

EFEITO DE EL NIÑO E LA NIÑA NA PRODUTIVIDADE DA SOJA EM PLANALTINA/DF

Alfredo José Barreto Luiz¹; Fernando Antônio Macena da Silva²

Autor para correspondência: alfredo.luiz@embrapa.br

¹Pesquisador na Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP; ²Pesquisador na Embrapa Cerrados, Planaltina, DF.

RESUMO

Os fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) podem modificar as interações entre as variáveis meteorológicas e o crescimento, desenvolvimento e produção das culturas agrícolas. Essas modificações podem ser avaliadas através de modelos de simulação do crescimento das plantas, os quais permitem realizar inúmeros experimentos virtuais que representam diferentes condições de manejo das culturas em curto espaço de tempo. O objetivo desse trabalho foi investigar a existência de efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña, medidos pelo indicador Índice Oceânico Niño (ION), sobre a produtividade da soja (*Glycine max* L.). As estimativas de produção foram realizadas pelo STICS (*Simulateur mult**TI**disciplinaire pour les Culture Standard*), modelo de cultura que simula o funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera, especificamente calibrado para a cultura da soja nas condições de cultivo encontradas na área da Embrapa Cerrados, em Planaltina, DF. O STICS foi utilizado para simular a produtividade da soja semeada em cada um dos 12 decêndios entre o início de setembro e o final de dezembro. Foram utilizadas as condições de precipitação observadas na estação meteorológica da Embrapa Cerrados, durante 47 anos, de 1974 a 2021. Com base no ION, um dos indicadores dos fenômenos opostos El Niño e La Niña, os mesmos 47 anos foram agrupados em 5 classes. Foi calculada a média de produtividade de cada decêndio para cada grupo. Os resultados mostram um forte efeito negativo dos anos de El Niño sobre a produtividade da soja nas semeaduras de setembro e outubro, na região de Planaltina, DF.

PALAVRAS-CHAVE: STICS; Índice Oceânico Niño; previsão de safras.

EFFECT OF EL NIÑO AND LA NIÑA ON SOYBEAN PRODUCTIVITY IN PLANALTINA/DF

ABSTRACT

El Niño Southern Oscillation (ENSO) phenomena can modify the interactions between meteorological variables and the growth, development and production of agricultural crops. These modifications can be evaluated through plant growth simulation models, which allow the performance of countless virtual experiments that represent different crop management conditions in a short period of time. The objective of this work was to investigate the existence of effects of the El Niño and La Niña phenomena, measured by the Oceanic Niño Index (ONI) indicator, on soybean (*Glycine max* L.) productivity. Production estimates were performed

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

using STICS (*Simulateur mult**I**disciplinaire pour les Culture Standard*), a crop model that simulates the operation of the soil-plant-atmosphere system, specifically calibrated for soybean crop under the cultivation conditions found in the Embrapa Cerrados area, in Planaltina, DF. We used STICS to simulate the productivity of sown soybeans in each of the 12 ten-day period between the beginning of September and the end of December. We used 47 years of daily precipitation conditions observed at the Embrapa Cerrados meteorological station, from 1974 to 2021. Based on the ONI, one of the indicators of the opposite phenomena El Niño and La Niña, the same 47 years were grouped into 5 classes. The average productivity of each ten-day period was calculated for each group. The results show a strong negative effect of El Niño years on soybean productivity in September and October sowings in the Planaltina region, DF.

KEY-WORDS: STICS; Oceanic Niño Index; crop forecasting.

INTRODUÇÃO

A produção agrícola brasileira é muito influenciada pela variabilidade do clima, especialmente da precipitação pluvial e temperatura do ar, que são fortemente influenciadas pelo El Niño e La Niña, principalmente nas regiões Nordeste e Sul do país, onde os efeitos se manifestam de maneira particularmente mais intensa.

Alguns trabalhos já estudaram a influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) sobre a produção de soja, mas os resultados mais significativos costumam ser observados nas regiões mais ao sul do Brasil, abaixo do Trópico de Capricórnio, onde os efeitos do ENOS são historicamente reconhecidos (Marins e Massoquim, 2017; Arsego et al., 2018).

A Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (em inglês: *National Oceanic and Atmospheric Administration* - NOAA) é uma instituição ligada ao governo estadunidense que faz parte do Departamento de Comércio dos Estados Unidos. A NOAA mantém um centro de previsão climática (*Climate Prediction Center*) que atualiza mensalmente uma página na internet com os dados do Índice Oceânico Niño - ION (*Oceanic Niño Index* - ONI), chamada de Episódios Frios e Quentes por Estação (*Cold & Warm Episodes by Season*). Nessa página são apresentados, a cada mês, dados do índice ION desde o ano de 1950.

