



## IMPACTO DO *EL NIÑO* OSCILAÇÃO SUL (ENOS) E DA *EL NIÑA* NO MERCADO DA SOJA BRASILEIRA

### IMPACT OF EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) AND EL NIÑA ON THE BRAZILIAN SOY MARKET

### IMPACTO DE EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS) Y EL NIÑA EN EL MERCADO BRASILEÑO DE LA SOJA

José Alex Nascimento Bento<sup>1</sup>

Francisco José Silva Tabosa<sup>2</sup>

Jair Andrade de Araújo<sup>3</sup>

Wellington Ribeiro Justo<sup>4</sup>

#### RESUMO

Os eventos climáticos extremos associados ao fenômeno atmosférico-oceânico conhecido como *El Niño* Oscilação Sul (ENOS) possuem impactos socioeconômicos significativos nas diferentes regiões brasileiras. No Nordeste brasileiro, observam-se em anos de *El Niño*, perdas agrícolas resultantes de fortes secas, levando-se a redução da renda das atividades rurais. Por outro lado, a região Sul é atingida por fortes enchentes que causam perdas humanas, de infraestrutura e comprometimento da produção agrícola. Em anos de *La Niña*, as secas que atingem a região Sul provocam quebras de safra, gerando forte pressão sobre o preço dos alimentos, enquanto no Nordeste há um maior volume de chuvas. A cadeia produtiva da soja destaca-se no agronegócio brasileiro, seja pelo valor da produção, quanto por ocupar o primeiro lugar na pauta de exportação agrícola. Haja vista, o Brasil grande produtor mundial qualquer mudança na quantidade ofertada ocasionaria diversos efeitos no mercado internacional de soja. Neste contexto, esse artigo tem como objetivo avaliar o impacto econômico dos eventos climáticos associados ao ENOS na produção, exportação e no preço real da soja em grãos brasileira. A base de dados utilizada consiste em dados mensais de setembro de 2006 a junho de 2019, totalizando 154 observações. Na construção do modelo, utilizou-se a técnica de Vetores Autoregressivos estruturais (VAR estrutural), com isso, foi possível estimar as funções impulso resposta e a decomposição da variância das variáveis consideradas. Os resultados mostraram que o *El Niño* (ou seja, choques positivos para o ENOS) é benéfico para produção e exportação e diminui o preço real da soja em grãos. Pelo contrário, o *La Niña* (ou seja, choques negativos para o ENOS) deprime a produção e exportação e aumenta o preço real. No entanto, o impacto geral das mudanças ocorridas pelo fenômeno ENOS é pequeno, tanto a curto e médio prazos, as alterações na demanda internacional são mais relevantes do que os choques do lado

<sup>1</sup>Doutorando em Economia Rural na Universidade Federal do Ceará. Ceará. Brasil. E-mail:

[josealex18@yahoo.com.br](mailto:josealex18@yahoo.com.br). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7003-2487>

<sup>2</sup>Professor do Programa de Pós Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará. Ceará. Brasil.

E-mail: [franzetabosa@ufc.br](mailto:franzetabosa@ufc.br). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1280-8907>

<sup>3</sup>Professor do Programa de Pós Graduação em Economia Rural da Universidade Federal do Ceará. Ceará. Brasil.

E-mail: [franzetabosa@ufc.br](mailto:franzetabosa@ufc.br). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6297-9558>

<sup>4</sup>Professor do Programa de Pós Graduação em Economia da Universidade Federal de Pernambuco. Caruaru.

Pernambuco. Brasil. E-mail: [justowr@yahoo.com.br](mailto:justowr@yahoo.com.br). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4182-4466>

da oferta na explicação da dinâmica do mercado da soja brasileira. Por fim, as ações políticas ao fenômeno estudado devem ser elaboradas considerando as causas desses choques.

**Palavras-chave:** Brasil. Var estrutural. *El Niño*. *La Niña*. Meio Ambiente.

### ABSTRACT

The extreme climatic events associated with the atmospheric-oceanic phenomenon known as El Niño Oscilação Sul (ENOS) have significant socioeconomic impacts in different Brazilian regions. In the Northeast of Brazil, agricultural losses resulting from severe droughts can be observed in El Niño years, leading to a reduction in income from rural activities. On the other hand, the South region is affected by strong floods that cause human, infrastructure and compromised agricultural production losses. In La Niña years, the droughts that affect the South region cause crop failures, generating strong pressure on food prices, while in the Northeast there is a greater volume of rainfall. The soy production chain stands out in Brazilian agribusiness, both for the value of production, and for occupying the first place in the list of agricultural exports. In view of this, Brazil, a major world producer, any change in the quantity offered would cause several effects on the international soybean market. In this context, this article aims to assess the economic impact of climatic events associated with ENOS on production, exports and the real price of Brazilian soybeans. The database used consists of monthly data from September 2006 to June 2019, totaling 154 observations. In the construction of the model, the technique of Structural Autoregressive Vectors (structural VAR) was used, thus, it was possible to estimate the impulse response functions and the decomposition of the variance of the considered variables. The results showed that El Niño (that is, positive shocks to ENOS) is beneficial for production and export and decreases the real price of soybeans in grains. On the contrary, La Niña (ie negative shocks to ENOS) depresses production and exports and raises the real price. However, the general impact of the changes occurred by the ENOS phenomenon is small, both in the short and medium term, changes in international demand are more relevant than the supply side shocks in explaining the dynamics of the Brazilian soy market. Finally, the political actions to the studied phenomenon must be elaborated considering the causes of these shocks.

**Keywords:** Brazil. Structural Var model. *El Niño*. *La Niña*. Environment.

### RESUMEN

Los eventos climáticos extremos asociados al fenómeno atmosférico-oceánico conocido como El Niño Oscilação Sul (ENOS) tienen importantes impactos socioeconómicos en diferentes regiones brasileñas. En el noreste de Brasil, las pérdidas agrícolas resultantes de las sequías severas se pueden observar en los años de El Niño, lo que lleva a una reducción de los ingresos por actividades rurales. Por otro lado, la región Sur se ve afectada por fuertes inundaciones que provocan pérdidas humanas, de infraestructura y de producción agrícola comprometida. En los años de La Niña, las sequías que afectan a la región Sur provocan pérdidas de cosechas, generando una fuerte presión sobre los precios de los alimentos, mientras que en el Nordeste hay un mayor volumen de precipitaciones. La cadena de producción de la soja se destaca en la agroindustria brasileña, tanto por el valor de la producción, como por ocupar el primer lugar en la lista de exportaciones agrícolas. Ante esto, Brasil, un importante productor mundial, cualquier cambio en la cantidad ofrecida causaría varios efectos en el mercado internacional de

la soja. En este contexto, este artículo tiene como objetivo evaluar el impacto económico de los eventos climáticos asociados con ENOS en la producción, las exportaciones y el precio real de la soja brasileña. La base de datos utilizada consta de datos mensuales desde septiembre de 2006 a junio de 2019, totalizando 154 observaciones. En la construcción del modelo se utilizó la técnica de Vectores Autoregresivos Estructurales (VAR estructural), por lo que fue posible estimar las funciones impulso respuesta y la descomposición de la varianza de las variables consideradas. Los resultados mostraron que El Niño (es decir, choques positivos para ENOS) es beneficioso para la producción y la exportación y disminuye el precio real de la soja en granos. Por el contrario, La Niña (es decir, choques negativos para ENOS) deprime la producción y las exportaciones y eleva el precio real. Sin embargo, el impacto general de los cambios ocurridos por el fenómeno ENOS es pequeño, tanto en el corto como en el mediano plazo, los cambios en la demanda internacional son más relevantes que los choques del lado de la oferta para explicar la dinámica del mercado brasileño de la soja. Finalmente, las acciones políticas al fenómeno estudiado deben elaborarse considerando las causas de estos choques.

**Palabras clave:** Brasil. Var estructural. El Niño. La Niña. Medio Ambiente.

**Como citar este artículo:** BENTO, José Alex Nascimento et al. Impacto do *El Niño* oscilação sul (ENOS) e da *El Niña* no mercado da soja brasileira. **DRd - Desenvolvimento Regional em debate**, v. 10, p. 1326-1350, 11 dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.3151>

**Artigo recebido em:** 10/09/2020

**Artigo aprovado em:** 01/12/2020

**Artigo publicado em:** 11/12/2020

## 1 INTRODUÇÃO

El Niño Southern Oscillation (ENSO) ou El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de ocorrência natural que provoca variações de temperatura na superfície do sudeste do oceano Pacífico, próximo à costa da América do Sul, afetando a pressão do nível do mar, as temperaturas da superfície do mar, Sea Surface Temperature (SST), precipitação e ventos ao redor do planeta (BASTIANIN; LANZA; MANERA, 2018).

Este evento climático extremo é caracterizado por uma fase chamada neutra e duas fases extremas, conhecidas como El Niño e La Niña. A fase neutra acontece nos anos em que as condições meteorológicas no Oceano Pacífico são de normalidade. Na ocorrência de El Niño observa-se um aquecimento anormal das águas superficiais da região do Pacífico tropical. Já os períodos de La Niña são caracterizados por um resfriamento anormal das águas superficiais da região do Pacífico tropical (ARAÚJO et. al., 2013).

Os impactos socioeconômicos das flutuações do tempo têm sido amplamente investigados. A respeito desse fenômeno ENOS, as anomalias de temperatura e precipitação estão associadas com menores taxas de crescimento econômico, rendimentos agrícolas, pesca, aumento nas taxas de inflação e efeitos sobre a saúde humana (BASTIANIN; LANZA; MANERA, 2018).

No Brasil, especificamente, observam-se impactos socioeconômicos significativos em diferentes regiões. No Nordeste, em anos de *El Niño*, as perdas agrícolas são resultantes de secas severas que levam à queda da renda das atividades agrícolas. Em áreas semiáridas, apresentam-se efeitos críticos como deterioração dos indicadores sociais e na intensificação do êxodo rural. Já na região Sul, observam-se enchentes que causam perdas humanas, danos à infraestrutura urbana e comprometimento da produção agrícola (ARAÚJO et. al., 2013).

