THIS IS AN OPEN ACCESS
ARTICLE UNDER THE CC BY
LICENSE CREATIVE COMMON

ISSN 2175-6813

Revista Engenharia na Agricultura

Viçosa, MG, DEA/UFV - DOI: 10.13083/reveng.v30i1.14276 v.31, p.19-30, 2023

VARIABILIDADE INTERANUAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIAL E RENDIMENTO DA SOJA NO MUNICÍPIO DE MATA ROMA, MARANHÃO

Eduardo Silva dos Santos[1], Plinio Antonio Guerra Filho[1], Sheyla Sales de Oliveira[1], Breno dos Santos Silva[1], Antonio Emanuel Souta Veras[1] & Daniela Abreu de Souza[1]

1 - Maranhão Federal University, Agricultural Engineering Department, Chapadinha Sciences Center, Chapadinha, MA, Brazil

Palavras-chave:
Rendimento da soja
Precipitação
Agroclimatologia

RESUMO

Dentre as atividades afetadas pela variabilidade dos índices pluviométricos, a agricultura é uma das mais vulneráveis. Nesse sentido, este trabalho objetivou relacionar a variabilidade interanual da precipitação pluvial com a variabilidade das produtividades da cultura da soja no município de Mata Roma, Maranhão, considerando os eventos secos e úmidos. Para isso foram analisados, para o período de 2003 a 2019, dados da produtividade média da soja e de precipitação pluvial dessa região produtora que é uma das principais do Estado. Foram também analisados dados de precipitação mensal do período 1985-2019 e identificados os eventos secos e úmidos nessas duas séries de dados meteorológicos. Os resultados mostraram que a precipitação do período de janeiro a maio explica cerca de 99%, em média, da variação interanual das produtividades e que a ocorrência de períodos secos e muito úmidos desfavorecem a cultura da soja, ocasionando, na maioria das vezes, produtividades e produções muito abaixo da média para região de estudo. Com base na análise de regressão, constatou-se que a produtividade máxima média de 2942,52 kg×ha^{-1} foi alcançado com uma precipitação média de 1709 mm.

Keywords:
Soybean yield
Rainfall
Agroclimatology

INTERANNUAL RAINFALL VARIABILITY AND SOYBEAN YIELDS IN MATA ROMA MUNICIPALITY, MARANHÃO

ABSTRACT

Among the activities affected by rainfall variability, agriculture is one of the most vulnerable. In this sense, this work aimed to relate the interannual rainfall variability with the soybean yields variability in Mata Roma municipality, Maranhão, considering dry and rainy events. For this, for the period from 2003 to 2019, data on average soybean yield and rainfall in this producing region, which is one of the main ones in the State, were analyzed. Monthly rainfall data for the period 1985-2019 were also analyzed and the dry and rainy events were identified in these two meteorological data series. The results showed that rainfall from January to May explains about 99%, on average, of the interannual variation of yields and that occurrence of dry and very humid periods disfavor the soybean crop, causing, in most cases, yields and productions far below the average for the study region. Based on the regression analysis, it was found that maximum average yield of 2942.52 kg×ha^{-1} was reached with an average rainfall of 1709 mm.

Recebido 20 Mai, 2022 • Aceito 30 Jan, 2023 • Publicado 21 Mar, 2023

Email (autor correspondente)*: santos.eduardo@ufma.br

EDITOR DE SEÇÃO RESPONSÁVEL
Gabrielle Ferreira Pires

INTRODUÇÃO

A soja (Glycine max (L) Merrill) é uma oleaginosa mundialmente cultivada, sendo a principal cultura do Brasil, devido as suas características de potencial produtivo e valor nutritivo oferece diversas aplicações na alimentação humana, animal e sobre tudo relevância socioeconômica (Maud et al., 2010).

O município de Mata Roma está localizado na Região Leste Maranhense, inserida na microrregião de Chapadinha formada por nove municípios. Com destaque à produção de soja, sobre regime hídrico de sequeiro na microrregião destacam-se: Anapurus, Brejo, Buriti, Chapadinha e Mata Roma, juntos foram responsáveis por 87,27% da área plantada e produtividade média de 3105,8 kg ha^{-1}, sendo Mata Roma o terceiro maior produtor na safra 2019/2020 (IBGE 2022).

De acordo com Presoti (2008), a expansão da sojicultura se dá principalmente em função dos seguintes fatores: regime pluviométrico — que ocorre de janeiro a junho (Passos et al., 2016) —, tipo de solo adequado, ocorrência de grandes áreas planas — favorecendo o uso da mecanização em todo processo produtivo —, facilidade de escoamento da produção para portos, e possibilidade de exportação devido a infraestrutura de escoamento.

Pesquisas desenvolvidas no Brasil têm demostrado que a produtividade da soja é influenciada por fatores climáticos como déficit hídrico (Alberto et al., 2006), excesso hídrico (Schoffel et al., 2001) e temperatura (Schoffel & Volpe, 2002). Dentre estes fatores, o regime pluviométrico é, de acordo com Farias et al. (2001), o principal responsável pela variabilidade do rendimento da soja em várias regiões produtoras do Brasil (Farias et al., 2001).

A análise do comportamento das precipitações pluviais tem grande relevância devido à grande variabilidade espaço-temporal, não exclusivamente sob abordagem hídrica e climática, mas também pelas decorrências nas instâncias econômicas, sociais e culturais oriundas (Lucena et al., 2011). Dentre as atividades afetadas pela variabilidade dos índices pluviométricos, a agricultura é uma das mais vulneráveis (Lopes et al., 2016).

