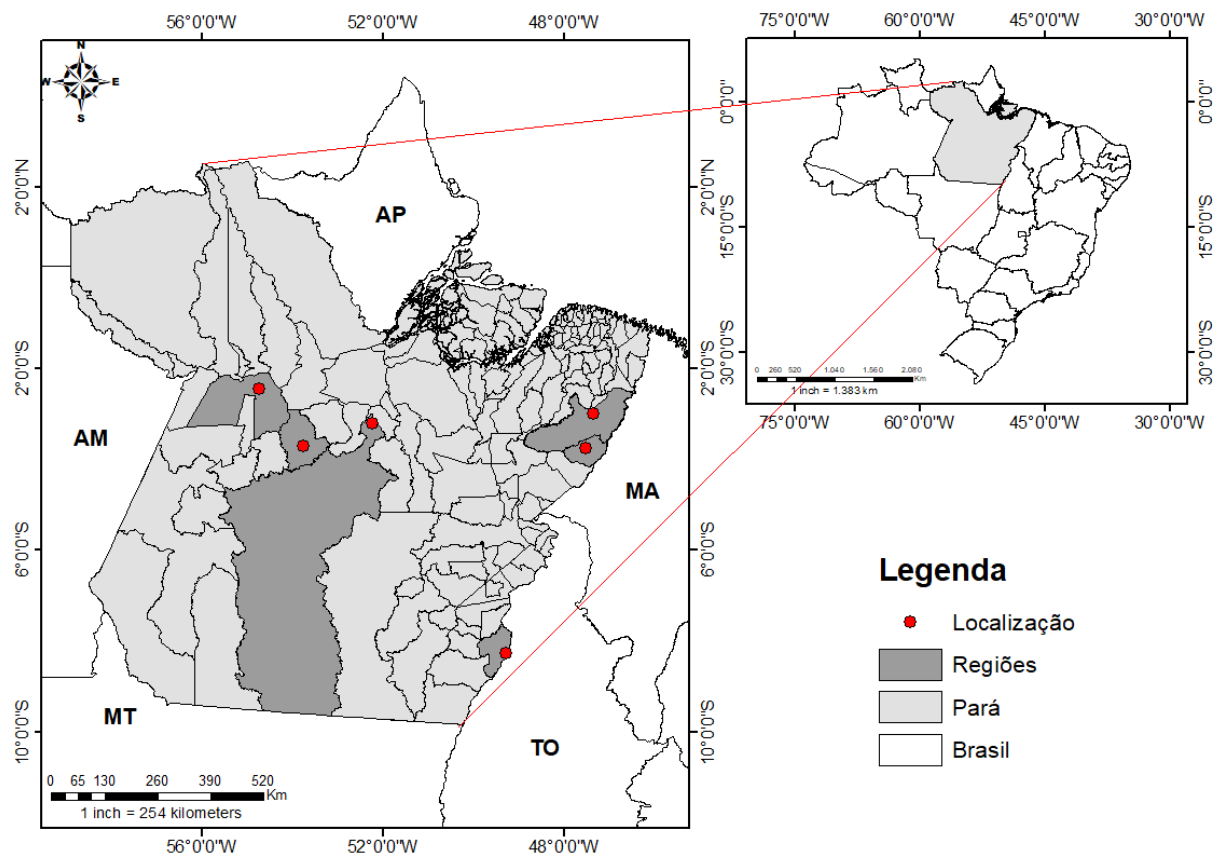
TABELA 1. Cidades do presente estudo com suas respectivas latitudes, longitudes e altitudes.

Localidades	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Altamira	03° 11' 41" S	52° 12' 33" W	96
Santarém	02° 26' 22" S	54° 41' 55" W	43

Ulianópolis	03° 45' 32" S	47° 29' 26" W	100
Conceição do Araguaia	49° 15' 53" S	49° 35' 53" W	165
Uruará	03° 43' 27" S	53° 44' 8" W	143
Paragominas	02° 59' 45" S	47° 21' 10" W	90

Fonte: IBGE

Figura 1. Mapa representativo das regiões estudadas no estado do Pará, Brasil.



Fonte: Autor próprio

Foram utilizados dados de temperatura mínima, máxima e média do ar ($^{\circ}$ C), precipitação (mm) e radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$), cujos dados foram extraídos da plataforma online NASA / POWER (<https://power.larc.nasa.gov>). A evapotranspiração do estudo foi estimada através da metodologia de Camargo. A equação de Camargo (1991) representada logo abaixo:

$$PET = 0,01 \times Q_g \times T_{air} \times N \quad (1)$$

A radiação no topo da atmosfera ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$) é representada por Q_g ; Temperatura média do ar ($^{\circ}$ C) representada por T_{med} ; N é o número de dias.