Existe um padrão histórico dos efeitos causados pelos eventos ENOS. Pode-se destacar, no Rio Grande do Sul, durante o *El Niño* (muito forte) de 1982/83, houve uma quebra de safra de 4.888.775 toneladas, causando prejuízos significativos (BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005). Ainda, segundo o mesmo autor, das 10.700 empresas localizadas no estado de Santa Catarina, 6.894 foram atingidas pelo transbordamento dos rios, 64% foram integralmente paralisadas. Na região Nordeste, neste mesmo período, também foram observados impactos significativos, a população da região foi afetada por grave seca que atingiu cerca de 29 milhões de pessoas, o que resultou em aumento da pobreza, migração rural-urbana, redução na produção agrícola entre outras (ARAÚJO et. al., 2013).

No Brasil, as atividades relacionadas ao agronegócio somaram um Produto Interno Bruto (PIB) em 2018 de R\$ 1,44 trilhão, alta de 1,03% em comparação com 2017, o que significou 21,1 % do PIB nacional a preços de mercado. Dentre as principais commodities responsáveis por este resultado, encontra-se a soja, que se consolidou como a principal e mais expressiva commodity de exportação no Brasil (CEPEA, 2019).

Na safra 2017/2018, os maiores produtores de soja do mundo foram o Brasil (com 36% da produção mundial), os Estados Unidos (com 35% da produção mundial) e a Argentina (11% da produção mundial do grão), ao observar, um choque climático que venha a afetar a produção de qualquer uma destas áreas traria fortes retrações de oferta em todo mundo (USDA, 2019).

Abordando especificamente a experiência brasileira, o país obteve um crescimento significativo na produção e exportação de soja nos últimos anos, tornando-se o maior produtor e exportador mundial de soja. Esses números fizeram da soja em grãos o cultivo mais disseminado no país, concentrando a produção em 90% na região centro-sul, com 101.527.100 milhões de toneladas produzidas e 59,01 milhões de toneladas exportadas na safra 2017/2018 (CONAB, 2019).

Este artigo tem como objetivo descrever como as anomalias do ENOS afetam a produção, as exportações e o preço real da soja em grãos brasileira. Sua principal contribuição, é apresentar um modelo econométrico estrutural para o mercado da soja brasileiro que permite impor restrições a esse mercado, identificando-se os efeitos das anomalias do ENOS como choques exógenos, enquanto é possível separar as mudanças decorrentes tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda dos mercados interno e externo. Aceita-se, como hipótese, que o preço real é determinado conjuntamente por variações na oferta da soja brasileira, mudanças

surgidas no mercado externo, e anomalias de El Niño (La Niña). Desta forma, pode-se isolar os impactos de eventos extremos do ENOS, dos choques fundamentalmente econômicos.

Outros estudos sobre o ENOS e seus efeitos nos preços não controlavam choques na oferta e demanda, embora se espere que tenham impactos sobre os preços reais da soja (KEPPENNE, 1995; SCHEMES, 2018) e de outras commodities (UBILAVA, 2012, 2018). Além disso, a maioria dos estudos modela e prevê o preço com especificações de forma reduzida que não podem identificar as causas subjacentes aos choques dos preços da soja (SILVA; CORONEL; SILVA 2015). Alguns desses estudos focam apenas em variações de preços originados do lado da oferta, negligenciando a importância das alterações de preços impulsionados pela demanda (GALVÃO et al., 2015).

O modelo estrutural também se relaciona com a vertente da literatura que trata dos efeitos macroeconômicos dos choques sobre os preços. No entanto, uma vez que não há razões para esperar que uma variação de preços, impulsionado por um déficit na produção local, possa ter os mesmos impactos que uma mudança impulsionada por um aumento expressivo de exportação, esse modelo pode ser usado para melhorar a compreensão das ligações entre o preço da soja brasileira, o agronegócio e mudanças adversas no clima.

O artigo está organizado da seguinte maneira. A segunda seção descreve o fenômeno do ciclo ENOS e a importância para o complexo da soja brasileira. A base de dados e métodos econométricos utilizados são descritos na terceira seção, enquanto os principais resultados são apresentados na quarta seção, e por fim, as considerações finais são discutidas na quinta seção.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O ENOS é um fenômeno natural que surge através da interação oceano-atmosfera na região tropical do Pacífico, que influencia o padrão climático em todo o mundo. *El Niño* refere-se ao componente oceânico do ENOS (ou seja, quando o SST se encontra entre abaixo ou acima do normal), enquanto a "Oscilação do Sul" (OS) captura as flutuações na pressão do ar (o componente atmosférico do ENOS) (BASTIANIN; LANZA; MANERA, 2018).

*El Niño* é a fase quente, caracterizado por temperaturas do mar acima do habitual no Oceano Pacífico equatorial central e oriental. É também a fase negativa do OS, em geral, inicia no outono, atinge o máximo no verão e dura, aproximadamente, um ano. Contudo, a intensidade do fenômeno, sua evolução e duração, variam de evento para evento. É um fenômeno não cíclico, cuja maior frequência de ocorrência, em intervalos irregulares, varia de três a sete anos. *El Niño* é frequente seguido por *La Niña*, que é caracterizada pelo resfriamento das águas do Oceano Pacífico equatorial. *La Niña*, é a fase fria do ENOS e da fase positiva da OS (NOAA, 2019). Ver mais a respeito do ENOS em Davey, Brookshaw e Ineson (2014), Allen, Tippett e Sobel (2015), World Meteorological Organization (2014).

Os instrumentos mais comuns para medir eventos ENOS são o *Southern Oscillation index* (SOI), o *Surface Sea Temperature* (SST) e o *Multivariate ENSO Index* (MEI), estes índices têm uma volatilidade muito parecida (PERI, 2017). Existe uma forte correlação entre o

SOI e o SST, já que as oscilações de pressão causam deslocamento de ventos que, por sua vez, modificam a temperatura da superfície do Oceano Pacífico (SCHEMES, 2018).

O SOI é outro método para determinar se o ENOS está em sua fase fria (*La Niña*) ou quente (*El Niño*), também obtido da NOAA é calculada usando o diferencial de pressão entre Taiti e Darwin, na Austrália. O SOI é negativo durante os episódios de *El Niño*, enquanto é positivo na ocorrência de *La Niña*.

Diversos estudos, como Keppenne (1995), Brunner (2002), Adams *et al.* (1995), Peri (2017) e Araújo *et al.* (2013), principalmente nos Estados Unidos, estimaram o impacto dos eventos ENOS na economia agrícola. Keppenne (1995) utilizou as SST para estimar o impacto dos ENOS no preço futuro da soja. O autor obteve resultados, semelhantes ao encontrado nessa pesquisa, em que o *El Niño* não definiu um impacto único nos preços, enquanto o *La Niña* elevou os preços via restrição de oferta.

Em Brunner (2002), o VAR (vetores autoregressivo) estimado utilizando dados trimestrais incluindo o preço de diversas *non-oil commodities* que constituem um único índice, concluiu que um ENOS pode inflar os preços destes produtos em cerca de 3 a 4 pontos percentuais.

Peri (2017) estimando um Modelo Fuzzy de Avaliação de Investimentos Reais (VIRF) com o preço da soja e do milho expostos a impulsos do SOI, obteve resultados de que ambos os eventos aumentam a volatilidade esperada dos preços do milho, mostrando o maior impacto durante a fase *El Niño* na primavera-verão. Em relação à volatilidade dos preços da soja tende a diminuir levemente durante as estações meteorológicas outono-inverno e a aumentar durante o período primavera-verão.

Os episódios de *El Niño* e *La Niña* tiveram sérios impactos na economia brasileira, mais detalhes ver os estudos de (ARAÚJO *et al.*, 2013; BERLATO; FONTANA, 2001; BERLATO; FARENZENA; FONTANA, 2005; SANTOS, 2017), que é largamente dependente da produção agrícola tanto para o consumo interno quanto voltado ao comércio exterior. Em síntese, o *El Niño* acarreta períodos de seca na região Nordeste, contribuindo para redução da atividade agrícola, êxodo rural entre outros problemas. *La Niña*, geralmente está ligada a região Sul com redução de chuvas, resultando em perdas agrícolas, destruição de infraestrutura, etc.

De acordo com Araújo *et al.* (2013), eventos climáticos extremos compreendidos como ocorrências de tempestades, geadas, ondas de calor e até mesmo secas prolongadas, na maioria das vezes são atribuídos aos fenômenos *El Niño* e *La Niña*.

Nesse sentido, as previsões de efeitos ENOS, também, podem ser usadas para projetar, implementar e melhorar regimes de seguro agrícola (TACK; UBILAVA, 2013, 2015). Como observado, a utilidade das previsões de choques ENOS dependem criticamente da compreensão do mecanismo de propagação de alterações climáticas atípicas. Assim, o modelo econométrico estrutural realizado pode ser usado, em combinação com as previsões ENOS, por autoridades e políticas públicas voltadas a gerir os impactos do clima no mercado de soja brasileiro.

A cadeia produtiva da soja destaca-se no agronegócio brasileiro, seja pelo valor da produção, quanto por ocupar o primeiro lugar na pauta de exportação agrícola. A soja é um produto básico para a alimentação humana, seja na forma direta, por meio do óleo vegetal,

também utilizado para a produção de biocombustíveis, ou, principalmente, como ração para a produção de carne de aves, suínos, bovinos, leite e ovos.

Esse mercado tem como característica marcante sua difícil previsibilidade de preço e de produção. Tal característica surgiu de fatores que estão além do controle por parte do produtor, como variações na oferta e demanda, além das condições climáticas e enfermidades durante a produção (ABITANTE, 2008).