No Brasil, a maior parte da produtividade da soja é dependente das chuvas. Na soja, a água é importante durante todo o ciclo da cultura, exceto após a maturidade fisiológica dos grãos, sendo relativamente tolerante ao déficit hídrico na sua fase vegetativa, mas é muito sensível ao estresse durante a formação dos componentes do rendimento, ou seja, florescimento e enchimento de grãos (Sentelhas et al., 2015). A cultura da soja necessita de um volume total de água que varia entre 450 mm a 800 mm/ciclo (Farias et al., 2007). A necessidade de água é maior na medida em que ocorre o desenvolvimento da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos, decrescendo após esse período (Bergamaschi et al., 1999).

Dentre os diversos sistemas meteorológicos que provocam alta variabilidade na precipitação pluvial no Estado do Maranhão, destacam-se a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Sistemas Frontais e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAS), as Linhas de Instabilidade (LI), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), fazendo com que a distribuição, tanto no espaço e no tempo da chuva seja irregular de Norte a Sul do Estado (Nascimento et al., 2015).

El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de interação oceano-atmosfera, conexo a anomalias na temperatura média do oceano (Marengo et al., 2016). Conforme Molion (2017), o El Niño (EN) é o aquecimento das águas do Pacífico Tropical próximo à costa da América do Sul. Hiera et al. (2019) considera que a ZCIT encontra-se mais ao norte de sua posição normal durante os anos de EN, de tal modo os ventos alísios de sudeste e de nordeste são mais fracos, acarretando diminuição da umidade que penetra o Nordeste do Brasil. Por outro lado, os eventos de La Niña (LN) distinguir-se pelo resfriamento das águas superficiais e acréscimo na intensidade dos alísios, os quais atingem velocidades acima da média (Molion, 2017).

Nas ultimas décadas o estudo da precipitação tem ganhado notória atenção, e dentre os estudos mais importantes, pode-se destacar a classificação do regime pluviométrico em regiões agrícolas do Taperoá – PB, Areia e Sumé – PB e Mossoró - RN (Araújo et al., (2007), Almeida et al., (2013), Santos et al., (2014)). Por meio destes estudos, podemos ressaltar diversas metodologias que são usadas estatisticamente para adequar e classificar o comportamento pluviométrico, como, o Índice Padronizado de Precipitação (SPI) (Mckee et al., 1993), a Técnica de Quantis (Pinkayan, 1966) e o Índice de Anomalia de Chuva (IAC) (Rooy, 1965). O IAC obtém grande destaque, além de estabelecer

os meses ou anos secos e chuvosos, permite estabelecer o regime climático de uma determinada região ou local utilizando-se apenas os dados de chuva.

Maniçoba et al. (2017) ao avaliar o IAC de uma série de 54 anos de precipitação das microrregiões de Mossoró, Ceará-Mirim, Santa Cruz, Cruzeta, Natal e Apodi do Estado do Rio Grande do Norte, evidenciaram elevada quantidade de anos com IAC negativo 30, 30, 33, 29, 29 e 34 anos, respectivamente. Devido a essas ocorrências a prática da agricultura de sequeiro nessas localidades se torna instável, com riscos de perdas de produtividade em decorrência do déficit hídrico (Alberto et al., 2006). Na Região sul do pais Berlato et al. (2005), demonstram que os altos índices de produtividade do milho é alcançado sob precipitação acima da normal climatológica, ocasionadas pelo fenômeno El Niño e La Niña determina queda na produtividade.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi relacionar a variabilidade interanual da precipitação pluvial com a variabilidade interanual da produtividade de grãos de soja do município de Mata Roma, através da caracterização do Índice de anomalia de chuva (IAC).

METODOLOGIA

Dados agrícolas e climáticos

Os dados de produtividade média (kg ha^{-1}) para a cultura da soja referente ao município de Mata Roma, foram obtidos do banco de dados do SIDRA/IBGE, que é a razão entre a produção por área colhida, com registros compreendendo o período de 2003 a 2019.

Os dados de precipitação pluvial diários do período de 1985 a 2019 foram obtidos da rede pluviométrica pertencente à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com código 343009 nas coordenadas 43°6’43” O e 3°37’33” S localizado no município (Figura 1). Inicialmente realizou-se uma análise de consistência dos dados de chuva para verificar a existência de falhas nos dados, onde se constatou anos com datas sem registros. Identificada tal ocorrência, esses anos foram retirados (1992; 1995; 1997 e 1998) da análise da série histórica de precipitação, totalizando 31 anos de dados de chuva.

Análise do índice de Anomalia de Chuva

A análise do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) mensal e anual para toda série de chuva, baseou-se na classificação elaborada por Araújo et al. (2009) para os anos secos e úmidos (Tabela 1). Na determinação do IAC, utilizou-se a metodologia sugerida por Rooy (1965), e adaptada e testada por Freitas (1998), Marcuzzo et al. (2011), Gross e Cassol (2015), Noronha et al. (2016) e Cury et al. (2018), que objetiva a obtenção das anomalias positivas e negativas da série histórica de precipitação, e estão expressas a seguir:

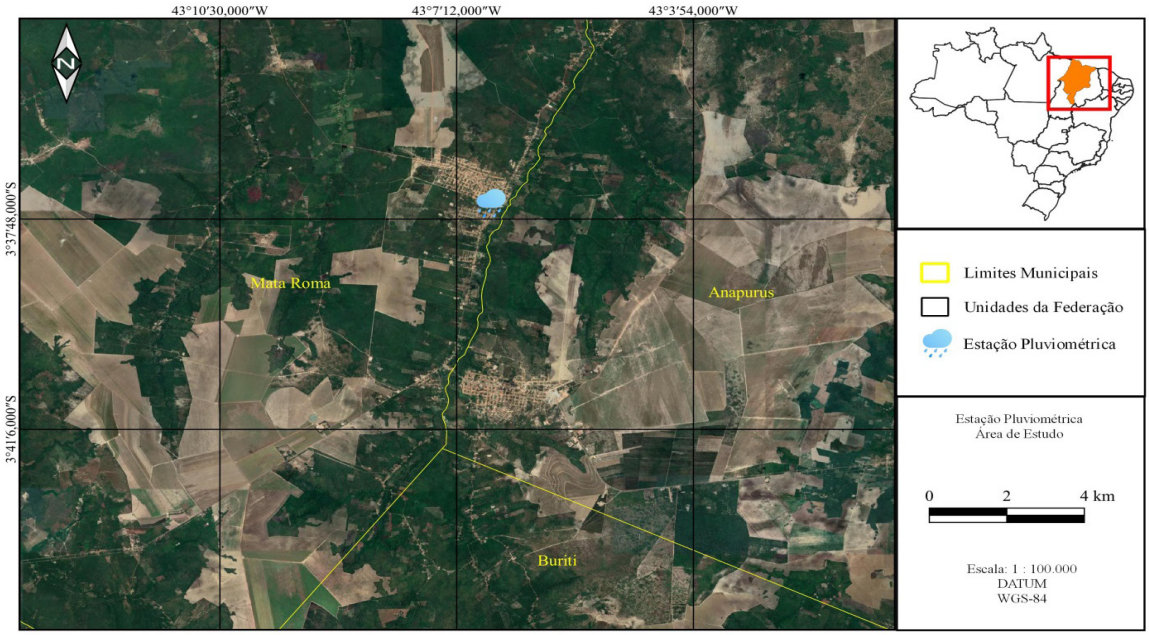

Figura 1. Localização da área de estudo e posto pluviométrico

$$IAC_{POSITIVO} = 3 \times \frac{\left|N - \overline{N}\right|}{\left|X - \overline{M}\right|} \quad (1)$$

$$IAC_{NEGATIVO} = -3 \times \frac{\left|N - \overline{N}\right|}{\left|X - \overline{M}\right|} \quad (2)$$

Em que,
N = precipitação mensal atual (mm), ou seja, do ano que será gerado o IAC;
$\overline{N}$ = precipitação média mensal (mm) da série histórica;
$\overline{M}$ = média das dez maiores precipitações mensais (mm) da série histórica;
X = média das dez menores precipitações mensais (mm) da série histórica; e as anomalias positivas são valores acima da média e negativa abaixo da média.

Tabela 1. Classes de intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

(IAC)	**Classe de Intensidade**
≥ 4	Extremamente Chuvoso
2 > 4	Muito Chuvoso
0 > 2	Chuvoso
0 < -2	Seco
-2 < -4	Muito Seco
≤ -4	Extremamente Seco

Inicialmente realizou-se a análise de correlação de Pearson (r) entre a precipitação pluvial trimestral centrada nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio (DJF, JFM, FMA, MAM, AMJ). Posteriormente foi determinada a relação entre a produtividade de grãos do município de Mata Roma e a precipitação integrada dos períodos com coeficientes de correlação significativos pela Equação 3 (Gomes et al., 2019). Após a identificação dos períodos (meses) em que a precipitação exerce maior influência nas produtividades da soja, foi ajustado o modelo de regressão quadrático. Realizou-se também a representação da variabilidade interanual das produtividades e da precipitação do período 2003-2019. Para análise da distribuição da precipitação na região produtora de soja associada aos IAC foram usadas séries históricas do período 1985-2019 e os dados representados na forma de boxplot.

$$r = \frac{\sum\left(X - \overline{X}\right)\left(Y - \overline{Y}\right)}{\sqrt{\sum\left(X - \overline{X}\right)^2 . \sum\left(Y - \overline{Y}\right)^2}} \quad (3)$$

Em que,
X = variável precipitação, mm;
Y = variável produtividade de grãos, kg ha^{-1};
$\overline{X}$ = Média variável precipitação, mm;
$\overline{Y}$ = Média variável produtividade de grãos, kg ha^{-1}.

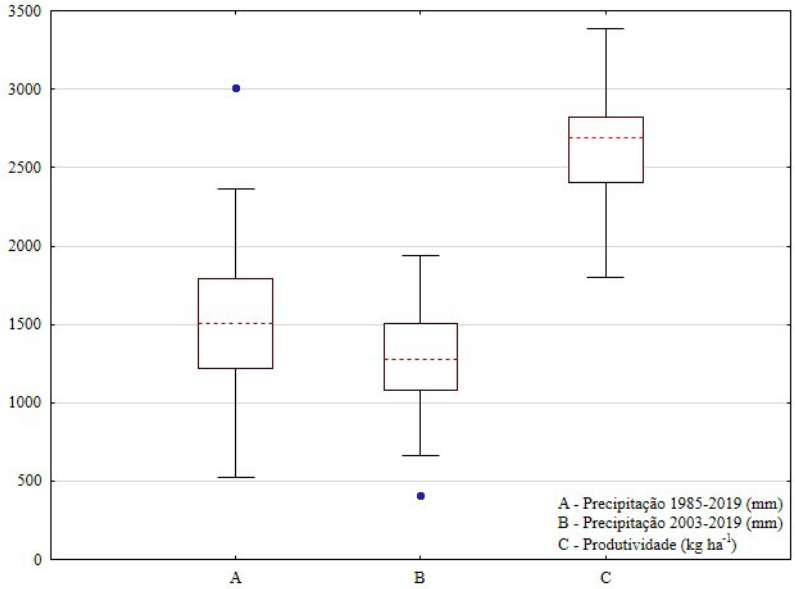

Figura 2. Boxplot dos eventos de precipitação pluvial para toda série histórica 1985-2019 (A), para o período 2003-2019 (B) e para os dados de produtividade de grãos de soja 2003-2019 (C)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estatística descritiva dos dados de chuva e produtividade de grãos de soja

Na Figura 2 podemos analisar os dados de precipitação total anual para a série histórica de 1985-2019, e total mensal no período de 2003 a 2019 para os meses de janeiro a maio e a produtividade de grão de soja (2003-2019) na referida região produtora de Mata Roma.