Calculada a equação da PET foram gerados o balanço hídrico por Thornthwaite and Mather (1955) cuja capacidade de água disponível (CAD) no solo foi determinada com base na profundidade efetiva do sistema radicular (Z) da cultura da soja que é igual a 40 cm (Equação

2-7), de acordo com a literatura (Doorenbos e Kassam, 1979).

$$\text{If } (P - PET)_i < 0 = \begin{cases} APWL_i = APWL_{i-1} + (P - PET)_i & .s \\ ST_i = AWC \times e^{\frac{(APWL_i)}{AWC}} & .s \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{If } (P - PET)_i \geq 0 = \begin{cases} ST_i = (P - PET)_i + ST_{i-1} & , i \\ APWL_i = AWC \times \ln \frac{(ST_i)}{AWC} & , i \end{cases} \quad (3)$$

$$\Delta ST_i = ST_i - ST_{i-1} \quad (4)$$

$$AE_i = \begin{cases} P + |\Delta ST_i| & , \text{if } \Delta ST < 0 \\ PET_i & , \text{if } \Delta ST \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$DEF_i = PET_i - AE_i \quad (6)$$

$$SUR_i = \begin{cases} 0 & , \text{if } ST_i < AWC \\ (P - PET)_i - \Delta ST_i & , \text{if } ST_i = AWC \end{cases} \quad (7)$$

No qual a capacidade de água disponível (mm) é representada por AWC; O armazenamento de umidade do solo (mm) é representado por ST; O excedente de água no sistema solo-planta-atmosfera (mm) por SUR; A deficiência de água do sistema solo-planta-atmosfera (mm) por DEF; APWL (perda potencial de água acumulada) é a soma cumulativa dos valores de P-PET durante os meses em que o P-PET é negativo; P é a precipitação (mm); PET é a evapotranspiração potencial (mm); AE é a evapotranspiração real (mm); ΔST é a diferença mensal de armazenamento de umidade do solo (mm) e o mês atual.

A metodologia utilizada para modelar o rendimento médio de soja foi o de Regressão Linear Múltipla (MLR).

$$Y = CL + a \times X_1 + b \times X_2 + c \times X_3 + d \times X_4 + \varepsilon$$

cujo Y designa a produtividade de feijão (kg ha^{-1}); X_1 , X_2 , X_3 e X_4 representa as variáveis climáticas; enquanto a, b, c, e d são os parâmetros do modelo e o ε é o vetor de erro.

Além da construção dos modelos, foram realizadas avaliações para cada modelo, no qual foram feitas através de algumas metodologias, onde a primeira é o Erro percentual absoluto médio (MAPE,%) indicando quanto erro há na previsão em relação ao valor real (Equação 9), o segundo é o Coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) utilizado para obter o melhor coeficiente de determinação (Equação 10), o terceiro método de avaliação é o Índice de Concordância (d) desenvolvido por Willmott (1981) como uma medida padronizada do grau de erro de predição do modelo e varia entre 0 e 1 (Equação 11), e o ultimo método de avaliação é o de Eficiência do modelo (EF , de Mayer e Butler 1993) no qual ele dimensiona o erro do modelo para a variabilidade dos dados observados (Equação 12).

$$MAPE (\%) = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\left| \frac{Yest_i - Yobs_i}{Yobs_i} \right| \times 100 \right)}{N}$$

(9)

$$adjusted R^2 = \left[1 - \frac{(1-R^2) \times (n-1)}{n-k-1} \right]$$

(10)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Yobs_i - Yest_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|Yest_i - \bar{Y}| + |Yobs_i - \bar{Y}|)^2}$$

(11)

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Yobs - Yest)^2}{\sum_{i=1}^N (Yobs - \bar{Y})^2}$$

(12)

Sendo o $Yest_i$ a variável estimada; $Yobs_i$ é a variável observada; e n é o número de dados (anos); k é o número de variáveis independentes na regressão.

Os mapas de temperatura ($^{\circ}C$), precipitação (mm), excedente hídrico (mm), déficit hídrico (mm), produtividade observada e estimada ($kg \cdot ha^{-1}$) do estado do Pará foram desenvolvidos com ferramentas do sistema de informações geográficas (SIG). O método de interpolação de dados utilizado foi o IDW (KRIGE, 1951).