O Brasil exportou 77.250 milhões de toneladas na safra de 2017/18, 51,45% do total da soja mundial, com os Estados Unidos exportando 46.266 (30,81%) e a Argentina 8.750 (5,82%) (USDA, 2019). Os principais fatores que explicam esse aumento do percentual brasileiro estão relacionados com a adoção de técnicas de plantio direto, além da adoção de tecnologia na produção, como por exemplo, a soja geneticamente modificada e a obtenção de menores custos na produção. A vantagem do Brasil baseia-se, sobretudo, no menor custo fixo da terra. Porém, esta vantagem pode ser perdida em virtude do aumento dos custos diretos dos fatores de produção, além das deficiências logísticas no mercado brasileiro (CASTRO *et al.*, 2012).

Com relação aos principais compradores da soja brasileira, destacaram-se a China no valor de US\$ 27,23 bilhões (82% do total exportado), em seguida Espanha com US\$ 739,36 milhões (2,2%) e por fim, Países Baixos com US\$ 531,19 milhões (1,6%) (BRASIL, 2019b).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 BASE DE DADOS

O modelo estrutural de Vetores Auto Regressivos (VAR) inclui quatro variáveis amostradas mensalmente durante o mês de setembro de 2006 a junho de 2019, totalizando 154 observações.

Os impactos de eventos ENOS são medidos através de anomalias SST. Esta variável, proveniente da *U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), órgão norte-americano que monitora a temperatura dos oceanos, representa desvios sazonais de média das SSTs, portanto, é uma *proxy* para anomalias natural do clima devido aos eventos do ENOS. O tempo de cinco meses é o período mínimo que caracteriza um ENOS (NOAA, 2019). *El Niño* e *La Niña* são episódios com cinco médias consecutivas de três meses de anomalias de SST na chamada “Região *Niño* 3.4” (5°N-5°S, 120°-170°W) acima (abaixo) do limite de + 0,5°C (-0,5°C) (NOAA, 2019).

A produção brasileira de soja foi obtida através da CONAB (2019), porém não havia a disponibilidade destes dados com periodicidade mensal, somente anual, pois a colheita é realizada durante os meses de março, abril e maio, e não existe um levantamento de estoques de produção oficial. Nesse sentido, transformou-se a periodicidade para mensal, baseando-se na participação de cada mês no volume exportado, assumindo a correlação existente com a variável quantidade exportada de soja em grãos.

Buscou-se na comparação entre as duas variáveis para assumir tal hipótese. A Figura 1 mostra a plantação, a floração e colheita para os maiores países produtores de soja, a soja brasileira é plantada nos meses de novembro e dezembro, seu florescimento ocorre nos meses de janeiro e fevereiro e é colhida entre março, abril e maio. O período de plantio é escolhido sobretudo em razão da latitude. Importante enfatizar de que o Brasil, assim como os outros países (China) e (US) são muito extensos e com condições climáticas distintas, o que faz com que estas etapas de plantio, florescimento e colheita possa variar dentro do próprio país.

Figura 1 – Meses da safra de soja ao nível mundial - Plantação, floração e colheita.

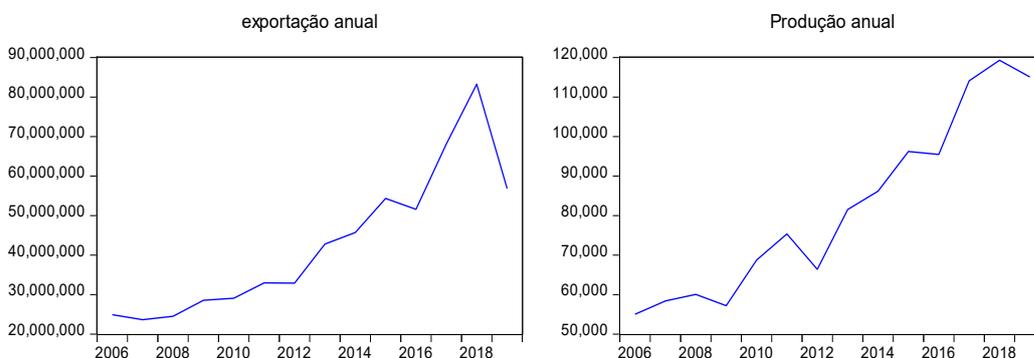
	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Soya bean												
Arg.												
Bra.												
USA												
Chi.												
	Planting			Flowering			Harvest					

Fonte: Llana, Vargas e Naumann (2012)

A soja geralmente, pode ser estocada por até dois anos, no entanto, os produtores comercializam nos primeiros seis meses após a colheita (entre maio e novembro), justo no período de entre safra do hemisfério Norte. Para reduzir os riscos de prejuízos, os produtores vendem sua produção ao longo deste período, diversificando contratos *spot* e futuros em suas carteiras (ROCHA *et al.*, 2010).

A Figura 2 apresenta o comportamento, ao longo dos anos de 2006 a 2019, da produção e a exportação brasileira de soja em grãos, observou-se uma trajetória crescente muito similar entre elas. Realizou-se, também, o teste de correlação com o valor de 0,9590, indicando forte correlação entre essas variáveis.

Figura 2 – Séries anuais da exportação e produção, em toneladas, da soja brasileira em grãos de 2006 a 2019



Fonte: Elaboração própria com dados do CONAB (2019) e BRASIL (2019a)

### 3.2 MODELO DE VETORES AUTO-REGRESSIVOS (VAR)

O método VAR, desenvolvido por Sims (1980), é uma generalização para séries múltiplas do modelo auto-regressivo univariado, em que as regressões seguem à mesma estrutura para todas as equações individuais. Desse modo, criou-se um modelo matricial dinâmico cuja as únicas restrições são as impostas pela teoria econômica e pelas variáveis utilizadas. O modelo examina relações lineares dentre todas variáveis endógenas e suas defasagens.

Neste modelo, cada variável endógena, ou dependente, é explicada por seus valores defasados das demais variáveis endógenas e exógenas presentes, embora a dicotomia endógena/exógena, fundamental para modelos estruturais, reduz muito o seu potencial em modelos auto-regressivos.

Para simplificar a análise será utilizado um exemplo de sistema de equações com duas variáveis, as quais se assume que elas sejam interdependentes e também relacionados por uma memória auto-regressiva, isto é, a sequência  $X_t$  é afetada pelo seu passado e pela sequência  $Z_t$  e vice-versa. A estacionariedade é uma condição essencial para as propriedades dos estimadores do modelo. Analiticamente, pode-se representar o VAR:

$$X_t = \alpha_{10} + \alpha_{11}X_{t-1} + \alpha_{12}Z_{t-1} + \varepsilon_{t1} \quad (2)$$

$$Z_t = \alpha_{20} + \alpha_{21}X_{t-1} + \alpha_{22}Z_{t-1} + \varepsilon_{t2}$$

Pode-se escrever o modelo VAR, em notação matricial, da forma:

$$Y_t = \alpha + \Pi_1 Y_{t-1} + \Pi_2 Y_{t-2} + \dots + \Pi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Em que  $Y_t$  é o vetor ( $n \times 1$ ) auto-regressivo de ordem  $p$ ;  $\alpha$ , vetor ( $n \times 1$ ) de interceptos;  $\Pi_p$  é a matriz de parâmetros de ordem ( $n \times n$ ); e  $\varepsilon_t$ , termo de erro  $\varepsilon_t \sim N(0, \Omega)$ .

Os coeficientes estimados a partir da equação (3) não consideram as relações entre as variáveis expressas no modelo VAR. Então, o modo mais apropriado para estudar os impactos das inovações é dado pela função impulso-resposta e pela decomposição de variância (MARGARIDO; SOUZA, 1998).

### 3.3 TESTE DE RAIZ UNITÁRIA

Para se testar a co-integração entre as séries, deve-se inicialmente determinar a ordem de integração. Isto é feito por meio do teste de raiz unitária. Neste trabalho empregou-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), que considera modelos auto-regressivos de ordem superior a um.

Nesse teste, compara-se o resultado da estatística t com os valores determinados reportados por Dickey-Fuller para determinar se aceita ou se rejeita a hipótese nula. Essa hipótese nula será rejeitada se o valor calculado da estatística t for maior do que o valor crítico de Dickey-Fuller, indicando que a série é estacionária; caso contrário a série é não-estacionária.

O teste de ADF é muito sensível à presença de valores *outliers* (FERNANDES; TORO, 2005). Nesse sentido, utilizou-se o teste KPSS, desenvolvido por Kwiatkowski, *et.al*, (1992), que sugeriram um teste cuja principal característica é permitir a mudança das hipóteses em teste, ou seja, a hipótese nula admite a noção de que a série é estacionária e, sob a hipótese alternativa, é integrada de ordem um. A vantagem desse teste resulta da falta de coerência explicativa dos testes convencionais, pois estes tendem a não rejeitar a hipótese nula com elevada frequência.

De acordo com Kwiatkowski *et. al.* (1992), o teste KPSS tende a complementar o teste de raiz unitária, de Dickey-Fuller. Ao testar ambas as hipóteses, de raiz unitária e de estacionariedade, podem-se distinguir séries que aparentam ser estacionárias, que simulam possuir raiz unitária e para as quais os dados (ou testes) não são suficientemente informativos para assegurar se são estacionárias ou integradas.

### 3.4 O MODELO ECONOMÉTRICO NA FORMA REDUZIDA E ESTRUTURAL

O foco do método empírico adoto foi explicado por Amisano e Giannini (1997), Lütkepohl (2010), Kilian e Lütkepohl (2017) no qual descreveram o modelo VAR estrutural teoricamente.