A média da precipitação pluvial foi de 1565,1 e 1455,4 mm para os períodos de 1985-2019 e 2003-2019, respectivamente. A maior parte da precipitação anual (1985-2019) ocorreu na faixa entre 1220,3 a 1790,5 mm, verifica-se na série um valor atípico de 3007,5 mm e alta variabilidade com amplitude de 2485,6 mm. Analisando apenas os dados de precipitação do período de 2003-2019, que concentra os meses de janeiro a maio, houve ocorrência na faixa de 1083,6 a 1509,1 mm, alta amplitude 1535,5 mm e valor extremo de 405,8 mm. Com relação aos dados de produtividade, a média para o período (2003-2019) foi de 2622,2 kg ha^{-1}, com ocorrência na faixa entre 2408 a 2820 kg ha^{-1}.

Correlação entre precipitação e produtividade da soja

A Tabela 2 mostra a correlação entre a precipitação pluvial e a produtividade para o município de Mata Roma. Verifica-se que as precipitações de todos os trimestres avaliados se correlacionaram positivamente com a produtividade da cultura da soja, com destaque para o período AMJ (r = 0,607). Quando foi calculado o coeficiente de correlação da precipitação pluvial para o período de janeiro a maio, verificou-se que o mesmo aumentou (r = 0,653), demostrando que a precipitação associada nesse período é a que responde pela maior parte da variabilidade interanual das produtividades da soja no município de Mata Roma. Essa correlação positiva de janeiro a maio é explicada pela época de semeadura da soja na região, que vai de janeiro a fevereiro com cultivares de ciclo de 110 e 140 dias.

Tabela 2. Correlação entre precipitação pluvial e produtividade de grãos da soja no município de Mata Roma

Período	Coeficiente de Correlação (r)
Dez-Jan-Fev	0,523 (p = 0,031)
Jan-Fev-Mar	0,484 (p = 0,048)
Fev-Mar-Abr	0,517 (p = 0,033)
Mar-Abr-Mai	0,513 (p = 0,035)
Abr-Mai-Jun	0,607 (p = 0,009)
Jan-Fev-Mar-Abr-Mai	0,653 (p = 0,004)

p – valor ao nível de 5% de probabilidade

IAC na escala anual (1985-2019)

Os anos secos e os chuvosos, na série de 31 anos (1985-2019), podem ser visualizados através da análise do IAC anual, tornando possível identificar períodos onde esses eventos foram mais intensos ou duradouros. É possível visualizar que para todo o período analisado, houve 14 anos com desvios positivos e 17 anos com desvios negativos, com variação de 8,16 a 0,48 e −0,20 a −5,90, respectivamente (Figura 3).

Maniçoba et al., (2017), utilizando a mesma metodologia para identificar anos secos e chuvosos na mesorregião do Rio Grande do Norte, verificaram que entre os municípios analisados, Apodi foi o que apresentou o resultado mais severo, com 34 anos secos e 20 anos úmidos.

Analisando o período de 2003 a 2019, que coincide com registros de produtividade de grãos de soja na região de estudo, destacam-se dois períodos consecutivos de IAC negativos (−IAC), o primeiro período de 2004 a 2007 e o segundo de 2012 a 2016 com valores mais negativos de IAC, do que o período de 2004 a 2007 e um período de mais de dois anos consecutivos de IAC positivo (+IAC) de 2017 a 2019. Dentre os anos de −IAC mencionados, o ano de 2012 foi o que apresentou o maior índice de anomalia negativo de −5,90, classificando este ano como extremamente seco, com precipitação total anual de 1177,4 mm, valor este abaixo da média das séries pluviométricas (1985-2019 e 2003-2019), desse total apenas 405,8 mm ocorreu de janeiro a maio, período este de maior correlação com a produtividade da soja. Corroborando com os resultados encontrados, Nascimento et al., (2017) avaliando os principais eventos de seca e chuvoso para uma série de precipitação de 1987 a 2015 do

Estado do Maranhão, constatou uma ocorrência de 70 meses secos com picos máximos ocorridos nas décadas de 1990 e 2010 com valores de seca extremas iguais a −2,98 e −3,61, respectivamente e 107 meses chuvosos com a maior sequência chuvosa ocorrendo de janeiro de 1988 a maio de 1990 com valor médio de 1,57.

Como a microrregião de Mata Roma está localizada na região Norte do Estado do Maranhão e ao Norte do Nordeste Brasileiro (NNEB), os sistemas mais importantes que atuam na precipitação pluvial nessa localidade são os VCAN nos meses de janeiro e fevereiro e a ZCIT em março e abril (Nascimento et al., 2015). Entretanto, os eventos de grande escala El Niño (EM) e La Niña (LN), podem interferir positivamente ou negativamente nas chuvas de uma determinada região (Brito et al., 2022; Rodrigues et al., 2021). Estudos realizados por Reboita e Santos (2015), identificaram que as condições de seca se intensificam no NNEB na presença de El Niño e do Oceano Atlântico com anomalias mais quentes na parte norte do que na parte mais ao sul, como observados para os períodos de –IAC (2003-2019).