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

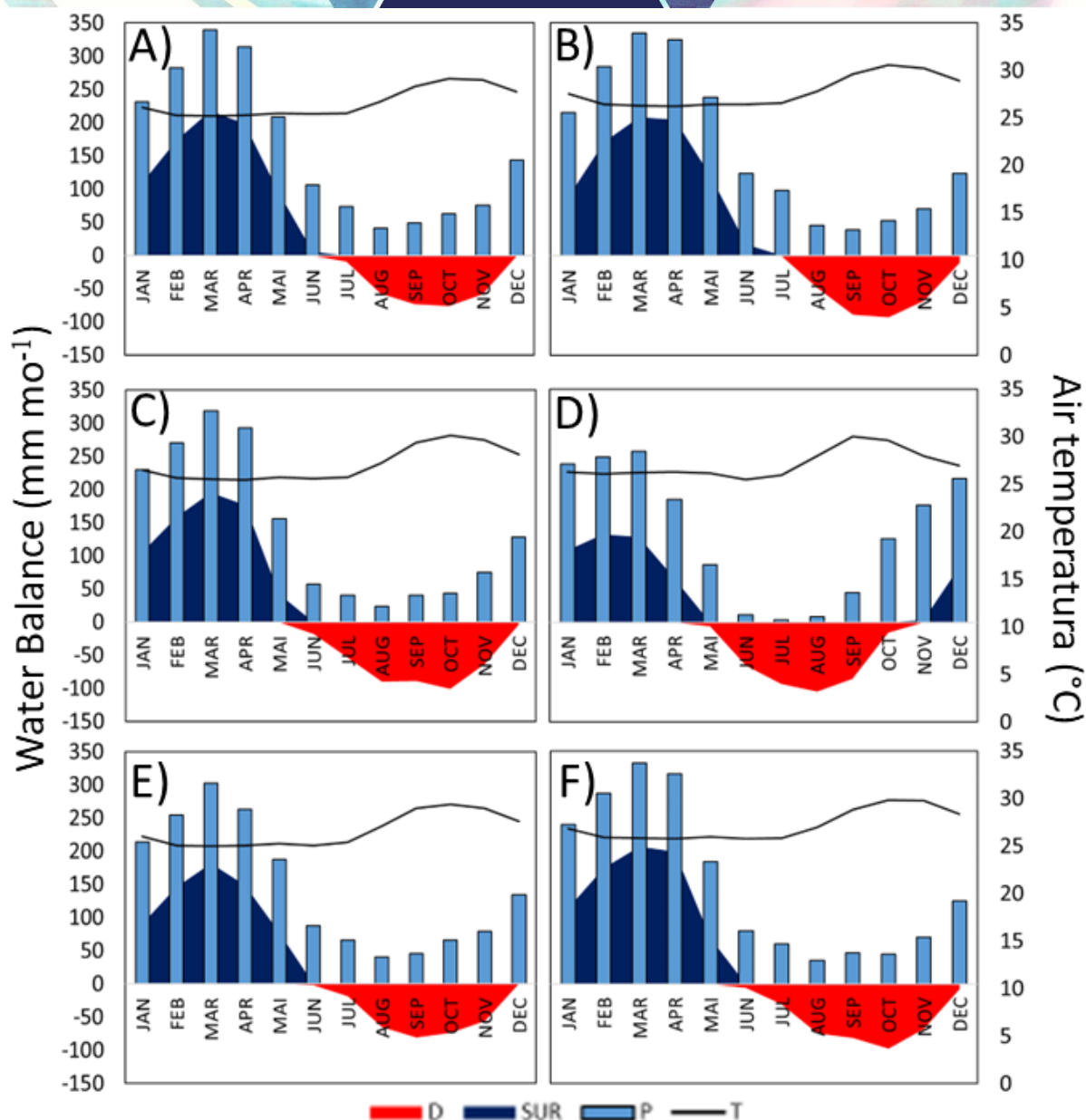
As variáveis climáticas não mostraram estar na faixa adequada durante o período de ciclo da cultura, no qual são os meses de dezembro a março, pois apresentaram níveis elevados de precipitação pluviométrica e excedente hídrico, mostrando que essas variáveis foram as que mais influenciaram a cultura, para as localidades selecionadas, conforme o balanço hídrico para cada uma das regiões. As temperaturas médias ao longo dos anos se mostraram adequadas e uniformes entre as regiões, se mantendo na faixa de 24 a 29 $^{\circ}C$ (Figura2), já que o ideal para uma adaptação da cultura da soja é uma oscilação entre 20 e 30 $^{\circ}C$, sendo considerada a variação entre 25 e 30 $^{\circ}C$ temperaturas ótimas do solo (germinação) e do ar (desenvolvimento), respectivamente. (Farias et al. 2007).

As localidades como Altamira, Uruará e Santarém, presentes na região centro-oeste do Pará, possuem os níveis mais elevados de precipitação anual, sendo em média 1926 mm; 1950 mm; 1738 mm; respectivamente. Nos últimos anos a região que demonstrou a média pluviométrica ideal durante o ciclo da cultura (dezembro-março), foi Santarém com uma

média de 662 mm, uma vez que a faixa ideal de necessidade para uma lavoura com elevado potencial produtivo durante seu ciclo é de 450 a 800 mm de água (Neumaier et al., 2020). As demais localidades apresentaram precipitação excedente ao nível ideal para desenvolvimento da cultura (Figura 3). O excedente hídrico ocorreu no período de janeiro a maio, se mostrando influente em grande parte dos meses da cultura, o mês de março dentre as localidades foi o mês com excedentes elevado, chegando a atingir em média 210 mm.