Considerou-se a forma reduzida de um modelo VAR (p) para

$Y_t = [lrps_t, SST_t, lprod_t, lexp_t]'$  como segue a seguir:

$$Y_t = \mu_t + \sum_{j=1}^p A_j Y_{t-j} + \epsilon_t \quad (4)$$

Em que:  $Y_t$  representa a taxa de crescimento do preço real da soja em natura *spot* em CBOT e  $\mu_t$  inclui uma constante e *dummies* sazonais (isto é, meses do ano),  $A_j$  para  $j = 1, \dots, p$  são matrizes de parâmetros e  $\epsilon_t$  é o vetor de erros na forma reduzida. De agora, ignoramos o vetor de regressores determinísticos,  $\mu_t$ , isso não altera a apresentação, mas facilita a notação. Desse modo, a forma estrutural do modelo é:

$$B_0 Y_t = \sum_{j=1}^p B_j Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Em que  $B_j$  para  $j = 0, \dots, p$  são matrizes de parâmetros estruturais,  $\varepsilon_t$  é um vetor serial de erros estruturais e mutuamente não correlacionado. A matriz  $B_0$  coleta os parâmetros que governam as relações contemporâneas entre as variáveis endógenas.

A forma reduzida do modelo VAR é obtida por multiplicar a Equação (5) pelo inverso de  $B_0$ , denotado como  $B_0^{-1}$ , conhecido como "matriz multiplicadora de impacto estrutural". De modo similar, os erros do modelo VAR na forma reduzida,  $\epsilon_t$ , são dados por  $\epsilon_t = B_0^{-1}\epsilon_t$ .

### 3.4.1 Especificação e estimação do modelo

Os parâmetros de forma reduzida na Equação (4) foram estimados pelos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), enquanto parâmetros estruturais e choques foram obtidos com a decomposição de Cholesky para a matriz de covariância residual na forma reduzida, mais detalhes sobre essa estimação no modelo Var estrutural em Amisano e Giannini (1997), Lütkepohl (2010), Kilian e Lütkepohl (2017).

O modelo VAR estrutural considerado aqui é identificado apenas por restrições de curto prazo. Nesse sentido, cointegração, na qual implicaria adicionais restrições de longo prazo, não foi considerada nesse trabalho.

É importante destacar que se considerando as restrições de cointegração em um modelo VAR, obtém-se uma melhor eficiência dos estimadores da função impulso resposta, porém essas funções podem ser estimadas consistentemente em modelo VAR em níveis e sem considerar a imposição de tais restrições (SIMS; STOCK; WATSON, 1990).

Uma função impulso-resposta esboça o comportamento das séries incluídas no modelo VAR, em resposta a choques ou a mudanças provocadas por variáveis residuais (ENDERS, 1995).

Por fim, utilizou a decomposição da variância dos erros de previsão, no qual consiste em permite ver a separação da variância dos erros de previsão para cada variável em componentes que podem ser atribuídos por ela própria e pelas demais variáveis endógenas, apresentando, em termos percentuais, qual o resultado que um choque não antecipado sobre determinada variável tem sobre ela própria e sobre as demais variáveis pertencentes ao sistema.

### 3.4.2 Identificação

A identificação do modelo é obtida impondo o seguinte conjunto de restrições sobre a matriz  $B_0^{-1}$ :

$$\begin{pmatrix} \epsilon_t^{SSt} \\ \epsilon_t^{lprod} \\ \epsilon_t^{lrps} \\ \epsilon_t^{lexp} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 \\ b_{21} & b_{22} & 0 & 0 \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & 0 \\ b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_t^{Enos} \\ \epsilon_t^{Oferta\ de\ soja\ brasileira} \\ \epsilon_t^{Mercado\ mundial\ de\ soja} \\ \epsilon_t^{Política\ brasileira\ de\ exportação} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Este modelo concentra-se nas principais forças que impulsionam o preço real da soja no curto prazo, ou seja, os choques de oferta, os choques surgidos no mercado mundial e os choques de exportação.

A presença de zeros (isto é, as restrições) no sistema (6) pode ser motivado da seguinte forma. O “Choque ENOS” é definido como uma mudança imprevisível em SST.

Choques ENOS positivos identificam eventos imprevisíveis de *El Niño*, enquanto mudanças negativas imprevisíveis em SST representam episódios de *La Niña*.

De acordo com as abordagens de identificação de Brunner (2002), Cashin, Mohaddes e Raissi (2017) e Bastianin, Lanza e Manera (2018), o esquema de identificação adotado implica que um choque ENOS afeta a produção, exportações e o preço real dentro do mesmo mês, mas não vice-versa.

O modelo usado é linear e, portanto, pressupõe implicitamente que as respostas do preço, produção e exportação da soja para choques positivos e negativos ENOS são simétricos (isto é, as respostas mudam o sinal, mas são da mesma magnitude). Isto implica que o tempo das respostas para choques ENOS negativos e positivos são os mesmos.

As inovações na produção de soja não explicadas por choques ENOS são referidos como “choques de oferta”. Assim, pressupõe que a oferta não responde, ou tem impacto, nem a choques decorrentes do mercado mundial, nem a política de exportação.

Uma escassez devido ao clima relacionado ao ENOS leva a uma mudança imediata na oferta. Da mesma forma, a oferta muda em resposta à disseminação de doenças nas plantas, ou a choques climáticos que não estão associados ao ENOS.

As inovações ao preço internacional da soja que não são explicados pelos choques ENOS, nem por choques na oferta de soja, são chamados choques do mercado de soja. Os valores zero na restrição da terceira linha do sistema (6) implica que o preço internacional da soja responde ao impacto de tudo o que acontece no mercado mundial da soja, com exceção das decisões de exportação. Especificamente, o terceiro choque capta déficits de produção em países produtores de outras variedades de soja, mudanças na demanda do consumidor e qualquer outro tipo de produto originário dos grãos de soja, e mudanças na acumulação estoque por armazéns de soja e todas as outras suas variedades. Esta restrição zero é consistente com uma “suposição de país pequeno” (ver, por exemplo, CUSHMAN; ZHA, 1997) e é justificado pelo fato de que o mercado da soja pode ser caracterizado como concorrência perfeita, em grande parte os países produtores perderam o controle sobre os preços.

Finalmente, mudanças nas exportações de soja brasileira não explicadas por eventos ENOS, oferta interna ou choques no mercado mundial são referidos como “choques de política brasileira de exportação” e capturaram o efeito de intervenções políticas destinadas a alterar o preço internacional, como esquemas, cotas ou “iniciativas de qualidade” voltadas à retenção de exportação. Por sua vez, isso implica que as exportações respondem imediatamente a todos os eventos que afetam os mercados interno e mundial de soja.

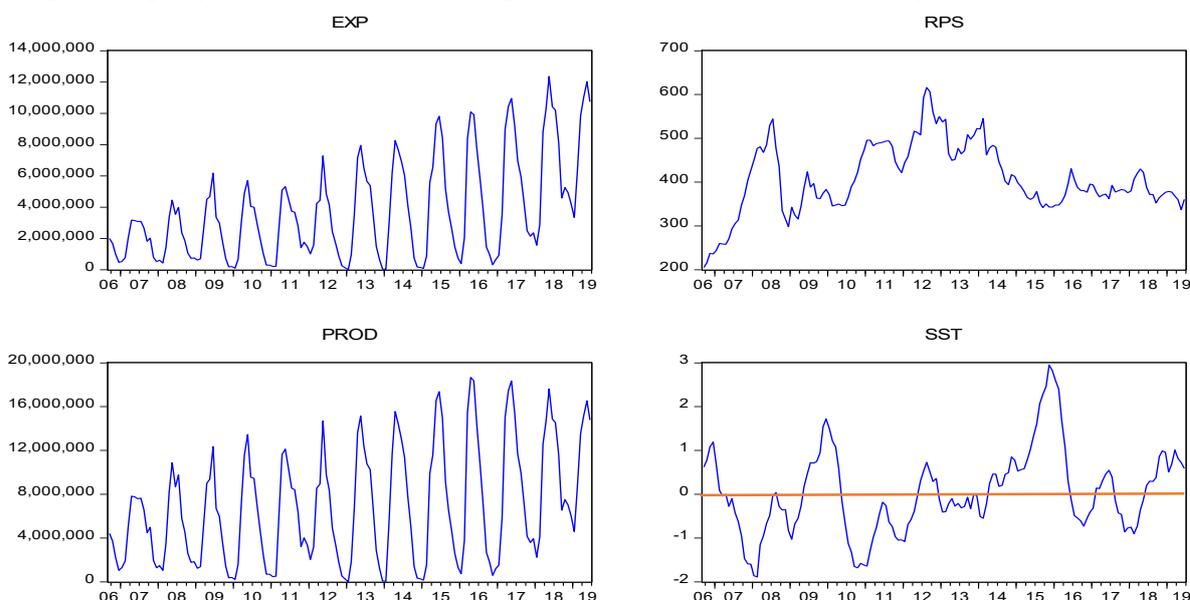
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção apresenta e discute os resultados da pesquisa. Primeiramente, apresentam-se as séries e os testes de detecção do modelo econométrico. Em seguida, apresentam-se as estimativas dos parâmetros e suas implicações relacionadas à literatura empírica.

O preço real, a produção e exportações (Figura 3) em nível da soja em grãos, entre setembro de 2006 a junho de 2019, apresentaram comportamentos sazonais. Apenas em períodos relativamente curtos é possível observar certa estacionariedade. A partir de 2012 há uma clara tendência de redução dos preços do grão. Ademais, há um claro comportamento cíclico nas exportações ao longo de todo o período. Tal período foi caracterizado pelo declínio relativo de várias *commodities*, tais como soja, minério de ferro, barril de petróleo. Ademais, essa queda generalizada nos preços marcaram o fim do ciclo de crescimento da América Latina e tiveram grandes impactos negativos na economia brasileira (ver MANZI, 2016).

Ainda na Figura 3, a incidência de eventos *El Niño* e *La Niña* foi relativamente homogênea no período analisado, porém nesta amostra houveram dois *El Niños* muito fortes, um em 2009 e outro em 2015. Neste último, a temperatura média esteve mais alta em 2,6° C. Não se observaram eventos opostos de mesma intensidade para este período, sendo o desvio da média de -1,8° C, a temperatura mais baixa registrada no ano de 2007. Ademais, quando a temperatura oscila em torno de 0°, significa que a temperatura da “Região *Niño* 3.4” teve um desvio dentro de -0,5° e 0,5°; não caracterizando um ENOS. Os períodos que apesar de terem ocorrido temperaturas maiores que 0,5°, não constituem um ENOS, pois duraram menos que 5 meses. Em relação aos eventos *La Niña*, a maioria destes duraram entre seis meses e um ano.