IAC na escala mensal (janeiro a maio / 2003-2019)

A análise do IAC do período 2003-2019, em escala mensal, com o período completo em escala anual, e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 3. Observando a média do IAC mensal (janeiro, fevereiro, março, abril e maio) com o respectivo IAC anual, observa-se que houve poucas mudanças na classificação, sendo observadas essas mudanças para os anos de 2007, 2012, 2013, 2015, 2016 e 2018. O fato de não ter ocorrido tantas mudanças na classificação, pode ser explicado pela ocorrência da precipitação na região de estudo, que se concentra nos meses de janeiro a julho devido à atuação dos VCAN e da ZCIT, com valor máximo ocorrendo no mês de março (Nascimento et al., 2015). Assim, o período de janeiro a maio (2003-2019) a precipitação total representa 85,96% em média da precipitação total anual. Com base na analise do IAC mensal pode-se agrupar quatro classes climáticas para o período de 2003-2019, sendo elas muito seca (MS), seca (S), úmida (U) e muito úmida (MU), com valores médios de precipitação e produtividade variando de 665,75 a 1941,3 mm e 2160 a 2815,57 kg ha^{-1}, respectivamente.

Variabilidade da precipitação e produtividade

A variabilidade interanual da produtividade média da cultura da soja e da precipitação do período de maior correlação (janeiro a maio) está representada na Figura 4. Percebe-se que a variabilidade interanual dos rendimentos está associada à variabilidade interanual da precipitação

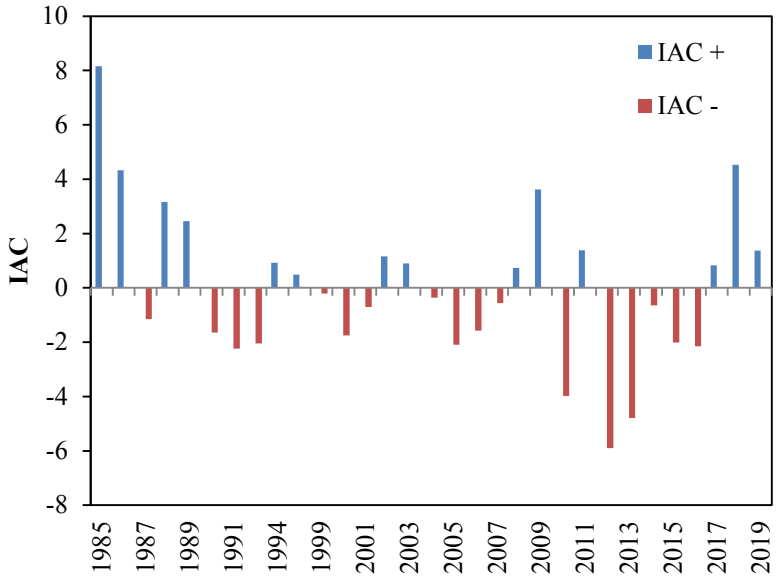

Figura 3. Índice de anomalia de chuva para o período de 1985 a 2019, em escala anual, para o município de Mata Roma

Tabela 3. Comparativo entre o Índice de Anomalia de Chuva do período de 2003-2019 em escala mensal e o período completo (1985-2019) em escala anual

Year	Mensal RAI						Classification	
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Average	Monthly	Yearly
2003	−2.85	5.18	−0.81	0.03	0.53	0.41	R	R
2004	1.63	0.30	−0.12	−0.89	−1.83	−0.18	D	D
2005	−2.86	−1.07	−2.49	−2.44	−1.90	−2.15	VD	VD
2006	−2.98	1.57	−4.38	−1.29	2.21	−0.98	D	D
2007	−5.02	2.70	4.07	1.48	−2.85	0.08	**R**	D
2008	0.80	−2.83	1.78	2.56	1.27	0.72	R	R
2009	3.73	−1.75	2.03	4.64	4.49	2.63	VR	VR
2010	−1.74	−3.86	−1.71	−3.46	−2.65	−2.69	VD	VD
2011	−2.85	2.20	−2.70	6.88	4.41	0.71	R	R
2012	−2.32	−3.13	−4.21	−6.22	-3.70	−3.92	**VD**	ED
2013	−0.58	−2.44	−5.21	−4.35	−1.61	−2.84	**VD**	ED
2014	0.47	−1.96	−4.55	−0.94	4.77	−0.44	D	D
2015	−3.70	−2.31	2.69	−1.17	−1.18	−1.13	**D**	VD
2016	1.08	−2.68	3.32	−2.31	−3.70	−0.86	**D**	VD
2017	1.47	1.32	−0.46	0.65	−0.52	0.49	R	R
2018	4.42	5.29	−2.08	2.61	−0.39	1.97	**R**	ER
2019	1.85	0.92	1.02	1.38	2.41	1.51	R	R

U – Úmido; MU – Muito úmido; EU – Extremamente úmido; S – Seco; MS – Muito seco; ES – Extremamente seco

pluvial do período de janeiro a maio. Pode-se observar dois anos (2010 e 2012) com rendimentos bem abaixo da média que coincidem com anos muito secos (Tabela 3), com precipitações da ordem de 731,3 e 405,8 mm, e produtividade de 1800 kg ha^{-1}, respectivamente. Comparando com o rendimento médio 2622,2 kg ha^{-1} do período (2003-2019), houve uma perda de produtividade de 68,64% em média. Essa seca severa ocorrida em 2012 foi relatada de norte (Rodrigues et al., 2021) a sul (Gross & Cassol, 2015, Chechi & Sanches, 2013) do Brasil, trazendo prejuízos sociais, ambientais e na produtividade agrícola (Martins et al., 2017). Com relação à região NNEB, o principal sistema atmosférico indutor de chuvas é a ZCIT. Entretanto, segundo Reboitas et al. (2014) quando se tem um sistema de grandes proporções caracterizado como forte, como é caso do El Niño (EN) que inibe a formação vertical de nuvens sobre o Nordeste brasileiro, e somando-se ao EN um maior aquecimento da Temperatura da Superfície do Mar do Atlântico Tropical Norte, esses sistemas favorecem a formação da ZCIT mais ao norte de sua posição climatológica, causando secas severas, como as observadas em 2010 e 2012 na região de estudo.