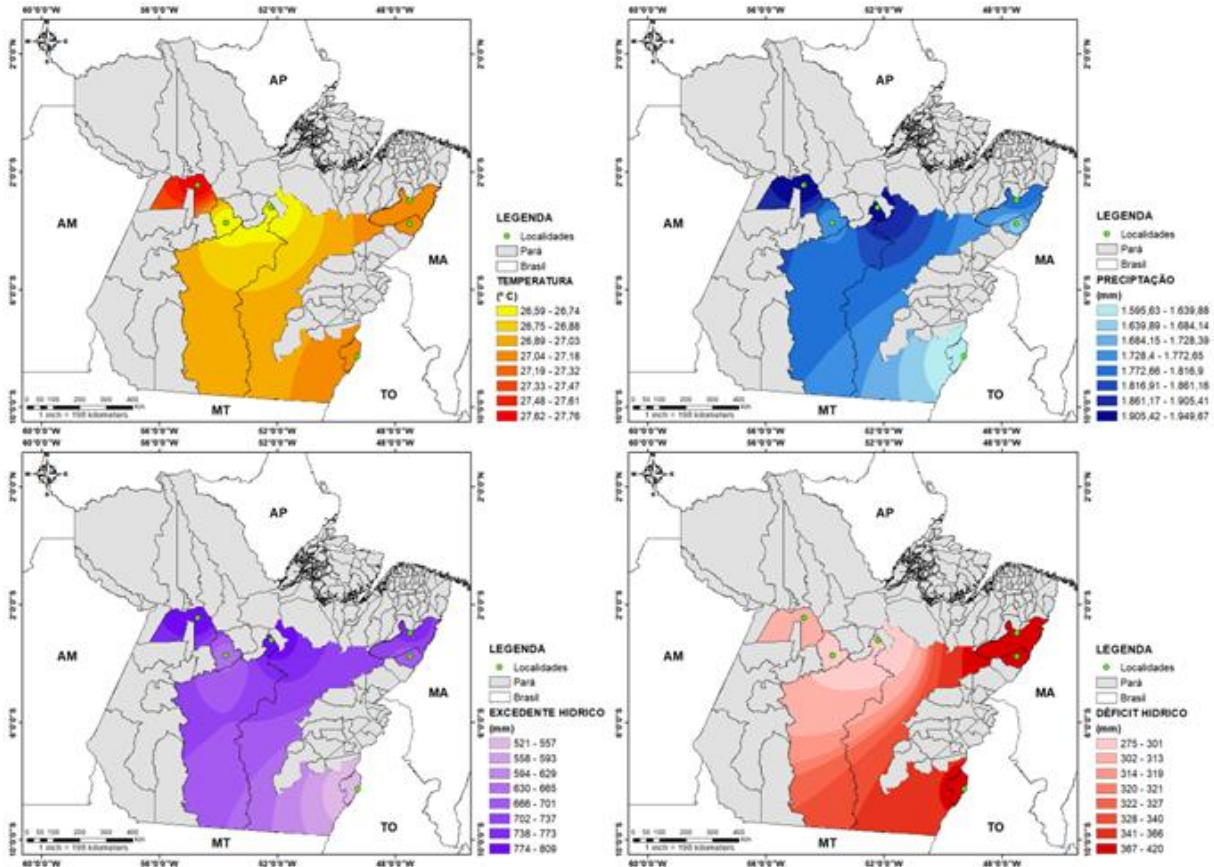
Com altos níveis pluviométricos nessas localidades, alguns fatores acabam diminuindo a produtividade como o surgimento de doenças em plantas, alta umidade, dificultando a colheita e elevando o custo produto armazenado em beneficiadoras e armazéns de grãos, principalmente no processo de secagem.

Figura 2. Variação da temperatura do ar, precipitação, déficit e excedente hídrico do estado do Pará, Brasil. Legenda: A. Altamira; B. Santarém; C. Ulianópolis; D. Conceição do Araguaia; E. Uruará; F. Paragominas.



Fonte: Autor próprio.

Figura 3. Mapas de variação climática nas cidades estudadas no estado do Pará, Brasil. A. Temperatura do ar; B. Precipitação pluviométrica; C. Excedente hídrico; e D. Déficit hídrico.



Fonte: Autor Próprio

Os modelos estimaram o rendimento médio para as localidades com maior produção de soja do estado do Pará. Foi observado que as variáveis climáticas foram fundamentais para gerar modelos acurados e precisos, no qual mostraram baixo erro percentual absoluto médio – MAPE, não atingindo 15% do MAPE, enquanto o R^2 ajustado mostrou porcentagem acima de 50% no ajuste de dados do modelo. Através da metodologia de regressão, no qual utilizou-se variáveis climáticas do período de ciclo da cultura em estudo, acerca de função do rendimento médio em 20 anos, averiguaram uma variação na produtividade, apresentando os modelos com baixo e alto desempenho.

TABELA 2. Modelos calibrados para a estimativa da produtividade do feijão no estado de Goiás, Brasil. Legend: ATM - Altamira; STM – Santarém; ULP – Ulianópolis; CA – Conceição do Araguaia; URA - Uruará; PGM - Paragominas; Y= bean yield (kg ha⁻¹); T= air temperature (°C); P - precipitation (mm); SUR= water surplus (mm); and DEF= water deficit (mm).

Locality	Models
(1) ATM	$Y = -79,37EXC_{MAR} + 69,17EXC_{FEV} + 30,65EXC_{JAN} + 90,30DEF_{MAR} + 1169,75T_{MAR} - 2245,05T_{FEV} + 362,65T_{DEZ} + 85,84P_{MAR} - 78,06P_{FEV} - 37,82P_{JAN} + 23214,19$

- (2) STM $Y = -12,44EXC_{MAR} + 2,41EXC_{FEV} + 3,58EXC_{JAN} - 13,04DEF_{JAN} - 112,80T_{MAR} + 219,52T_{JAN} + 43,14T_{DEZ} + 11,24P_{MAR} - 2,64P_{FEV} - 2,57P_{JAN} - 1801,45$
- (3) ULP $Y = -49,16EXC_{MAR} + 0,33EXC_{FEV} + 24,74EXC_{JAN} - 37,26DEF_{JAN} - 299,93T_{MAR} + 136,68T_{FEV} + 963,41T_{JAN} + 46,86P_{MAR} - 1,11P_{FEV} - 22,54P_{JAN} - 20623,01$
- (4) CA $Y = -0,45EXC_{MAR} + 67,24EXC_{FEV} + 39,51EXC_{JAN} + 22,11EXC_{DEZ} - 239,5DEF_{FEV} - 17,23DEF_{JAN} - 184,48T_{DEZ} - 68,65P_{FEV} - 38,49P_{JAN} - 24,07P_{DEZ} + 24517,2$
- (5) URA $Y = 41,34EXC_{MAR} + 38,54EXC_{FEV} + 12,25EXC_{JAN} - 9,33EXC_{DEZ} - 152,86DEF_{FEV} - 63,50DEF_{JAN} + 685,74T_{JAN} - 33,22P_{MAR} - 47,32P_{FEV} - 25,67P_{JAN} - 565,49$
- (6) PGM $Y = 12,81EXC_{MAR} - 24,05EXC_{JAN} - 47,79DEF_{MAR} + 53,19DEF_{FEV} - 4,70DEF_{DEZ} + 331,45T_{JAN} - 332,17T_{DEZ} - 13,04P_{MAR} + 25,18P_{JAN} - 5,69P_{DEZ} + 2833,10$