Figura 3 – Séries da exportação (EXP), produção (PROD), em toneladas, e preço real (RPS), em dólares, da soja em grãos e a proxy climática Sea Surface Temperature (SST) de setembro de 2006 a junho de 2019

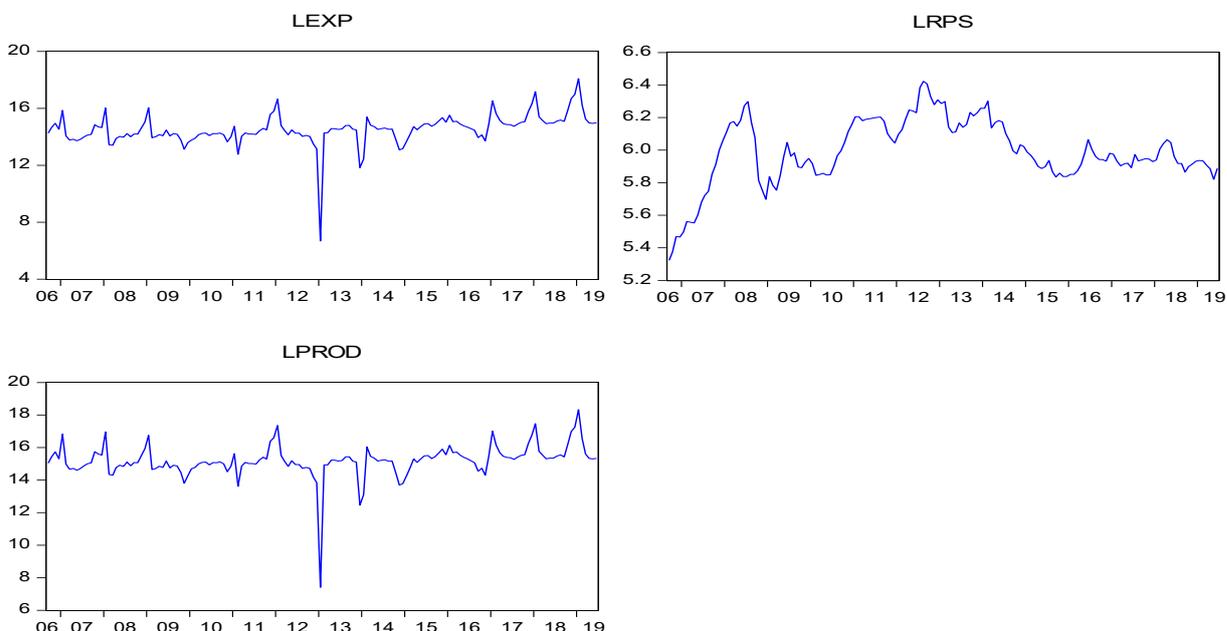


Fonte: Elaboração própria com dados do CONAB (2019), NOAA (2019), BRASIL (2019a) e INDEXMUNDI (2019)

A Figura 4 mostra as mesmas séries, porém utilizando a função logaritmo, produção e exportação com ajuste de sazonalidade, exceto a *proxy* de ENOS, pois essa transformação reduz

o grau de assimetria de todas as variáveis, a tendência, a sazonalidade e o comportamento cíclico, tendem a estabilizar sua variância amostral e a curtose de amostra.

Figura 4 – Séries, em logaritmo, da exportação (LEXP), produção (LPROD), em toneladas e do preço real (LRPS), em dólares, da soja em grãos, de setembro de 2006 a junho de 2019



Fonte: Elaboração própria com dados da CONAB (2019), BRASIL (2019a) e INDEXMUNDI (2019)

A Tabela 1 descreve as principais estatísticas descritivas de cada variável ao longo do período estudado. Observou-se que as médias amostrais de todas as variáveis, exceto SST, apresentaram alguma variabilidade ao longo dos diferentes meses do ano.

A ausência de sazonalidade em SST não é uma surpresa, na medida em que as anomalias são definidas como desvios da sazonalidade na média das temperaturas da superfície do mar (BASTIANIN; LANZA; MANERA, 2018).

Tabela 1 – Estatística Descritiva das séries da exportação, produção, em toneladas, preço real em dólares da soja em grãos e SST, originais e com logaritmo e ajustadas, exceto SST, de setembro de 2006 a junho de 2019

	EXP	PROD	RPS	SST	LEXP	LPROD	LRPS
Média	3.741.025	6.904.254	407,35	0.04	14,52	15,20	5,99
Máximo	12.353.169	18.662.065	615,98	2.95	18,08	18,33	6,42
Mínimo	2.584.160	492.157,5	204,94	-1.89	6,68	7,41	5,32
Desvio Padrão	3.174.326.	5.209.990	78,43	0,95	1,06	0,99	0,20
Skewness	0,87	0,49	0,11	0,55	-2,20	-2,79	-0,57
Curtose	2,81	2,12	3,04	3,54	22,16	26,70	3,85

Fonte: Elaboração própria com dados do CONAB (2019) NOAA (2019), BRASIL (2019a) e INDEXMUNDI, (2019)

Para verificar a estacionariedade das séries, empregou-se o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF), com resultados apresentados na Tabela 2. As estatísticas  $\tau$ ,  $\tau_{\mu}$ ,  $\tau$  correspondem, respectivamente, às equações com constante e com tendência; com constante e sem tendência; e sem constante e sem tendência.

Tabela 2 – Teste de Raiz Unitária, Dickey-Fuller Aumentado (ADF) para as séries da exportação, produção, preço real da soja em grãos, log-transformadas e a proxy climática *Sea Surface Temperature* de setembro de 2006 a junho de 2019

	$t\tau$	Defasagens	$\tau \mu$	Defasagens	$\tau$	Defasagens
<b>LPROD</b>	-7,91*	0	-7,63*	0	-4,39**	1
<b>LRPS</b>	-3,30 ***	1	-3,45 *	1	1,91 ***	1
<b>LEXP</b>	-7,81*	0	-7,09*	0	-4,38**	1
<b>SST</b>	-4,99*	3	-4,48*	3	-4,50*	3

Os valores críticos para o modelo com constante e com tendência ao nível de 1%, 5%, e 10% são respectivamente -4,02, 3,44 e -3,15, para o modelo com constante e sem tendência os Valores Críticos são, ao nível de 1% (-3,48), 5% (2,89) e 10% (-2,58) e para o modelo sem constante e sem tendência os Valores Críticos são, ao nível de 1% (2,58), 5% (-1,94) e 10% (1,61).

\*\*\*indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 10%.

\*\*indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 5%.

\*indica que a hipótese nula é rejeitada ao nível de significância de 1%.

Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração dos autores

Os resultados (Tabela 2) sinalizaram que todas as séries pesquisadas são estacionárias, tendo em vista que os valores calculados são menores em módulo que seus respectivos valores críticos de 1%, 5% e 10% em todos os modelos analisados, ou seja, a hipótese nula de raiz unitária pode ser rejeitada para estas séries consideradas.

Vale ressaltar que o teste ADF é muito sensível à presença de valores atípicos, por esta razão, fez-se necessária a estimação dos testes de raiz unitária com presença de quebras. Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos testes de estacionariedade formulados por Kwiatkowski et al. (1992) – KPSS. Os resultados mostraram que todas as séries analisadas são estacionárias em nível, já que a hipótese nula de estacionariedade foi aceita.

Tabela 3 – Teste de estacionariedade formulado por Kwiatkowski-Phillips- Schmidt-Shin, para as séries da exportação, produção, preço real da soja em grãos, log-transformadas e a proxy climática *Sea Surface Temperature* de setembro de 2006 a junho de 2019

	Tendência e Constante	Defasagens	Constante	defasagens
<b>LPROD</b>	0,21 **	5	0,51**	6
<b>LRPS</b>	0,26*	9	0,20 **	9
<b>LEXP</b>	0,22 *	6	0,82 *	7
<b>SST</b>	0,068*	9	0,296*	9

Os valores críticos para o modelo com constante e com tendência são 0,2160, 0,1460 e 0,1190, a 1%, 5% e 10%, respectivamente; e para o modelo com constante e sem tendência, 0,7390, 0,4630 e 0,3470, a 1%, 5% e 10%, respectivamente.

\*\*indica que a hipótese nula é rejeitada a 5%.

\*indica que a hipótese nula é rejeitada a 1%.

Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração dos autores

Observada a estacionariedade das séries em nível. Tornou-se necessário, para a estimação, o uso da abordagem baseada no modelo VAR. Nesse sentido, o primeiro passo é a definição da defasagem do modelo autorregressivo. Isso é realizado por meio da análise dos critérios de informação descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Número de defasagens incluídas nos modelos VAR, segundo critério de informação de Akaike (AIC), Schwarz (SC) e Hannan-Quinn (HQ)

Lag	LogL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	-265,27	NA	0,0005	3,69	3,77	3,72
1	308,92	1109,05	2,25e-07	-3,96	-3,55*	-3,79
2	347,64	72,67*	1,65e-07*	-4,27*	-3,53	-3,97*
3	356,11	15,44	1,83e-07	-4,17	-3,10	-3,73

Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração dos autores

Para a determinação do número de defasagens (lags) a serem utilizados no modelo VAR, recorreu-se aos critérios apresentados na Tabela 4. A decisão da escolha baseou-se pelo número de defasagens (p) que minimizou os Critérios de Informação Akaike (AIC) e de Hannan-Quinn (HQ). Nesse caso específico, a escolha foi por duas defasagens.