A página é atualizada automaticamente na primeira quinta-feira de cada mês. Como é utilizado um filtro de alta frequência aos dados, os valores do índice ION podem mudar até dois meses após o valor inicial ‘em tempo real’ ter sido publicado. Portanto, os valores mais recentes do ION devem ser considerados como estimativas (NOAA, 2017).

O índice ION é formado por uma média móvel de três meses das anomalias estendidas e reconstruídas da temperatura da superfície do mar (*Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* - ERSST) sobre a região 3.4 do El Niño, que fica localizada entre 5° N e 5° S e entre 120° e 170° O, sobre o Oceano Pacífico. As anomalias são baseadas em períodos de 30 anos, atualizados a cada cinco anos (Huang, 2017).

Na série, aqueles valores ION que ultrapassam os limiares de +/- 0,5° C, são considerados indicadores de calor (os positivos maiores que 0,5) ou de frio (os negativos menores que -0,5), sendo associados à ocorrência dos fenômenos La Niña (os valores frios) e El Niño (os valores quentes). É importante lembrar que o índice ION é apenas um dos indicadores de

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

ocorrência desses fenômenos, e outros índices são sempre consultados para analisar a consistência da previsão indicada por ele.

Para estudar o impacto do fenômeno El Niño sobre a cultura do trigo, Hammer et al. (1996) utilizaram a classificação de outro indicador do fenômeno El Niño, o Índice de Oscilação do Sul (IOS), medido pela diferença de anomalia de pressão de superfície no Pacífico entre Tahiti e Darwin, em 5 fases (com base nos valores IOS do mês atual e anterior). Essas cinco fases do IOS já haviam sido definidas por meio do agrupamento de todos os pares sequenciais de dois meses do IOS, usando análise de componentes principais e uma análise de agrupamento (Stone et al., 1996). Segundo Zheng et al. (2018), o uso do IOS para investigar os efeitos nas culturas agrícolas, em especial na Austrália, demonstrou que a tática de adaptar genótipo e manejo às diferentes fases do IOS poderia resultar na obtenção de uma maior produtividade.

Os fenômenos El Niño Oscilação Sul (ENOS) podem modificar as interações possíveis entre as variáveis meteorológicas e o condicionamento do crescimento, desenvolvimento e produção das diferentes culturas e materiais genéticos superiores, sendo, portanto, um desafio a ser enfrentado para o aprimoramento de ferramentas associadas ao zoneamento agrícola de risco climático. Uma das maneiras de avaliar essas modificações é investigar a produtividade das culturas associada às condições meteorológicas ocorridas em anos atípicos do ponto de vista climático. Porém, a condução desses experimentos demanda tempo e recursos e, poucas instituições de pesquisa tem a infraestrutura necessária para estudos em larga escala e com várias culturas ao mesmo tempo. Uma das maneiras de contornar essa dificuldade é através da utilização associada de modelos biofísicos ou mecanicistas que simulam o crescimento, desenvolvimento e rendimento de culturas com os fenômenos climáticos adversos e significativos que possam ocorrer em um determinado local.

Há grande acervo de modelos biofísicos, DSSAT (IBSNAT, 1989), APSIM (Keating *et al.*, 2003), STICS (Brisson *et al.*, 1998), que podem ser utilizados para esse fim. O modelo STICS (*Simulateur mulTIdisciplinaire de Culture Standard*), é uma das opções para simular o crescimento e o rendimento de culturas em regiões tropicais (Affholder *et al.*, 2001; Scopel *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2000; Silva *et al.*, 2019). Trata-se de um modelo dinâmico que simula o funcionamento do sistema solo-planta-atmosfera com passo de tempo diário, descrito em detalhes por Bergez *et al.* (2014) e Brisson *et al.* (2002), e apresenta-se como um modelo genérico com as seguintes características: robustez, pouca exigência por dados de entrada, características de construção modular com fácil adaptação a diversos tipos de culturas.