Fonte: Autor próprio

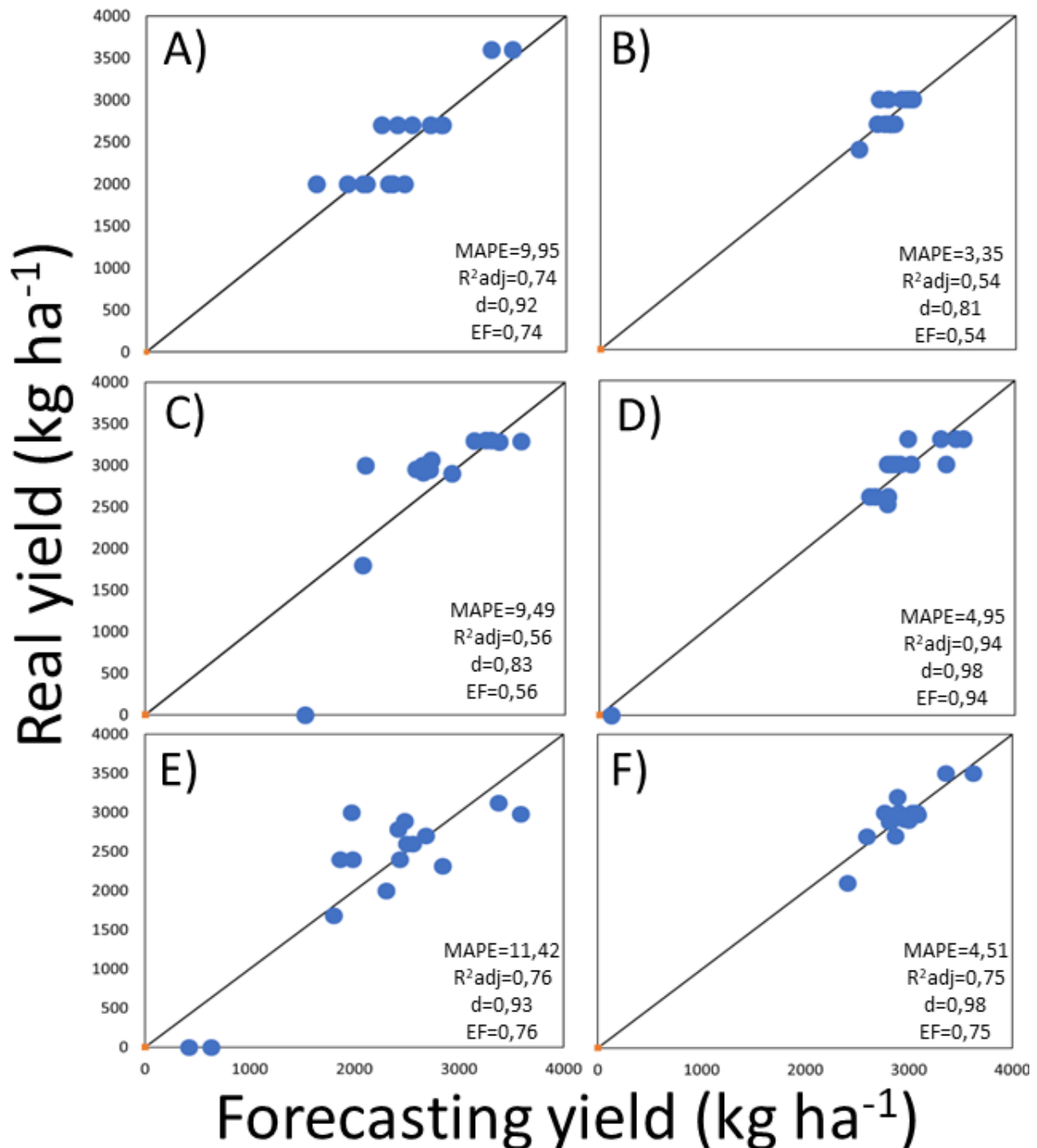
A avaliação dos modelos calibrados com o parâmetro de erro percentual (MAPE) e de coeficiente de determinação ajustada (R^2 ajustado), mostraram valores relativamente bons para a maioria das regiões estudadas (Tabela 2). As regiões estudadas apresentaram média de 7,28% de erro percentual (MAPE) e 0,71 de coeficiente de determinação de ajuste (R^2 ajustado). Enquanto o índice de concordância (d) utilizado para refletir a precisão dos valores preditos, mostrou média de 0,96 refletindo que os modelos indicam uma perfeita concordância, além de apresentar em média $0,70 = 70\%$ de eficiência do modelo entre todas as regiões, mostrando relativamente modelos de boa eficiência.