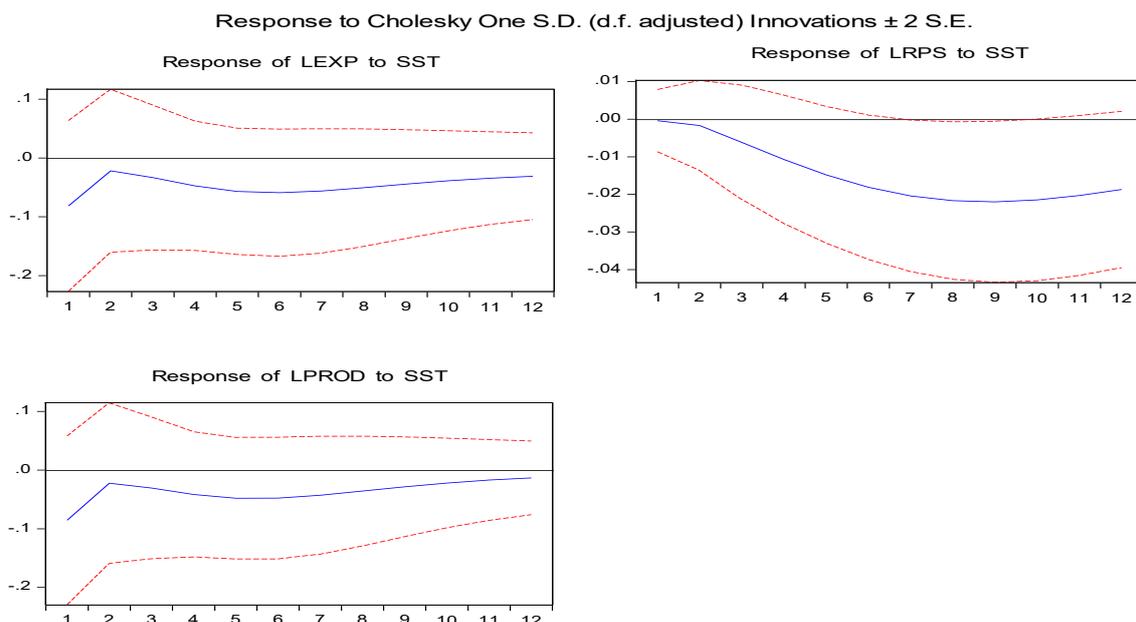
O teste de exogeneidade em bloco de Granger (Granger Causality/Block Exogeneity Wald Tests) permitiu classificar o grau de exogeneidade das variáveis, de forma a ordená-las na função impulso à resposta e na decomposição da variância de maneira mais consistente. A sugestão de ordenamento das variáveis ficou definida como segue: preço real (LRPS), *Sea Surface Temperature* (SST), produção (LPROD) e exportação (LEXP).

Assim, constatou-se que a condição de estabilidade foi satisfeita, uma vez que as raízes inversas do polinômio característico se encontram dentro do círculo unitário. Também foi testada a normalidade dos resíduos, entretanto, a hipótese nula de que os resíduos seguem uma distribuição normal, foi rejeitada. Segundo Lopes (2012), a hipótese de normalidade para dados econômicos associados à economia brasileira raramente é aceita; possivelmente, devido a volatilidade característica das séries macroeconômicas, como por exemplo: preço e produção, nesse sentido, o modelo será estimado mesmo na ocorrência de rejeição da hipótese nula.

Uma das críticas existentes aos modelos do tipo VAR é a de que os coeficientes estimados tendem a ser relativamente instáveis, devido ao excesso de variáveis endógenas no sistema. Nesse contexto, a análise deve partir da exploração das funções impulso resposta e das análises de decomposição da variância. Portanto, partiu-se para a análise da intensidade e duração do choque de cada uma das variáveis no modelo econométrico.

A Figura 5 apresenta a resposta da produção, exportações e preço real da soja para um choque ENOS. Cada painel mostra a função impulso resposta estimada (IRF), bem com uma e duas bandas de erro padrão.

Figura 5 – Função impulso resposta a um choque ENOS positivo



Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração dos autores

Na Figura 5, a IRF gerada por um choque ENOS descreveu uma mudança positiva nas anomalias SST, sinalizando um surto de condições de *El Niño*. Em zonas com produção de soja, o *El Niño* tende a aumentar as temperaturas e diminuir as chuvas e umidade do solo. Esses fatores estimulam o crescimento e floração, com impacto positivo na produção. Portanto, um choque ENOS positivo tem impactos benéficos sobre a produção e exportação de soja brasileira (ARAÚJO *et. al.*, 2013). O surto de *El Niño* produz um temporário, embora importante, aumento na produção e exportação de soja brasileira.

O gráfico superior esquerdo da Figura 5 mostra a resposta das exportações para os choques ENOS, no qual seu comportamento é explicado pelo fato de que qualquer impacto do ENOS sobre a produção afetará as exportações. O resultado de um aumento nas exportações pode ser resumido pelo efeito positivo na produção.

O painel do lado superior esquerdo da Figura 5 exibe a resposta do preço real da soja para um choque ENOS positivo. O efeito acarretou uma redução ao longo do ano após o choque. No entanto, os efeitos deprimentes dos preços podem ser conciliados ao fato de que um choque ENOS tem dois impactos, um sobre a produção e o segundo nas exportações. Assim, qual dos dois efeitos prevalecerá dependerá da elasticidade-preço de demanda. No caso da soja, a elasticidade-preço da demanda e da oferta, no curto prazo, é baixa (BERNARDO; QUEIROZ, 2011), portanto, a queda do preço devido ao “efeito oferta” pode dominar o “efeito exportação”, o que ajuda a explicar essa grande redução de preços.

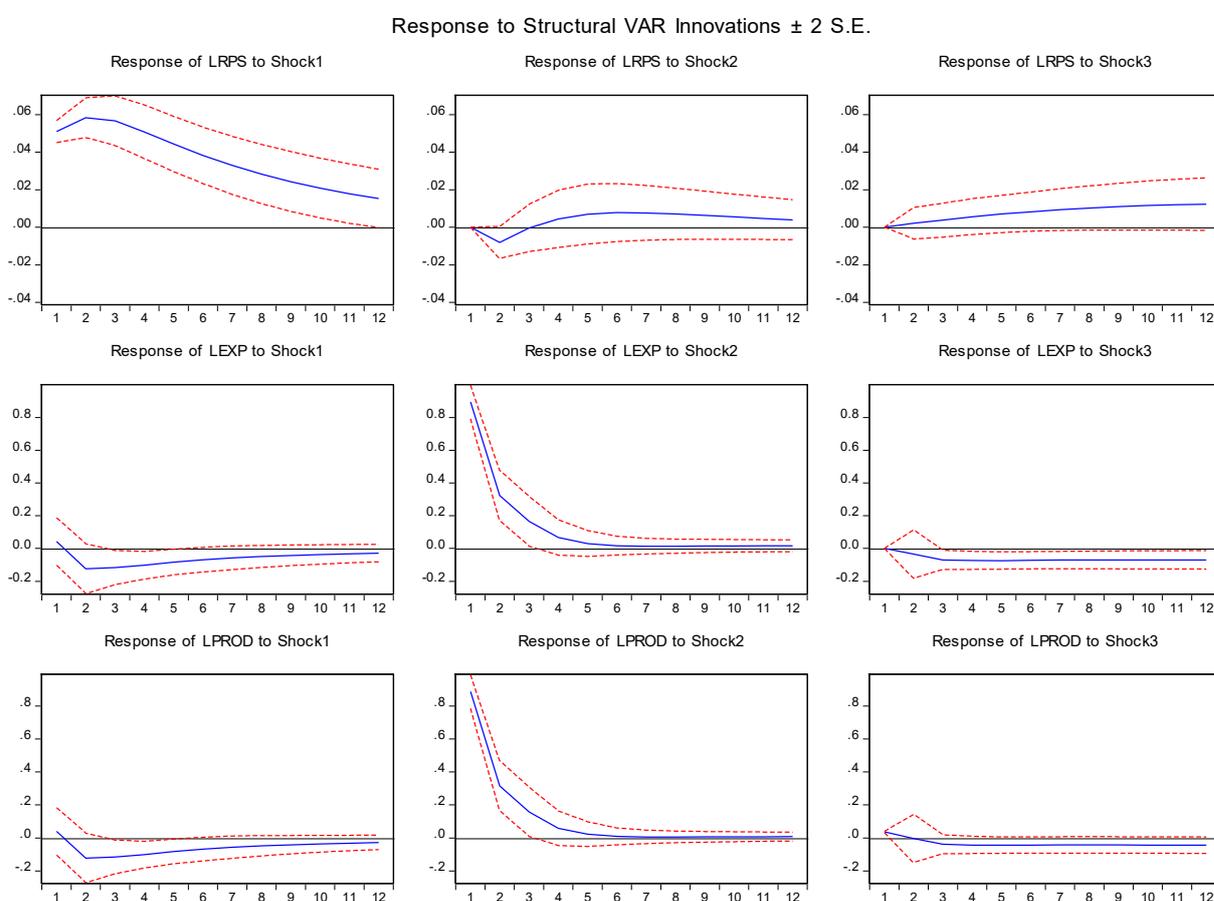
O modelo considerado foi linear, isto é, não leva em conta respostas não lineares ou assimétricas; essa característica implica que para avaliar os efeitos de um choque ENOS negativo (ou seja, *La Niña*), os IRFs de produção, exportações e o preço real deve ser simplesmente traduzido no eixo horizontal.

Assim, após o surto de *La Niña*, a produção e exportação de soja diminuem, enquanto o preço real da produção aumenta. Durante *La Niña*, temperaturas diminuem e há o aumento

de chuvas e umidade do solo. A complexa interação dessas condições diminui a produtividade das plantações de soja e impulsiona o risco de doenças de plantas, inundações e destruição da infraestrutura produtiva (ARAÚJO *et. al.*, 2013). Assim, pelo menos em princípio, *La Niña* pode ser mais prejudicial do que *El Niño*, cujos efeitos são geralmente benéficos para a produção. Em particular, a resposta do preço real de soja aos choques de *La Niña* (*El Niño*) é positiva (negativa) e estatisticamente significativo.