Por outro lado, em geral, altas produtividades médias coincidem com precipitações pluviais anuais acima de 1000 mm. Entretanto, quando há ocorrência de excesso de precipitação nos primeiros meses (jan e fev), como foi observado no ano de 2018, um acumulado de 871,1 mm, percebe-se uma diminuição na produtividade, indicando que o excesso de água reduz a produtividade (Santos et al., 2018). A soja tem dois períodos bem determinados com relação à falta de água: da semeadura à emergência, tanto o excesso como a falta de água são prejudiciais ao estabelecimento da cultura (Farias et al., 2001).

Com base no Zoneamento de Rico climático para a soja no Estado do Maranhão, ano safra 2020/2021 (MAPA), o período de semeadura para Mata Roma se dá de janeiro a fevereiro. Considerando uma semeadura para o ano de 2018, no dia 1ª de janeiro e uma cultivar de ciclo precoce de 110 dias (Fehr e Caviness, 1977), esta cultivar terá completado seu ciclo no fim do mês de abril, do referido ano. Este mês apresentou uma precipitação mensal de 484,2 mm, fato este que prejudica a colheita mecanizada, causando perdas significativas devido a chuvas torrenciais (Holtz & Reis, 2013).

Na Figura 5 verifica-se que a função quadrática ajusta-se bem aos dados médios observados, mostrando que a precipitação de janeiro a maio explica 99% da variação interanual das produtividades da soja no município de Mata Roma, para um período mais adequado da semeadura entre janeiro a fevereiro, para cultivares adaptadas as condições edafoclimáticas da região, com ciclo de cultivo médio de 110 a 140 dias (Kaster & Farias, 2012).

De acordo com a função, a produtividade máxima média da soja de 2942,52 kg ha^{-1}, é alcançado com uma precipitação de 1709 mm, equivalente a 341,75 mm, em média, por mês. Esta precipitação é superior à média mensal do período de janeiro a maio (2003-2019). De acordo com Farias et al. (2007) as necessidades hídricas da cultura da soja para uma produtividade máxima variam entre 450 e 800 mm de água. Embora tenha-

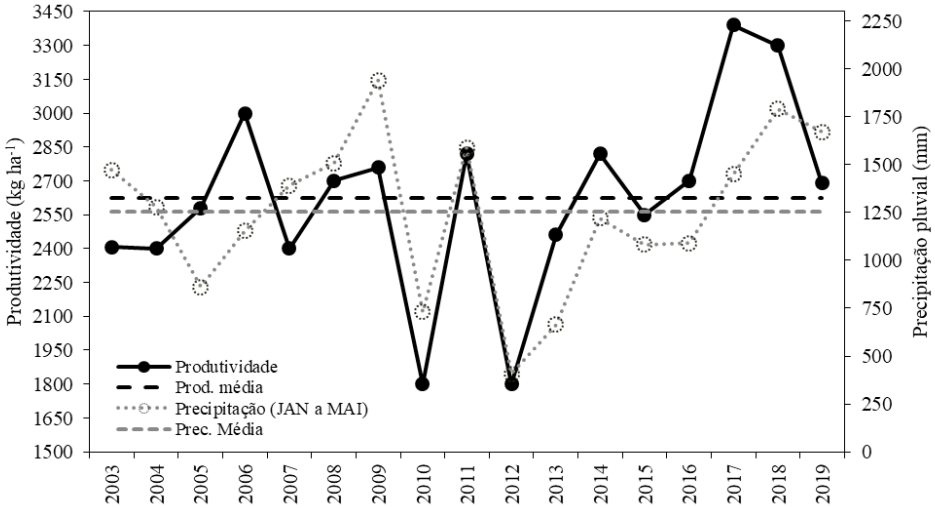

Figura 4. Produtividade da soja e precipitação do período de janeiro a maio (2003-2019) para o município de Mata Roma

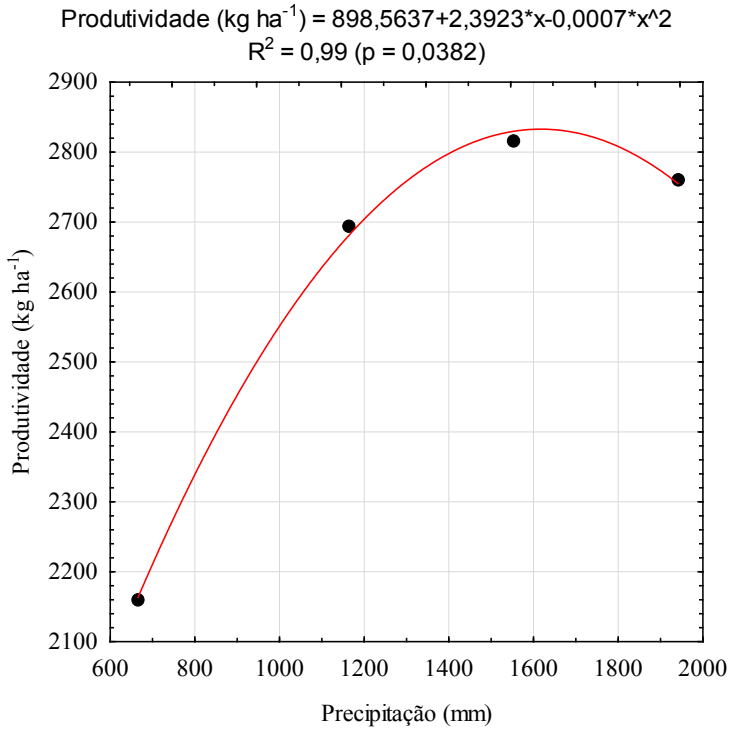

Figura 5. Relação entre precipitação e produtividade de grãos de soja (de janeiro a maio) para o município de Mata Roma, no período de 2003 a 2019