O modelo gerado para estimar o rendimento médio de soja na região de Santarém (STM) (Tabela 2), apresentou baixo erro percentual absoluto médio (MAPE), porém demonstrou baixo coeficiente de determinação de ajuste (R^2 ajustado) de 3,35% e 0,54 (Figura 4). Uma estimativa de produtividade de uma região com um erro de 3,35% é consideravelmente baixa.

Para alguns modelos o índice de concordância de Wilmott (d), demonstrou valores próximos de uma perfeita concordância ($d=1$), no qual as regiões e seus respectivos modelos que apresentaram maior índice de concordância foram Conceição do Araguaia (CA); Paragominas (PGM) e Uruará (URA), com valores igual a 0,98; 0,98; e 0,93, respectivamente, demonstrando que os níveis de concordância dos modelos foram bem significativos entre os dados observados e os estimados (Figura 4).

A eficiência dos modelos (EF) que obtiveram maior êxito foram para as regiões Conceição do Araguaia (CA); Uruará (URA) e Paragominas (PGM), cujo valores respectivamente foram 0,94; 0,76; 0,75. Dentre os demais o modelo gerado para região de Conceição do Araguaia (CA), se mostrou o mais eficiente, com cerca de 94% de eficiência.

Figura 4. Desempenho dos modelos de previsão de produtividade de soja para o estado do Pará, Brasil. Legenda: A. Altamira; B. Santarém; C. Ulianópolis; D. Conceição do Araguaia; E. Uruará; F. Paragominas.

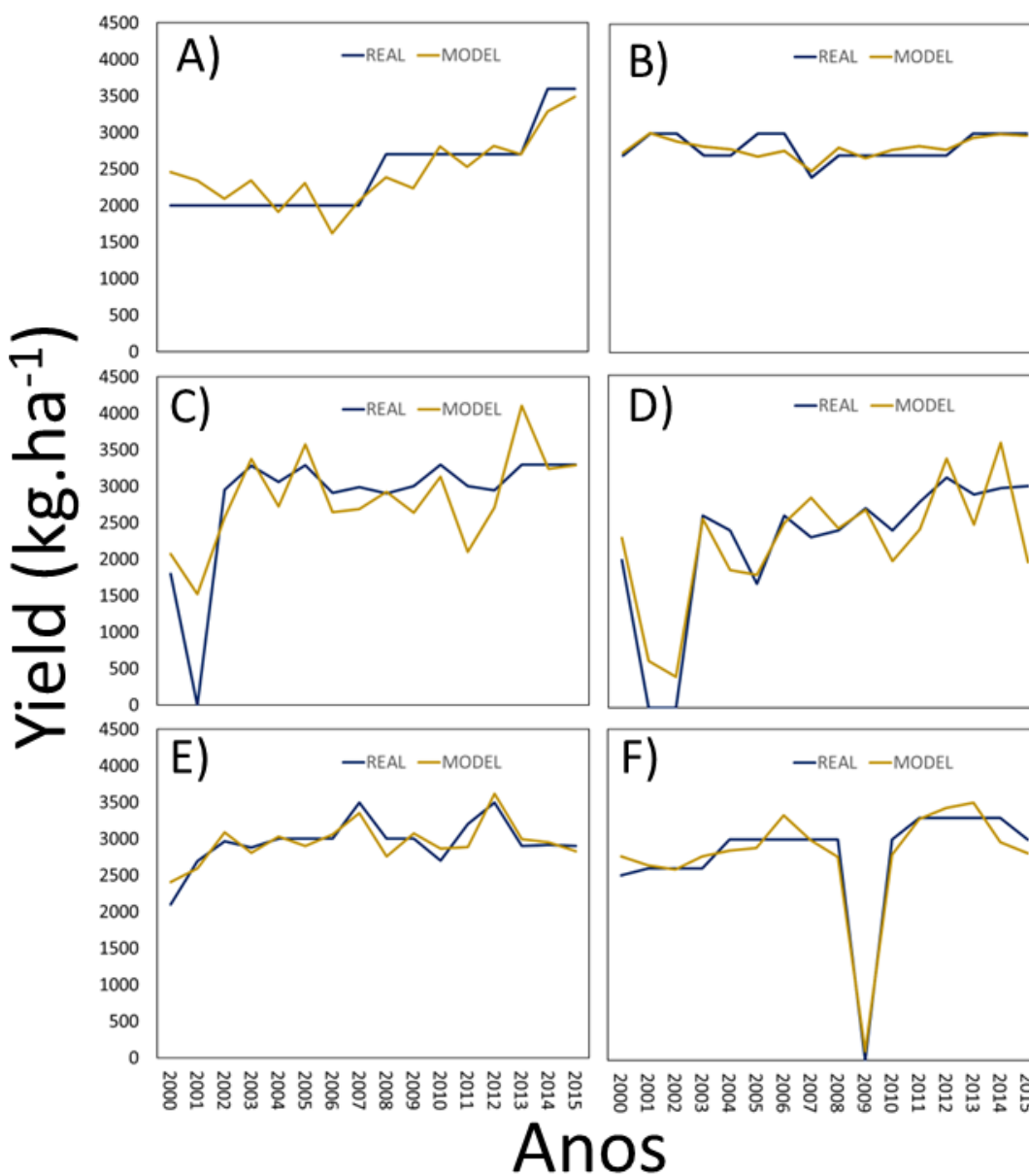


Fonte: Autor próprio

O modelo que apresentou a melhor performance, foi o modelo calibrado para a região de Conceição do Araguaia (CA), que mostrou acurácia (MAPE) de 4,95% e precisão (R² ajustado) de 0,94, considerado alto na calibração de modelos de estimativa (Savin et al. 2007).