A Figura 6 apresenta a resposta do preço real, produção e exportações da soja para os choques no mercado mundial da soja (choque 1), na oferta brasileira (choque 2), bem como às inovações surgidas nas políticas de exportações (choque 3). Cada painel mostra a função de resposta ao impulso estimada (IRF), bem como uma e duas bandas de erro padrão do modelo estrutural.

Figura 6 – Função impulso resposta para o mercado de soja brasileiro



Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração dos autores

A Figura 6 descreve o mercado da soja brasileira considerando o modelo VAR estrutural (ou seja, as últimas três equações do sistema 6). Um choque negativo para a oferta de soja (choque 2) provoca o declínio abrupto na produção. A queda é permanente e o IRF permanece negativo por quase seis meses. Além disso, uma interrupção inesperada do suprimento gera um pequeno aumento no preço real, comprovando que o preço é pouco sensível à variação nas quantidades. Esse choque também causa uma queda nas exportações, semelhante ao ocorrido com a oferta de soja.

Choques surgidos no mercado mundial de soja (choque 1) praticamente não afetam a produção e exportação, mas causam uma forte queda no preço real ao longo do ano. Por fim, a resposta da produção, exportação e preço real da soja a um choque de política de exportação brasileira (choque 3) gera um pequeno aumento transitório de aproximadamente 3 meses para os dois primeiros, e uma pequena redução transitória de ao longo do ano para o último. Esse comportamento é consistente com a noção de mercado competitivo, isto é, não podem influenciar o preço de suas exportações, que é principalmente determinado por eventos no mercado mundial.

A Tabela 5 mostra as contribuições percentuais dos choques ENOS, de oferta brasileira, surgidos no mercado mundial e os choques decorrentes das decisões de políticas de exportação na variabilidade global da produção, exportação e preço real da soja brasileira, com base na decomposição de desvio de erro de previsão *Forecast error variance decomposition* (FEVD) do modelo VAR estrutural para 1, 3, 6, 9 e 12 meses.

Tabela 5 – Contribuição percentual de cada choque para a variabilidade da produção, preço real e exportações de soja brasileira

Horizonte (meses)	Decomposição da variância do preço real da soja brasileira (LRPS)			
	Mercado Mundial	SST	Oferta brasileira	Política de exportação
1	100,00	0,00	0,00	0,00
3	98,76	0,37	0,72	0,15
6	94,32	4,15	0,98	0,56
9	87,58	9,96	1,22	1,23
12	82,33	14,20	1,24	2,23

Horizonte (meses)	Decomposição da variância da produção de soja brasileira (LPROD)			
	Mercado Mundial	SST	Oferta brasileira	Política de exportação
1	0,20	0,92	98,88	0,00
3	3,17	0,93	95,63	0,26
6	5,26	1,55	92,14	1,05
9	5,89	1,93	90,47	1,71
12	6,13	2,00	89,53	2,34

Horizonte (meses)	Decomposição da variância da exportação de soja brasileira (LEXP)			
	Mercado Mundial	SST	Oferta brasileira	Política de exportação
1	0,22	0,82	98,79	0,16
3	3,16	0,85	94,98	1,01
6	5,16	1,70	90,19	2,95
9	5,71	2,38	87,32	4,59
12	5,87	2,67	85,39	6,07

Fonte: Dados da pesquisa (2019). Elaboração dos autores

No período de 2006 a 2019, o poder explicativo dos choques ENOS para o mercado brasileiro de soja é, em média, pequeno. O impacto desse choque ENOS conta apenas com uma pequena porcentagem da variação na produção (0,93%), exportações (0,85%) e preço real (0,37%). Considerando um ano, o poder explicativo dos choques ENOS para a produção, exportação e preço real sobem para 2%, 2,7% e 14,2%, respectivamente. Em relação ao preço real da soja, o choque que surge no mercado mundial explica, 82% de sua variação, enquanto as inovações no fornecimento de soja brasileira apenas 1,24%.

Em relação à produção e exportação de soja, ambas são explicadas pela oferta brasileira de soja correspondendo a 89% de sua variação, enquanto o choque que surge no mercado mundial explica aproximadamente 6%.

Em suma, observou-se uma resposta suave ao poder explicativo de eventos ENOS, as inovações (ou choques) no mercado mundial e doméstico (oferta e exportação), são os mais importantes para descrever e afetar o mercado de soja em grãos brasileiro.

A discussão sobre a temática de mudanças climáticas é crescente e suas contribuições podem ser usadas para otimizar a resposta das autoridades com a criação de política públicas interessadas no setor do agronegócio, como por exemplo os modelos climáticos que podem prever anomalias ENOS em até dois anos de antecedência (CHEN *et al.*, 2004). Contudo, as respostas políticas ótimas a eventos climáticos extremos exigem não só modelos climatológicos precisos, mas também um profundo entendimento dos mecanismos de propagação através dos quais os choques ENOS influenciam as variáveis econômicas de interesse. Nesse sentido, o modelo econométrico estrutural tornou-se um passo nessa direção, fornece uma interpretação das causas de diferentes choques para o preço real da soja brasileira.

Segundo o último relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas IPCC (2019), entre 18% a 43% da variação do rendimento da soja é atribuível a temperaturas extremas e alto volume de chuvas, o que tem um impacto negativo direto sobre a segurança alimentar. Ademais, choques climáticos, particularmente secas severas, são ainda mais graves para os pequenos produtores. Temperaturas mais altas estão associadas a um maior grau de concentração de ozônio, em que a cultura da soja é mais sensível a esse tipo de exposição. Por fim, a mudança climática vem modulando os rendimentos recentes em escala global e levou a perdas de produção, e que as adaptações realizadas até o momento não foram suficientes para compensar os impactos negativos dessas mudanças, particularmente em latitudes mais baixas.

Um aspecto importante encontrado é a adaptação às mudanças climáticas. Mesmo que o preço e a produção exibem apenas uma leve reação aos efeitos ENOS, as alterações climáticas deverão aumentar a frequência e intensidade de ambas as fases desse fenômeno (CAI *et al.*, 2014). Com isso, a identificação das causas dos choques será crucial para estabilizar o mercado. Ao surgimento de um específico choque ao mercado de soja brasileira, os resultados encontrados podem ser usados para adequar ações, como gerenciamento mais eficiente de estoque, pelo menos a curto prazo.

O impacto e a intensidade em que o SST afeta o mercado da soja brasileira corroboram com Berlatto, Farenzena e Fontana (2005), Araújo *et al.* (2013), em relação ao preço, com Keppen (1995) que obteve resultados semelhantes para o mercado futuro e com Brunner (2002) que trabalhou com outras variáveis dependentes. Peri (2017) encontrou resultados mais expressivos para o milho, porém conclui que o El Niño impacta o preço da soja positivamente durante a safra boreal<sup>5</sup>. Em direção oposta ao resultado deste trabalho, o mesmo autor conclui que o La Niña diminui o preço durante a safra austral.

---

<sup>5</sup> Refere-se a algum fenômeno que acontece no hemisfério norte e austral relacionado ao hemisfério sul.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou descrever o impacto de eventos ENOS no mercado da soja em grãos brasileira, utilizando dados mensais no período de 2006 a 2019. Mais especificamente, sobre o mercado internacional da soja e sobre os efeitos ENOS, relacionando estas duas literaturas por meio de autores que já realizaram pesquisas semelhantes à esta. Essa revisão ajudou na construção do modelo teórico e da estratégia de identificação do modelo empírico.

Por meio de dados sobre o mercado da *commodity* soja, da SST e de técnicas econométricas como o VAR estrutural, estimou-se um modelo onde a variável de mudança climática é exógena e afeta as demais variáveis endógenas do modelo.

A variabilidade climática é o principal fator responsável pelas oscilações e frustrações da produção de soja. As relações entre os parâmetros climáticos e a produção agrícola são bastante complexas, pois fatores ambientais afetam o crescimento e o desenvolvimento sob diferentes formas durante as fases de crescimento dessa cultura. Assim, fatores climáticos podem reduzir a produtividade, tais como temperaturas adversas, radiação solar e alta umidade.

Como consequência, pode-se avaliar os impactos dos choques ENOS sobre o mercado da soja, enquanto controlou-se os choques domésticos, bem como do mercado mundial. Verificou-se que o impacto geral dos choques ENOS foi pequeno, e que choques da demanda internacional tem mais poder explicativo do que os choques internos do lado da oferta.

A novidade dessa pesquisa reside, em primeiro lugar, ao uso de uma abordagem que identificou a relação entre os choques no mercado da soja com os impactos macroeconômicos agregados. Na literatura, diferentemente desse trabalho, os esforços concentraram-se apenas em choques de oferta, não distinguiram dos choques dos preços pelo lado da demanda e consideraram a *proxy* de mudanças climática endógena em relação às variáveis macroeconômicas do mercado da soja.

Uma segunda característica foi fornecer uma análise detalhada para um único país e uma mercadoria específica. Concentrou-se no Brasil, ao invés de olhar diretamente para o mercado mundial, porque os efeitos climáticos ENOS são altamente heterogêneos entre as regiões do mundo, cabe destacar a importância da soja, sua produção mundial é de 362,075 milhões de toneladas com área plantada de 125,691 milhões de hectares em 2018, e o Brasil se destaca com um dos grandes produtores e exportadores dessa *commodity* com produção de 114,843 milhões de toneladas, área plantada de 35,822 milhões de hectares, produtividade de 3,206 kg/ha e o total exportado de US\$ 40,9 bilhões em 2018.

Do ponto de vista macroeconômico, os resultados sugerem que um determinado choque pode ter efeitos benéficos, prejudiciais ou insignificantes para o mercado de soja brasileira. Por exemplo, um aumento de preço devido à eclosão de *La Niña*, impacta diferentemente de um choque de preços vindo do mercado externo. Assim, as respostas políticas aos choques devem ser cuidadosamente projetadas, levando-se em consideração, as causas desses choques.