OBJETIVOS DO TRABALHO

O principal objetivo desse trabalho foi investigar a existência de efeito dos fenômenos El Niño e La Niña, medidos pelo indicador ION, sobre a produtividade da soja em Planaltina, DF, estimada através de simulação usando o modelo STICS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Alguns estudos mostram a possibilidade e utilidade de classificar os eventos associados ao ENSO em cinco grupos (Hammer et al., 1996; Stone et al., 1996; Bertrand et al., 2020). Por esse motivo, optou-se por fazer uma análise de agrupamento dos dados do indicador ION. A

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

série de dados utilizada vai do primeiro valor mensal de 1950 até o último de 2022, totalizando 876 valores, associados cada um ao ano civil correspondente. Assim, os 73 anos disponíveis, com seus 12 valores mensais (de médias móveis de três meses), foi considerado como o conjunto a ser classificado. Embora o ano civil não represente exatamente as condições que afetam as atividades agrícolas em geral, ou da soja em especial, nenhuma outra opção (ano safra ou semelhante) foi definitivamente adotada na literatura, além disso, o ano civil tem a qualidade de ser utilizado em diversas áreas de estudo e na maioria dos países do mundo. Portanto, sobre esse conjunto de dados, uma análise de agrupamento foi realizada com o emprego da rotina FASTCLUS do programa SAS (SAS, 2013). A FASTCLUS é usada quando se quer ajustar uma análise de agrupamento para que cada classe tenha um número mínimo de observações (Santana Jr. et al., 2014) ou para fixar o número de grupos, como no presente caso, em que foram utilizadas cinco classes. Cada uma das doze médias (móvel de três meses) do índice ION de um ano foi tratada como uma variável independente a ser usada na análise de agrupamento. Cada um dos 73 anos foi considerado uma observação a ser classificada.

De forma totalmente independente da obtenção e tratamento dos dados relativos ao fenômeno ENOS, foram coletados os dados meteorológicos diários, entre 1974 a 2021, na estação da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina, DF, Brasil (15°33'33.99"S, 47°44'12.32"W), a uma altitude média de 1035 m, registrada no sistema de dados HIDRO da Agência Nacional de Águas – ANA – (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>) como: CPAC-Estação principal, Código: 01547016). Esses dados foram utilizados para alimentar o modelo de simulação de crescimento de plantas STICS (Brisson *et al.*, 1998, 2002).

O modelo foi previamente calibrado para as cultivares de soja BRS-7482RR e a BRS-8383IPRO e validado para as condições de genótipo, manejo e solos a partir dos ensaios de VCU - Valor de Cultivo e Uso, conduzidos pelo Programa de melhoramento da cultura da soja da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, em parceria a Fundação Cerrados e a Fundação Bahia (Landgraf, 2021). As cultivares utilizadas, BRS-7482RR e BRS-8383IPRO, são dos grupos de maturidade 7.4 e 8.3, respectivamente (Alliprandini et al., 2009), e foram semeadas em duas épocas de semeadura entre os anos 2019 e 2021, em blocos inteiramente casualizados com 4 repetições.

Como a semeadura da soja pode se estender de setembro a dezembro, empregou-se o modelo STICS para investigar os possíveis efeitos dos fenômenos El Niño e La Niña sobre o desempenho em produtividade de grãos das cultivares de soja, sob plantio convencional, em 12 diferentes decêndios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis do clima, entre 1974 e 2021 (Figura 1), que alimentaram o modelo STICS para estimativa da produtividade esperada das cultivares de soja BRS-7482RR e a BRS-8383IPRO, foram coletadas na estação meteorológica da Embrapa Cerrados em Planaltina, DF. O clima local é sazonal, classificado como tropical chuvoso Aw (Köppen), com estação seca no inverno e verão úmido e chuvoso (Silva et al., 2017). A média anual de precipitação em Planaltina no período estudado é 1.323 mm, enquanto as médias anuais das temperaturas máximas e mínimas são 28 °C e 16,4 °C, respectivamente.



Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

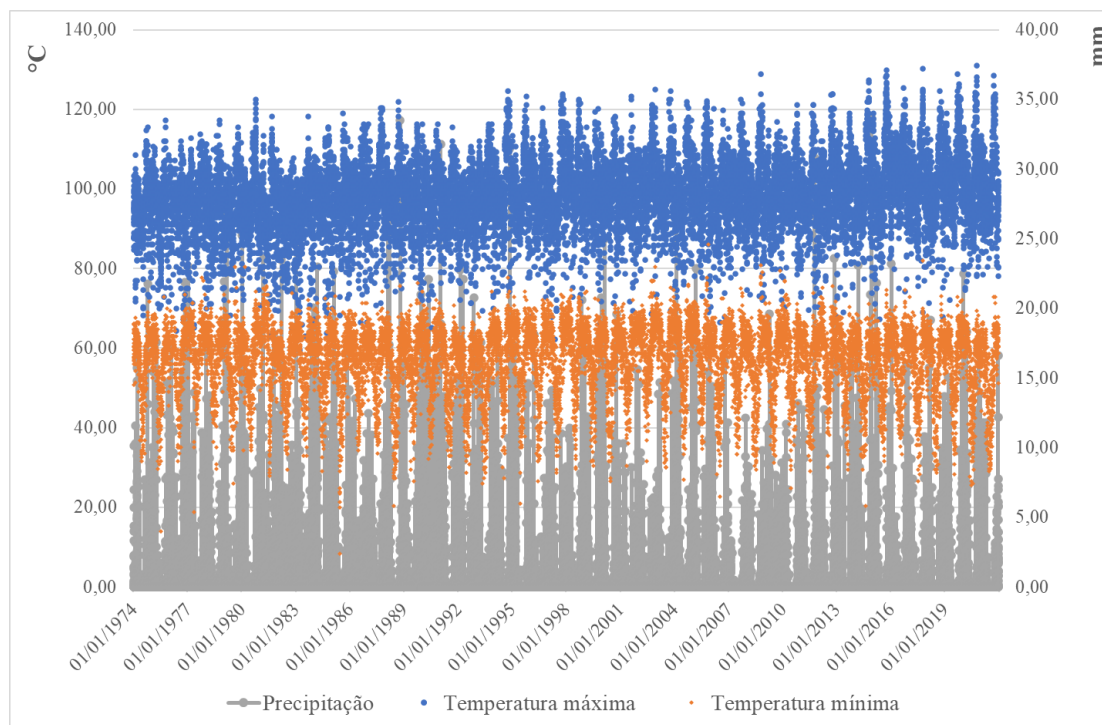


Figura 1. Precipitação, temperaturas do ar máxima e mínima diárias registradas na estação meteorológica da Embrapa Cerrados em Planaltina, DF, Brasil, durante o período de 01/01/1974 a 31/12/2021.

A análise de agrupamento dos dados do índice ION de 1950 a 2022, resultou na classificação dos anos em 5 grupos. Pelos valores desse índice nos anos de cada grupo, tanto pela sua média como pela frequência percentual em cada faixa de valores (menor que -0,5; entre -0,5 e 0,5; e maior que 0,5), foi possível associar claramente cada grupo a um tipo de ocorrência em relação aos fenômenos El Niño e La Niña (tabela 1).

Tabela 1. Classificação de 73 anos recentes segundo o Índice Oceânico Niño (ION)

Grupo	Média	N	Anos	Valores ION (%)		
				< -0,5	-0,5 a 0,5	> 0,5
La Niña	-0,80	16	1950, 1955, 1956, 1971, 1974, 1975, 1984, 1985, 1989, 1996, 1999, 2000, 2008, 2011, 2021, 2022	70,3	29,7	0
Início de La Niña	-0,42	10	1954, 1964, 1970, 1973, 1988, 1995, 1998, 2007, 2010, 2020	52,5	34,2	13,3
Neutro	0,13	30	1951, 1952, 1953, 1959, 1960, 1961, 1962, 1967, 1968, 1976, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1986, 1990, 1991, 1993, 1994, 2001, 2003, 2004, 2006, 2009, 2012, 2013, 2014, 2017, 2018	6,4	73,1	20,6
Fim de El Niño	0,49	8	1958, 1966, 1969, 1983, 1992, 2005, 2016, 2019	9,4	45,8	44,8
El Niño	1,00	9	1957, 1963, 1965, 1972, 1982, 1987, 1997, 2002, 2015	1,9	29,6	68,5

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

Apesar de não dispormos de dados da estação da Embrapa Cerrados para os anos anteriores a 1974, esses anos foram usados na análise de agrupamento com o intuito de fornecer o maior conjunto de dados disponíveis para a classificação, pois o evento El Niño é relativamente raro e, numa série de dados mais curta, a probabilidade de ocorrência de eventos significativos seria muito reduzida.