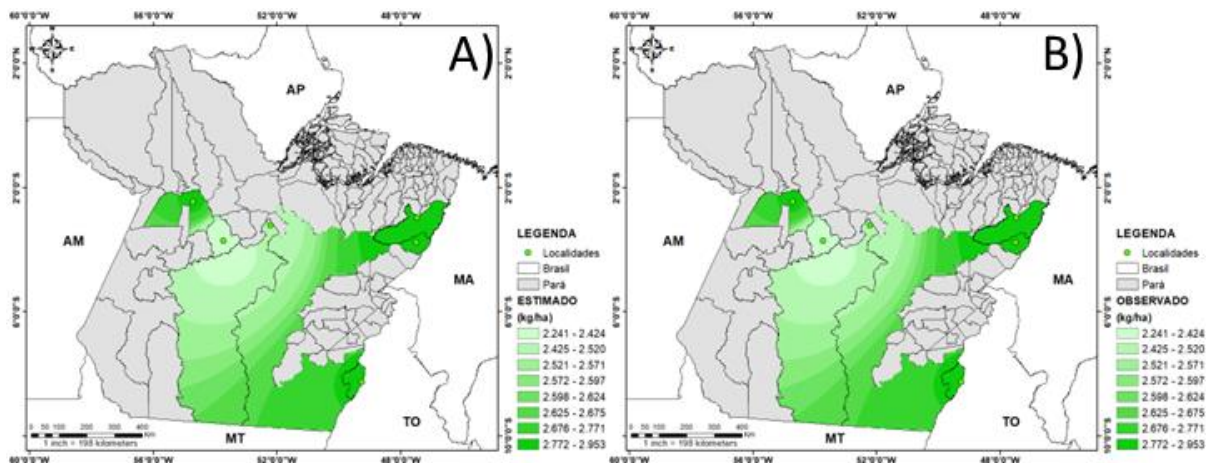
Além da precisão e acurácia deste modelo o elevado índice de concordância e a análise de eficiência mostrou que $d = 0,98$, demonstrando um nível de concordância perfeito, enquanto a eficiência de $0,94 = 94\%$ são excepcionais. Moreto & Rolim (2015) evidenciaram precisões maiores que 0,95 em modelos calibrados para previsão de produção da cultura da laranja a [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] para o estado de São Paulo.

Figura 4. Produtividade de soja (Glycine max) estimada para os modelos calibrados para o estado do Pará, Brasil, em: A. Altamira; B. Santarém; C. Ulianópolis; D. Conceição do Araguaia; E. Uruará; F. Paragominas.



Fonte: Autor próprio.

Figura 5. Mapas da produtividade estimada (A) e da produtividade observada (B) de soja, para regiões do estado do Pará, Brasil.



Fonte: Autor próprio.

Através do mapa de produtividade estimada e observada (Figura 5), é possível visualizar as regiões de maior concentração de rendimento médio do grão de soja. As regiões oeste do estado do Pará, onde estão presentes as cidades de Altamira, Santarém e Uruará, concentram alta produtividade, chegando a níveis de variação entre 2772 e 2953 kg/ha, além de outras regiões como a leste onde estão presentes os municípios de Ulianópolis e Paragominas e a sudeste onde estar presente o município de Conceição do Araguaia (Figura 5).

5. CONCLUSÕES

As variáveis climáticas têm influência sob a produtividade de soja, no qual as variáveis que mais influenciaram foram a precipitação pluviométrica e excedente hídrico, pois os níveis de precipitação estavam altamente elevados para o ideal na cultura da soja, resultando em níveis altos de excedente hídrico.

A produtividade de soja pode ser estimada pela metodologia de regressão linhas múltipla de variáveis climáticas e de produtividade. O modelo calibrado para previsão de produtividade de soja da região de Conceição do Araguaia foi o mais preciso, acurado e eficiente dentre os demais.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Instituto Federal de Mato Grosso do Sul – IFMS: Campus Naviraí, Brasil.

REFERÊNCIAS

ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA DE GRÃOS: v. 6 Safra 2019/20 - Segundo levantamento, Brasília, p. 1-142, setembro 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra-graos>> Acesso em: 12 de setembro de 2020.

ADEPARÁ – Agência de Defesa Agropecuária do Pará, Safra 2020/2021 – Segundo levantamento. Disponível em: <<http://www.adepara.pa.gov.br/>> Acesso em: 27 de junho de 2020.

APROSOJA, ASSOCIAÇÃO DOS PRODUTORES DE SOJA E MILHO DE MATO GROSSO. A história da soja. Cuiabá. 2021. Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-da-soja>>. Acesso em: 20 jun. 22.

ARAÚJO, P. H. C. Eventos climáticos extremos: os efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a produtividade agrícola das regiões Nordeste e Sul do Brasil. 2012. 45 f. Dissertação (Pós-Graduação em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, programa de pós-graduação em Economia Aplicada, Viçosa, 2012.

BERBERT, R. P., HAMAWAKI, O. Análise da plasticidade da cultura de soja em diferentes arranjos populacionais e diferentes espaçamentos entre linhas. Horizonte Científico, v. 2, n. 1, out. 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/4127> > Acesso em: 20 jun. 22.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Custos de produção agrícola: a metodologia da Conab. -- Brasília : Conab, 2010.