Os resultados encontrados, também, são relevantes para projetar políticas agrícolas e ambientais. Nesse sentido, as autoridades brasileiras devem explorar essas previsões para implementar programas de prevenção e fortalecimento da resiliência das comunidades expostas

a eventos climáticos extremos, de modo a reduzir suas consequências socioeconômicas. Ademais, ao incorporar nas previsões os efeitos ENOS, funcionando como um sistema de alerta precoce, pode-se salvar vidas, reduzir perdas econômicas, e impulsionar os benefícios de mudanças ENOS quando ele tem um impacto econômico positivo.

O estudo apresentou-se coerente com resultados encontrados em outras pesquisas, indicando a consistência do mesmo. Por fim, recomenda-se como pontos importantes para trabalhos futuros a utilização de outras variáveis *proxy* de eventos ENOS tais como o SOI, MEI ou alternativamente ao modelo linear utilizado aqui, o emprego de modelos não lineares.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, R. M.; BRYANT, K. J.; MCCARL, B. A.; LEGLER, D. M.; O'BRIEN, J; SOLOW, A; WEIHER, R. Value of Improved Long-Range Weather Information. **Contemporary Economic Policy**, v. 13, p. 10-19, 1995.

ABITANTE, K. G. Co-integração entre os mercados spot e futuro: evidências dos mercados de boi gordo e soja. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 75-96, jan./mar. 2008.

ALLEN, J. T.; TIPPETT, M. K.; SOBEL, A. H. Influence of the *El Niño* /Southern Oscillation on tornado and hail frequency in the United States. **National Geoscience**, v. 8, n. 4, p. 278–283, 2015.

AMISANO, G.; GIANNINI, C. **Topics in structural VAR econometrics**. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1997.

ARAÚJO, P. H. C.; FÉRES, J.; REIS, E.; BRAGA, M. J. Eventos climáticos extremos: efeitos dos fenômenos *el niño* e *la niña* sobre a produtividade agrícola. In: BOUERI, R.; COSTA, M. A. (Eds.). **Brasil em desenvolvimento 2013: estado, planejamento e políticas públicas**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2013. v. 3.

BASTIANIN, A.; LANZA, A.; MANERA, M. Economic impacts of *El Niño* southern oscillation: evidence from the Colombian coffee market. **Agric. Econ.**, v. 49, p.623–633, 2018.

BERLATO, M. A.; FARENZENA, H.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesq. agropec. bras.**, v. 40, n. 5, p. 423-432, 2005.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Impacts of *El Niño* and *La Niña* on agricultural production in southern Brazil and the use of climate forecasts in agriculture. In: CUNHA, G.R.; HAAS, J.C.; BERLATO, M.A. (Ed.) **Applications of climate forecasting for better decisionmaking processes in agriculture**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. p. 217-241.

BERNARDO, L. T.; QUEIROZ, A. M. A elasticidade-preço da demanda e a elasticidade-preço da oferta nas commodities agrícolas milho e soja no Brasil. **Revista de Economia da UEG**, v. 2, p. 48-65, 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abatecimento. AGROSTAT. **Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro**. 2019a. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 11 set. 2019.

BRASIL. Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Comex Vis. **Estatísticas de comércio exterior**. 2019b. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/comex-vis/frame-pp>>. Acesso em: 10 set. 2019.

BRUNNER, A. D. El Niño and world primary commodity prices: Warm water or hot air? **Review of Economics and Statistics**, v. 84, n. 1, p. 176–183, 2002.

CAI, W.; BORLACE, S.; LENGAIGNE, M. et al. Increasing frequency of extreme *El Niño* events due to greenhouse warming. **Nature Climate Change**, v. 4, n. 2, p. 111–116, 2014.

CASHIN, P.; MOHADDES, K.; RAISSI, M. Fair weather or foul? The macroeconomic effects of *El Niño*. **Journal of International Economics**, n. 106, p. 37–54, 2017.

CASTRO, L. S.; SILVA JUNIOR, A. G.; CAMPOS, A. C.; BRAGA, M. J. Transmissão de preços e análise da volatilidade no mercado internacional da soja em grão: Uma abordagem utilizando a econometria de séries temporais. In: 50º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural (SOBER); 50. 2012. Vitória. **Anais...**, Vitória, 2012.

CEPEA (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada). CNA (Confederação Nacional da Agricultura). **Produto interno bruto do agronegócio**: dados de 1996 a 2018. 2019. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/pib/>> Acesso em 10 set. 2019.

CHEN, D., CANE, M. A., KAPLAN, A., ZEBIAK, S.E., HUANG, D. Predictability of *El Niño* over the past 148 years. **Nature**, v. 428, n. 6984, p. 733–736, 2004.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). **Séries Históricas**. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=20>. Acesso em: 10 set. 2019.

CUSHMAN, D. O.; ZHA, T. Identifying monetary policy in a small open economy under flexible exchange rates. **Journal of Monetary Economics**, v. 39, n. 3, p. 433–448, 1997.

DAVEY, M.; BROOKSHAW, A.; INESON, S. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. **Clim. Risk Manag.**, n. 1, p. 5–24, 2014.

ENDERS, W. **Applied econometric time series**. New York: John Wiley and Sons, 1995.

FERNANDES, M.; TORO, J. O Mecanismo Monetário de transmissão na Economia Brasileira Pós-Plano Real. **Revista Brasileira de Economia**, v. 59, n. 1, p. 5-32, Jan./Mar. 2005. Disponível em: <[epge.fgv.br/portal/arquivo/1293.pdf](http://epge.fgv.br/portal/arquivo/1293.pdf)> Acesso em: 15 set. 2019.

GALVÃO, M. C.; SOUZA, M. O.; BINI, D. A.; BACCHI, M. R. P. Influência do preço mundial do petróleo sobre os preços da soja e do açúcar: Uma análise para o Brasil. In: SBPO (Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional); 47. 2015. Porto de Galinhas **Anais...** Porto de Galinhas: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2015, p. 1193-1204.

INDEXMUNDI. *Soybeans*. 2019. Disponível em: <<https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybeans&months=60>>. Acesso em 11 set. 2019.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Climate Change, 2019: The physical science basis. Working Group I Report**. 2019. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/Fullreport-1.pdf>. Acesso em: nov. 2019.

KEPPENNE, C. L. An ENSO Signal in Soybean Futures Prices. **Jornal of Climates**, v. 8, p. 1685-1689, 1995.

KILIAN, L.; LÜTKEPOHL, H. **Structural vector autoregressive analysis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P.C.B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root. How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, v. 54, p. 159-178, 1992.

LLANA, M. P; VARGAS, W; NAUMANN, G. Climate variability in areas of the world with high production of soya beans and corn: its relationship to crop yields. **Meteorological Applications**, v. 19, n. 4, p. 385-396, 2012.

LOPES, G. O. **Endividamento das famílias brasileiras no Sistema Financeiro Nacional**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado em Economia do Setor Público) – Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Ciência da Informação e Documentação, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

LÜTKEPOHL, H. **New Introduction to multiple time series analysis**. Berlin: Springer, 2010.

MANZI, R. H. D. O fim do superciclo das commodities internacionais e seus reflexos na economia brasileira. **Conjuntura Internacional**, Belo Horizonte, v. 13 n. 1, p. 36 – 43, 2016.

MARGARIDO, M. A.; SOUZA, E. L. L. Formação de preços da soja no Brasil. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 45, n. 2, p. 52-61, 1998.

NOAA. **Historical Maps and Charts audio podcast**. National Ocean Service website, 2019. Disponível em: <<https://oceanservice.noaa.gov/podcast/july17/nop08-historical-maps-charts.html>>. Acesso em: 10 set. 2019.

PERI, M. Climate variability and the volatility of global maize and soybean prices. **Food security**, v. 9, p. 673–683, 2017.

ROCHA, D. T; CORSO, J. M; PEDRO, J. J; SILVA, W. V. Relação entre os preços do grão de soja nos mercados à vista e futuro: uma análise a partir da razão ótima de Hedge. **ReFAE – Revista da Faculdade de Administração e Economia**, v. 1, n. 2, p. 113-137, 2010.

SANTOS, R. M. **A influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul em lavouras de verão no Corede Produção, Rio Grande do Sul**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SCHEMES, F. K. **Impactos de eventos climáticos no preço da soja em cbot entre 1988 e 2016**. 2018. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

SILVA, R. A.; CORONEL, D. A.; SILVA, M. L. Determinantes das exportações brasileiras de soja em grão (1999-2011). **Reflexões Econômicas**. v. 1, n. 1, p. 275-294, abr./set. 2015.

SIMS, C. A.; STOCK, J.H., WATSON, M. W. Inference in linear time series models with some unit roots. **Econometrica**, v. 58, n. 1, p. 113–144, 1990.

TACK, J. B.; UBILAVA, D. The effect of *El Niño* Southern Oscillation on U.S. corn production and downside risk. **Climatic Change**, v. 121, n. 4, p. 689–700, 2013

TACK, J.B.; UBILAVA, D. Climate and agricultural risk: measuring the effect of ENSO on U.S. crop insurance. **Agricultural Economics**, v. 46, n. 2, p. 245–257, 2015.

UBILAVA, D. *El Niño, La Niña*, and world coffee price dynamics. **Agric. Econ.**, v. 43, n. 1, p. 17–26, 2012.

UBILAVA, D. The role of *El Niño* Southern Oscillation in commodity price movement and predictability. **Am. J. Agric. Econ.**, v. 100, n. 1, p. 239–263, 2018.

USDA. **Foreign Agricultural Service**. United States Department of Agricultural website. 2019. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/search>>. Acesso em: 10 set. 2019.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *El Niño*: Southern Oscillation. **Working paper**, Geneva, Switzerland, n. 1145, 2014.