Entretanto, para a análise subsequente da relação entre produtividade e prevalência dos tipos de manifestação do fenômeno (fases de ENOS), somente os anos de 1974 em diante foram estudados. A partir dos dados da Embrapa Cerrados, relativos a 47 anos de produtividade das duas cultivares de soja, semeadas sob o sistema de manejo convencional do solo a cada decêndio, desde o início de setembro até o final de dezembro, realizou-se classificação dos resultados, simulados pelo modelo STICS, atribuídos aos grupos correspondentes, conforme apresentado na tabela 1. Os grupos constituíram os tratamentos e os anos de cada um deles foram considerados repetições. Para a semeadura em cada decêndio, na análise de variância, o experimento foi tratado como inteiramente casualizado. Isso porque os dados do índice ION, medidos sobre o Oceano Pacífico, milhares de quilômetros distantes da área da Embrapa Cerrados, por equipes e com instrumentos diferentes e em escala de tempo e forma de cálculo próprias, podem ser considerados totalmente independentes dos valores gerados por um modelo de simulação. Os resultados da análise são apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Análise de variância da produtividade simulada de duas cultivares de soja (BRS-7482RR e a BRS-8383IPRO), por decêndio de semeadura, com a fase do fenômeno ENOS como tratamento único (n=47).

Decêndios	BRS-8383IPRO		BRS-7482RR	
	F	Prob > F	F	Prob > F
S1	2,07	0,10*	1,41	0,25
S2	2,99	0,03**	2,33	0,07*
S3	2,83	0,04**	2,69	0,04**
O1	1,92	0,12	3,18	0,02**
O2	2,19	0,09*	2,37	0,07*
O3	2,38	0,07*	3,19	0,02**
N1	3,80	0,01***	2,86	0,04**
N2	3,04	0,03**	2,23	0,08*
N3	2,15	0,09*	1,29	0,29
D1	1,96	0,12	0,96	0,44
D2	1,29	0,29	1,62	0,19
D3	2,23	0,08*	1,77	0,15

Valores de F significativos a 10% (*); 5% (**); e a 1% (***).

Após a análise de variância, para aqueles decêndios em que o efeito da fase de ENOS sobre a produtividade foi significativo ao nível de 10%, foi realizado o teste Duncan de comparação de múltiplas médias no mesmo nível de significância. Na tabela 3 estão expostos os valores médios de produtividade nos meses de setembro e outubro e na tabela 4 os resultados para os meses de novembro e dezembro.

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

Tabela 3. Produtividade média simulada pelo modelo STICS, em kg ha⁻¹, de duas cultivares de soja (BRS-7482RR e a BRS-8383IPRO), segundo o decêndio de semeadura, nos meses de setembro e outubro, e o ano agrupado segundo a fase do fenômeno ENOS, em Planaltina, DF.

Grupo de anos	Decêndios					
	BRS-8383IPRO					
	S1	S2	S3	O1	O2	O3
La Niña	2.418 A	2.762 A	3.061 AB	3.352 A	3.554 A	3.868 A
Início de La Niña	1.587 AB	2.804 A	3.250 A	3.738 A	3.823 A	3.962 A
Neutro	1.525 AB	1.881 AB	2.318 ABC	2.880 AB	3.315 AB	3.557 AB
Fim de El Niño	1.425 AB	1.704 AB	2.090 BC	3.318 A	3.798 A	3.985 A
El Niño	493 B	818 B	1.507 C	2.438 B	2.697 B	3.087 B
BRS-7482RR						
La Niña	2.089	2.582 A	2.889 AB	3.181 A	3.417 ABC	3.619 A
Início de La Niña	1.319	2.392 A	3.112 A	3.435 A	3.906 A	3.900 A
Neutro	1.475	1.735 AB	2.084 ABC	2.569 AB	3.039 BC	3.418 A
Fim de El Niño	1.322	1.687 AB	1.851 BC	3.053 A	3.593 AB	3.899 A
El Niño	508	829 B	1.349 C	1.735 B	2.668 C	2.743 B

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 10%.

Tabela 4. Produtividade média simulada pelo modelo STICS, em kg ha⁻¹, de duas cultivares de soja (BRS-7482RR e a BRS-8383IPRO), segundo o decêndio de semeadura, nos meses de novembro e dezembro, e o ano agrupado segundo a fase do fenômeno ENOS, em Planaltina, DF.