DIAS, Fábio Luís Ferreira. Relação entre produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na região noroeste do Estado de São Paulo. 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DIEBOLD. F.X.; LOPEZ, J.A. Forecast Evaluation and Combination. Technical Working Paper Series. National Bureau of Economic Research. Cambridge, 1996.

EMBRAPA. SOJA EM NÚMEROS (safra 2020/21). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 20 jun. 22.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da soja. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

FARIAS, José Renato Bouças et al. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 9, n. 3, p. 415-421, 2001.

FEDERIZZI, L. C. A soja como fator de competitividade no Mercosul: histórico, produção e perspectivas futuras. 2005. Disponível em: <<http://www.fee.tche.br/sitefee/download/jornadas/2/e13-10.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 22.

FERRARI, Elisângela; DA PAZ, Adriano; DA SILVA, Andréa Carvalho. Déficit hídrico e

altas temperaturas no metabolismo da soja em sementeiras antecipadas. *Nativa*, v. 3, n. 1, p. 67-77, 2015.

FERREIRA, Williams Pinto Marques; SILVA, Marcos Antônio Vanderlei. Agroclimatologia: variações do clima, seca e sustentabilidade da agricultura. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 36, n. 285, p. 7-13, 2015.

FRANCISCO, M. R. P. Potencial pedoclimático do estado da Paraíba para a cultura do sorgo (*Sorghum bicolor*). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.10, n.03 (2017) 784-798.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and Forest Meteorology*, New Haven, v. 103, n. 1/2, p. 137-157, 2000.

IBSNAT. Decision support system for agrotechnology transfer V.2.1 (DSSAT V2.1). 1a ed. Honolulu : Univ. of Hawaii, 1989. 130 p.

JARDINE. J. G. BARROS, T. D. Soja. AGEITEC. Agência Embrapa de Tecnologia da Informação. Brasília. 2021. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5e0sawqe3vtld7vi.html>>. Acesso em: 20 jun. 22.

JOHNSON. D. M. An assessment of pre-and within-season remotely sensed variables for forecasting corn and soybean yields in the United States. *Remote Sensing of Environment*, 2013.

MANDARINO, José Marcos Gontijo; ROESSING, Antonio C. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos. Embrapa Soja- Documentos (INFOTECA-E), 2001.

MANNETI, F. J. Tolerância a baixas temperaturas e zoneamento agroclimático de espécies forrageiras para o Estado do Paraná. *Unesp*, p. 14-15. 2017.

Medeiros, P. L. S. Improvement of the dry matter partitioning in CERES-Sorghum model for simulation of sweet sorghum crop. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 231-238, 2000

MEURER, Fábio et al. Farelo de soja na alimentação de tilápias-do-nilo durante o período de reversão sexual. *Revista brasileira de zootecnia*, v. 37, p. 791-794, 2008.

MORETO, VB; ROLIM, G. de S. Estimativa do rendimento anual e qualidade da laranja “valência” relacionada às deficiências mensais de água. *Revista Africana de Pesquisa Agrária*, v.10, p.543-553, 2015. DOI: 10.5897 / AJAR2014.9090.

NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; MERTZ-HENNING, L. M.; FOLONI, J. S. S.; MORAES, L. A. C.; GONCALVES, S. L. Ecofisiologia da soja In: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. de C. (Ed.). *Tecnologias de produção de soja*. Londrina: Embrapa Soja, 2020. p. 33-54. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 17).

PACHECO, Leandro Pereira et al. Desempenho de plantas de cobertura em sobressemeadura na cultura da soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, p. 815-823, 2008.

RODRIGUES, Osmar et al. Resposta quantitativa do florescimento da soja à temperatura e ao fotoperíodo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, p. 431-437, 2001.

ROMERO V., MARCUZZO F. F. N. Influência de El Niño e La Niña no número de dias de precipitação pluviométrica do estado de Goiás. *ACTA Geográfica, Boa Vista*, v. 7, n.14, p. 93-106, jan./abr. 2013. Disponível em: <<http://revista.ufrr.br/actageo/article/view/788/1030>> Acesso em: 20 jun. 22.

Rossetti, L.A. Reduzindo os riscos da agricultura e propiciando indicadores confiáveis para um desenvolvimento regional sustentável. *Seminário Brasileiro de Zoneamento Agrícola*, 1., 2002.

SÁ JUNIOR, A. et al. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology, Hamburg*, v. 108, p. 1-7, 2012.

SAVIN, IY; STATHAKIS, D .; NEGRE, T .; ISAEV, VA Previsão da produtividade das culturas com o uso de redes neurais. *Russian Agricultural Sciences*, v.33, p.361-363, 2007. DOI: 10.3103 / S1068367407060031.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R. Clima e produtividade da soja: efeitos nas produtividades potencial, atingível e real. In: *FUNDAÇÃO MT. Boletim de pesquisa 2015/2016*. Santa Cruz do Sul, RS: Editora Gazeta, 2015. p. 18-43.

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

TILMAN D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS*. v. 108. n. 50. 2011.

TOLFO, Maiara Thaís et al. Impactos da chuva na produção da soja na cidade de Panambi. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, v. 5, n. 1, 2017.

ZEMOLIN, E. M. Análise da evolução da competitividade e da inserção externa do complexo soja brasileiro. 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. ZIKMUND, W. G. *Princípios da pesquisa de marketing*. 2. ed. São Paulo: Thomson, 2006.