se observado, em média, precipitações acima das necessidades hídricas para a cultura da soja, as Figuras 2 e 4 indicam que houve alta variabilidade das precipitações, adicionando-se a este fato, a ocorrência de anos com anomalias negativas — como foi constatado para o ano de 2012, por exemplo, com precipitação acumulada para os meses de janeiro a maio de 405,8 mm — resultando em quebra de produtividade da cultura da soja, pois a mesma possui dois períodos bem críticos ao déficit hídrico, o de floração e enchimento de grãos. Suyker e Verma (2009) verificaram, em um experimento sob condições naturais de campo, um consumo total de água pela soja desde a semeadura até a sua colheita equivalente a 420 mm. Já em condições edafoclimáticas de Paragominas-PA, Souza et al. (2016) verificou que o consumo total de água pela soja (cultivar BRS Tracajá) foi de 335 mm. Berlato et al. (1986) constatou que a soja necessita, em média, para todo ciclo, cerca de 827 mm de água para a condição climatológica do Estado do Rio Grande do Sul. Dependendo da região do Brasil e cultivar utilizada, a necessidade hídrica de todo o ciclo da soja para a obtenção de bons níveis de rendimentos varia (Farias et al., 2007).

CONCLUSÃO

- A variação interanual da precipitação no período de janeiro a maio foi fator determinante que resultou na variabilidade das produtividades, sob cultivo de sequeiro, da cultura da soja para o município de Mata Roma.
- Verificou-se de maneira geral a produtividade acompanhou o comportamento da precipitação no período analisado (2003-2019), ressaltando que pode haver discrepâncias em anos específicos, como ocorrido em 2005, muito seco e produtividade de 2580 kg ha^{-1}, valor próximo da média.
- Períodos de precipitação elevadas na semeadura também podem causar quedas de produtividade como verificado no ano de 2018 com precipitação de 871,1 mm na janela de semeadura (janeiro a fevereiro).
- Anos com ocorrência de períodos muito secos podem acarretar em média uma perda de produtividade de 68%. Entretanto, a fortes evidências de que em anos considerados como seco a produtividade alcança valor próximo da média (2622,2 kg ha^{-1}) do período 2003-2013.
- A produtividade máxima média para a cultura da soja na região de Mata Roma ocorre com uma precipitação média de 1709 mm, equivalente a 341,8 mm por mês no período de janeiro a maio.
- A metodologia empregada apresenta potencial de uso e adaptação para outras localidades e culturas.

DECLARAÇÃO DE CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

SANTOS, E.S.: Conceituação, Investigação, Metodologia, Supervisão, Redação – rascunho original; **GUERRA FILHO, P.A.:** Supervisão, Visualização, Redação – revisão & edição; **OLIVEIRA, S.S.:** Curadoria de Dados, Investigação; **SILVA, B.S.:** Curadoria de dados; **VERAS, A.E.S.:** Curadoria de dados; **SOUZA, D.A.:** Curadoria de dados.

DECLARAÇÃO DE INTERESSES

Os autores declaram que não têm interesses financeiros concorrentes conhecidos ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, C.M.; STRECK, N.A.; HELDWEIN, A.B.; BURIOL, G.A.; MEDEIROS, S.L.P. Água no solo e rendimento do trigo, soja e milho associados ao El Niño Oscilação Sul. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.41, n.7, p.1067-1075, 2006.

ALMEIDA, H. A.; FREITAS, R. C.; SILVA, L. Determinação de períodos secos e chuvosos em duas microrregiões da Paraíba através da técnica dos quantis. **Revista de Geografia**, Recife, v. 30, n. 1, p. 217-232, 2013.

ARAÚJO, L. E DE., SOUSA, F. DE A. S. DE., RIBEIRO, M. A. DE F. M., SANTOS, A. S. DOS., MEDEIROS, P. DA C., 2008. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia** v. 23, p.162-169, 2008.

ARAÚJO, L. E.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F.A.S. Análise Climática da Bacia do Rio Paraíba - Índice de Anomalia de Chuva (IAC). **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 3, p.508-523, 2009.

ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F.; MORAES NETO, J. M.; SOUSA, F. A. S. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação na bacia do Rio Paraíba usando IAC. **Revista de Geografia**, Recife, v. 24, n. 1, p. 47-59, 2007

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; FONTANA, D. C.; CUNHA, G. R.; SANTOS, M. L. V.; FARIAS, J. R. B.; BARNI, N. A. Agrometeorologia aplicada à irrigação. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1999. 125 p.

BERLATO, M. A., MATZENAUER, R., BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do Tanque Classe A e radiação solar global. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 251-259, 1986.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 119-125, 1999.

BERLATO, M.A.; FARENZEMA, H.; FONTANA, D.C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n. 5, p.423-432, 2005.

BRITO, A.P.; SILVA, N.C.; TOMASELLA, J.; FERREIRA, S.J.F.; MONTEIRO, M.T.F. Análise do Índice de Anomalia de Chuva e Tendência de Precipitação para Estações Pluviométricas na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 1, p. 19-30, 2022.

CHECHI, L.; SANCHES, F. O. O Uso do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) na avaliação do Fenômeno do El Niño Oscilação Sul (ENOS) no Alto Uruguai Gaúcho entre 1957-2012. Revista de Geografia Física, v. 6, n. 6, p. 1586-1597, 2013.

CURY, M. D.; PEZENTE, D. P.; GONÇALVES, F. N.; SUTIL, T.; MENEGASSO, J. D. Análise do índice de anomalia de chuva (IAC) á bacia hidrográfica do rio Urussanga/SC. **Revista Tecnologia e Ambiente**, Criciúma, v. 24, n. p. 71 – 80, 2018.

FARIAS, J.R.B.; ASSAD, E.D.; ALMEIDA, I.R.; EVANGELISTA, B.A.; LAZZAROTTO, C.; NEUMAIER, N.; NEOPOMUCENO, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.415-421, 2001.

FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

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

FREITAS, M. A. S. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia,** Fortaleza, v.19, n. 1, p. 84-95. 1998.

GOMES, D. J. C.; LIMA, A. M. M.; SOARES, C. S. T.; FERREIRA, N. S. Influência do uso e cobertura da terra associados a eventos climáticos em sistemas hidrometeorológicos. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 13, n. 2, p. 21-36, 2019.

GROSS, J. A.; CASSOL, R. Ocorrências de índices de anomalia de chuva negativos no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 09, n. 2, p. 21-33, 2015.

HOLTZ, V.; REIS, E.F. Perdas na colheita mecanizada de soja: uma análise quantitativa e qualitativa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 347-353, 2013.

HIERA, M.D.; JUNIOR, A.F.L.; ZONELLA, M.E. Análise da tendência da precipitação no Estado do Ceará no período 1974 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, p. 300-321, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612. Acesso em: 01 maio de 2022.

LOPES, I.; LEAL, B. G.; RAMOS, C. M. C.; MELO, J. M. M. DE. Espacialização da precipitação para a região do Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 5, p. 893-903, 2016.

LUCENA, D. B.; FILHO, G. F. M.; SERVAIN, J. Impact evaluation of the extreme climatic events in the pacific and atlantic oceans on the northeast Brazil rainy season. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 297- 312, 2011.

MARCUZZO, F. F. N.; ROCHA, H. M.; MELO, D. C. R. Mapeamento da precipitação pluviométrica no bioma pantanal do estado do Mato Grosso. **Revista GeoAmbiente**, Jataí, n. 16, p. 66 – 84, 2011.

MARENGO, J.A.; CUNHA, A.P.; ALVES, L.M. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, CPTEC/INPE, v. 3, p. 49-54, 2016.

MAUD, M.; SILVA, T. L. B.; NETO, A. I. A.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agronômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 3, n. 9, p. 175-181, 2010.

McKEE, T.B.; DOESKEN, N.J.; KLEIST, J. The relationnships of drought frequency and duration to time scales. 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA. Preprints. Bull. **American Meteorological Society**, p. 233-236. 1993.

MOLION, L.C.B. Gênese do El Niño. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 1-4.

MONIÇOBA, R. M.; SOBRINHO, J. E.; GUIMARÃES, I. T.; JUNIOR, E. G. C.; SILVA, T. T. F.; ZONTA, J. H. Índice de anomalias de chuva para diferentes mesorregiões do Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 10, n. 4, p. 1110-1119, 2017.

NASCIMENTO, F.C.A.; ARAÚJO, F.R.C.D.; BRAGA, C.C.; COSTA, E.V.S. Análise dos Padrões Espaciais e Temporais da Precipitação no Estado do Maranhão-Brasil. **Revista Brasileira de Geografica Física**, Recife, v. 8, n. 2, p. 422-430, 2015.

NASCIMENTO, F.C.A.; BRAGA, C.C,; ARAÚJO, F.R.C.D. Análise Estatística dos Eventos Secos e Chuvosos de Precipitação do Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 32, n. 3, p. 375-386, 2017.

NORONHA, G. C.; HORA, M. A. G. M.; SILVA, L. P. Análise do índice de anomalia de chuva para a microbacia de Santa Catarina/Cambiocó, RJ. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 1, p.74-81, 2016.

PASSOS, M.L.V.; RAPOSO, A.B.; MENDES, T.J. Evapotranspiração de refência por diferentes métodos para o município de Chapadinha-MA. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Patos, v.13, n.2, p.146-153, 2017.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of ocurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966. (Hidrology papers, n. 12).

PRESOTI, A. E. P. **Avaliação de Impactos Ambientais da Sojicultura em um Ecossistema aquático da Microrregião de Chapadinha, MA.** 2008. Dissertação (Mestrado em Oceanografia e Limnologia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2008.

REBOITA, M. S; SANTOS, I. Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, 2015.

RODRIGUES, B.D.; COUTINHO, M.D.L.; SAKAMOTO, M.S.; JACINTO, L.V. Uma análise sobre as chuvas no Ceará baseada nos eventos de El niño, La niña e no dipolo do servain durante a estação chuvosa. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, n. 17, p. 507-519, 2021.

ROOY, M. P.; VAN. A. Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space. **Notos**, Pretoria, v. 14, p. 1- 43, 1965.

SANTOS, E.S.; SILVA, E.F.F.; MONTENEGRO, A.A.A.; SOUZA, E.S.; SOUZA, R.M.S.; SILVA, J.R.I. Produtividade do pimentão sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio em região semiárida. **Irriga**, v. 23, n. 3, p. 518-534, 2018.

SANTOS, W. O.; MESQUITA, F. O.; BATISTA, B. D. O.; BATISTA, R. O. ALVES, A. S. Precipitações máximas para o município de Mossoró de 1964 a 2011 pela distribuição de Gumbel. **Irriga**, Botucatu, v. 9, n. 2, p. 207-213, 2014.

SCHOFFEL, E.R.; SACCOL, A.V.; MANFRON, P.A.; Medeiros, S.L.P. Excesso hídrico sobre os componentes de rendimento da cultura da soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.1, p.7-72, 2001.

SCHOFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Contribuição relativa da temperatura do ar no desenvolvimento de três cultivares de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.2, p.97-104, 2002.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 1, p. 1-18, 2015.

SOUZA, P.J.O.; ORTEGA-FARIAS, S.; ROCHA, E.J.P.; SOUSA, A.M.L.; SOUZA, E.B. Consumo hídrico da soja no Nordeste Paraense. Irriga, v. 1, n. 01, p. 218-231, 2018.

SUYKER, A.E.; VERMA, S.B. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.149, p.443-452, 2009.