Grupo de anos	Decêndios					
	BRS-8383IPRO					
	N1	N2	N3	D1	D2	D3
La Niña	4.020 A	4.169 AB	4.203	4.249	4.243	4.233 AB
Início de La Niña	4.260 A	4.419 A	4.214	4.069	3.987	3.981 B
Neutro	3.623 BC	3.695 B	3.778	3.899	3.961	3.926 B
Fim de El Niño	4.293 AB	4.283 A	4.234	4.314	4.345	4.427 A
El Niño	3.185 C	3.718 B	4.099	4.331	4.273	3.905 B
BRS-7482RR						
La Niña	3.857 A	3.874 ABC	3.963	4.082	4.063	4.056
Início de La Niña	3.970 A	4.244 A	4.003	3.721	3.689	3.770
Neutro	3.475 AB	3.583 BC	3.617	3.692	3.760	3.759
Fim de El Niño	4.002 A	4.168 AB	4.129	4.007	4.357	4.463
El Niño	3.043 B	3.324 C	3.777	3.942	4.095	3.913

Médias seguidas de mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente pelo teste de Duncan a 10%.

Para auxiliar na interpretação do comportamento da produtividade ao longo das diferentes datas de semeadura de cada cultivar, conforme cada fase do fenômeno ENOS, os valores médios foram expressos nos gráficos da Figura 2.

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

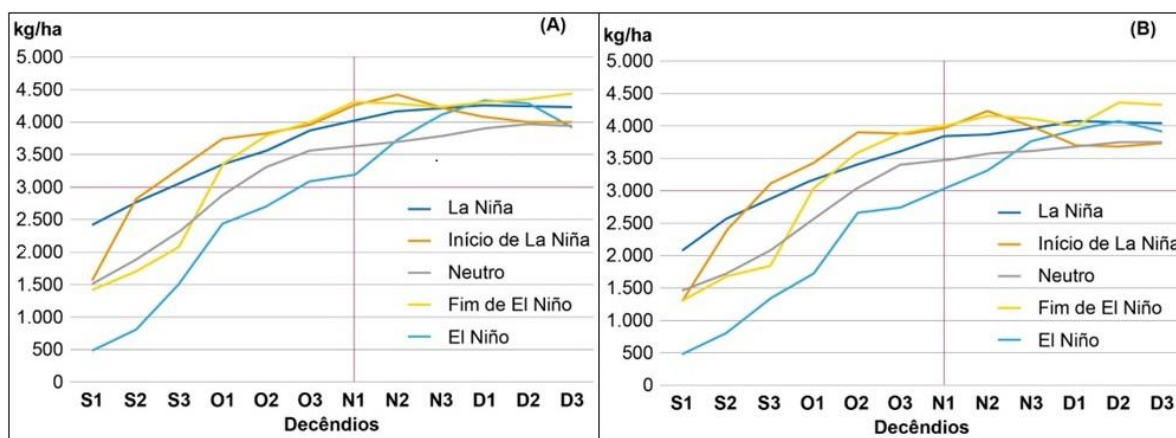


Figura 2. Produtividade média das cultivares de soja BRS-8383IPRO (A) e BRS-7482RR (B), em kg/ha, por decênio, nos anos classificados por fase do fenômeno ENOS.

Antes de mais nada, a tabela 3 permite notar que nenhuma das duas cultivares estudadas deve ser semeada no primeiro decênio de setembro (S1), independente da fase do ENOS, pois a produtividade esperada, mesmo nos melhores anos, dificilmente atinge 40 sacos por hectare (ou 2.400 kg ha^{-1}). Dito isso, é visível o efeito negativo sobre a produtividade nos anos em que a fase é de El Niño, tanto para a cultivar BRS-8383IPRO, na qual a média desse grupo é significativamente menor que dos demais. É também o caso da cultivar BRS-7482RR, no qual a diferença entre as médias não é significativa, provavelmente pela alta variabilidade percebida entre as produções nesses anos, embora a produtividade esperada seja quase 4 vezes menor em anos classificados como de El Niño que nos anos mais produtivos (de La Niña). Ainda pela análise dos dados da tabela 3, podemos afirmar que em todos os decênios, de setembro e outubro, o efeito negativo da fase de El Niño sobre a produtividade das duas cultivares de soja é significativo e considerável, especialmente da BRS-7482RR. Mesmo para a cultivar BRS-8383IPRO, com a qual foram atingidos valores acima dos 40 sacos por hectare em outubro, quando o ano se classifica nessa fase é maior a chance de baixa produtividade. Sugere-se, portanto, que a semeadura seja feita com muito critério e, se possível, com redução de custos, visto que há alta probabilidade de obtenção de uma colheita de patamar produtivo inferior ao obtido em anos de outras fases.

Ao dedicar nossa atenção aos resultados apresentados na tabela 4, é possível verificar uma tendência muito mais fraca de redução na produtividade quando os anos são classificados como de El Niño. E, mesmo quando foram encontradas diferenças estatisticamente significativas, as produtividades esperadas superaram a marca de 50 sacos por hectare (ou 3.000 kg ha^{-1}), o que já é uma quantidade razoável para cobrir os custos do produtor com maior segurança. Os dados indicam que, nos meses de novembro e dezembro, as boas condições de clima são favoráveis à cultura da soja e pouco afetadas pela fase de El Niño. Isso fica ainda mais evidente ao observarmos a Figura 2, na qual a produtividade das duas cultivares, independente da fase do fenômeno ENOS e do decênio de semeadura, sempre esteve acima do patamar de 3.000 kg ha^{-1} . O que é confirmado pela observação de que, a partir do início de novembro, as produtividades médias de todas as fases do ENOS estão localizadas no quadrante superior direito dos gráficos (A) e (B) da Figura 2, definido pelas linhas vermelhas que cruzam o eixo X no primeiro decênio de novembro (N1) e o eixo Y em 3.000 kg ha^{-1} .

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

CONCLUSÃO

A produtividade da soja semeada nas condições dos Cerrados em Planaltina, DF, é afetada pelas fases do fenômeno ENOS. Deve ser evitada a semeadura no primeiro decêndio de setembro (S1), independente da fase do ENOS. Nos dois outros decêndios do mês (S2 e S3), também independente da fase do ENOS, a semeadura deve ser evitada, se possível e, caso seja realizada, deve ser levada em consideração a maior probabilidade de que a produtividade fique abaixo dos 50 sacos por hectare. Nos meses de setembro e outubro, em anos classificados na fase de El Niño, foi constatado um efeito negativo significativo sobre a produtividade da soja. Nos meses de novembro e dezembro as fases de ENOS tiveram pouca ou nenhuma influência na produtividade das cultivares de soja estudadas, mostrando-se a melhor época para sua semeadura na área da Embrapa Cerrados.

É necessário aprofundar as investigações sobre o efeito das fases de ENOS e do próprio indicador ION sobre a produtividade da soja. Uma das possibilidades é analisar mais detalhadamente as séries de dados de precipitação dos anos de baixas produtividades para identificar as causas locais da quebra de produção. Outra linha de pesquisa indicada é buscar relacionar essas causas locais com o indicador ION, de preferência com antecedência temporal suficiente para permitir a tomada de decisão pelos produtores.

AGRADECIMENTO INSTITUCIONAL

Os autores agradecem à Embrapa pelo suporte à pesquisa que resultou nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

AFFHOLDER, F. **Modélisation de culture et diagnostic agronomique régional – mise au point d’une méthode et application au cas du maïs chez les petits producteurs du Brésil Central**. Paris, 2001, 246p. Thèse de doctorat – Institut National Agronomique Paris - Grignon.

ALLIPRANDINI, L. F.; ABATTI, C.; BERTAGNOLLI, P. F.; CAVASSIM, J. E.; GABE, H. L.; KUREK, A.; MATSUMOTO, M. N.; OLIVEIRA, M. A. R. DE; PITOL, C.; PRADO, L. C.; STECKLING, C. Understanding soybean Maturity Groups in Brazil: Environment, Cultivar Classification, and Stability. **Crop Science**, v. 49, p. 801-808, 2009.

ARSEGO, D. A.; FERRAZ, S. E. T.; STRECK, N. A.; CARDOSO, A. O.; ZANON, A. J. Estudo do impacto de diferentes índices associados ao El Niño Oscilação Sul na produtividade de soja no Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v.40, Edição Especial: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, p. 82-87, 2018.

BERGEZ, J. E.; RAYNAL, H.; LAUNAY, M.; BEAUDOIN, N.; CASELLAS, E.; CAUBEL, J.; CHABRIER, P.; COUCHENEY, E.; DURY, J.; GARCIA DE CORTAZAR-ATAURI, I.; JUSTES, E.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; RUGET, F. Evolution of the STICS crop model to tackle new environmental issues: new formalisms and integration in the modelling and

Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

simulation platform RECORD. **Environmental Modelling & Software**, v. 62, p. 370–384, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.07.010>

BERTRAND, A.; LENGAIGNE, M.; TAKAHASHI, K.; AVADÍ, A.; POULAIN, F.; HARROD, C. **El Niño Southern Oscillation effects on fisheries and aquaculture**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 660. Rome, FAO. 2020.

BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; JEUFFROY, M.H.; RUGET, F.; NICOUILLAUD, B.; GATE, P.; DEVIENNE-BARRET, F.; ANTONIOLETTI, R.; DURR, C.; RICHARD, G.; BEAUDOIN, N.; RECOUS, S.; TAYOT, X.; PLENET, D.; CELLIER, P.; MACHET, J.M.; MEYNARD, J.M.; DELECOLLE, R. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances: I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. **Agronomie**, v. 18, p. 311-346, 1998.

BRISSON, N.; RUGET, F.; GATE, P.; LORGEAU, J.; NICOUILLAUD, B.; TAYOT, X.; PLENET, D.; JEUFFROY, M. H.; BOUTHIER, A.; RIPOCHE, D.; MARY, B.; JUSTES, E. STICS: a generic model for simulating crops and their water and nitrogen balances: II. Model validation for wheat and maize. *Agronomie*, v. 22, p. 69-92, 2002.

HAMMER, G. L.; HOLZWORTH, D. P.; STONE, R. The value of skill in seasonal climate forecasting to wheat crop management in a region with high climatic variability. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 47, n. 5, p. 717-737, 1996.

HUANG, B.; THORNE, P. W.; BANZON, V. F.; BOYER, T.; CHEPURIN, G.; LAWRIMORE, J. H.; MENNE, M. J.; SMITH, T. M.; VOSE, R. S.; ZHANG, H.-M. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons. **Journal of Climate**, v. 30, n. 20, p. 8179–8205, 2017.

IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer). Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii; Honolulu. Decision support system for agrotechnology transfer 2.1 (DSSAT V2.1). 1989.

NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5. NOAA National Centers for Environmental Information. 2017.

KEATING, B.A.; CARBERRY, P.S.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K.L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M. & SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal of Agronomy**, v. 18, p. 267-288, 2003.

LANDGRAF, L. **Embrapa lança quatro cultivares de soja mais produtivas para o Centro-Norte do Brasil**. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2021. Disponível em:



Natal – RN, 03 a 06 de Outubro de 2023

<https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/65867239/embrapa-lanca-quatro-cultivares-de-soja-mais-produtivas-para-o-centro-norte-do-brasil>

MARINS, J. A. L.; MASSOQUIM, N. G. A influência do fenômeno El Niño na produção da soja no município de Campo Mourão. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada e I Congresso Nacional de Geografia Física. **Anais...** Unicamp, Campinas, 2017. DOI - 10.20396/sbgfa.v1i2017.2424.

SANTANA JR., M. L.; ELER, J. P.; CARDOSO, F. F.; ALBUQUERQUE, L. G.; BALIEIRO, J. C. C.; PEREIRA, R. J.; FERRAZ, J. B. S. Genotype by environment interaction for post-weaning weight gain, scrotal circumference, and muscling score of composite beef cattle in different regions of Brazil. **Genetics and Molecular Research**, v. 13, n. 2, p. 3048-3059, 2014.

SAS Institute Inc. **SAS/STAT® 9.4 Users Guide**. Cary, NC: SAS Institute Inc. 2013.

SCOPEL, E.; SILVA, F. A. M. DA; CORBEELS, M.; AFFHOLDER, F.; MARAUX, F. Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid in humid tropical conditions. **Agronomie**, v. 24, p. 1-13, 2004.

SIERRA, J., BRISSON, N., RIPOCHE, D., NOËL, C. Application of the STICS crop model to predict nitrogen availability and nitrate transport in a tropical acid soil cropped with maize. **Plant Soil**, v. 256, p. 333–345, 2000.

SILVA, F. A. M. DA; EVANGELISTA, B. A.; MALAQUIAS, J. V.; OLIVEIRA, A. D.; MULLER, A. G. Análise temporal de variáveis climáticas monitoradas entre 1974 e 2013 na estação principal da Embrapa Cerrados. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2017. 121 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 340).

SILVA, F. A. M. DA; NAUDIN, K.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; AFFHOLDER, F. Impact of conservation agriculture on the agronomic and environmental performances of maize cropping under contrasting climatic conditions of the Brazilian Cerrado. **Field Crops Research**, v. 230, p. 72-83, 2019.

STONE, R.; HAMMER, G. L.; MARCUSSEN, T. Prediction of global rainfall probabilities using phases of the Southern Oscillation Index. **Nature**, v. 384, p. 252-255, 1996.

ZHENG, B.; CHAPMAN, S.; CHENU, K. The Value of Tactical Adaptation to El Niño–Southern Oscillation for East Australian Wheat. **Climate**, v. 6, n. 3, (article number: 77) 2018.