

ÁREA TEMÁTICA: Finanças

**PREÇOS DA SOJA E EFICIÊNCIA DE MERCADO: COINTEGRAÇÃO ENTRE
CME, B3, CEPEA E O IMPACTO DO ENSO**

Resumo

Este estudo investigou a relação de longo prazo entre os preços da soja nos mercados internacional (CME) e domésticos (B3 e CEPEA), considerando também o impacto do índice climático ENSO na formação de preços e na eficiência desses mercados. Foram utilizadas séries mensais de fevereiro de 2011 a dezembro de 2024, totalizando 166 observações. Por meio do teste de cointegração de Johansen e do modelo VECM, identificou-se uma trajetória comum de longo prazo, indicando integração e interdependência entre os mercados analisados. Os resultados mostraram que o mercado internacional (CME) lidera a descoberta de preços, exercendo forte influência sobre os mercados brasileiros, enquanto a resposta dos mercados domésticos é mais lenta e assimétrica. A inclusão do índice ENSO como variável exógena evidenciou sua relevância estrutural, revelando que choques climáticos, como El Niño e La Niña, afetam significativamente a dinâmica de preços da soja. As análises indicam ainda que há diferenças na eficiência informacional entre os mercados, com variações na velocidade e intensidade de ajuste frente aos choques. Esses achados ressaltam a necessidade de considerar fatores climáticos na formulação de políticas públicas, estratégias de *hedge* e mecanismos de mitigação de riscos nos mercados de *commodities* agrícolas. O estudo contribui para a compreensão das interações entre mercados internacionais e domésticos e da influência de variáveis ambientais na precificação de soja, oferecendo subsídios para futuras pesquisas sobre eficiência de mercado e estratégias de gestão em contextos de incerteza climática.

Palavras-Chave: Cointegração; Eficiência de Mercado; *Commodity*; Teste de Johansen; VECM.

Abstract

This study investigated the long-term relationship between soybean prices in the international (CME) and domestic (B3 and CEPEA) markets, considering the impact of the ENSO climate index on price formation and market efficiency. Monthly series from February 2011 to December 2024, totaling 166 observations, were analyzed. Using the Johansen cointegration test and the VECM model, a common long-term trajectory was identified, indicating integration and interdependence among the markets. Results showed that the international market (CME) leads price discovery, exerting a strong influence on Brazilian markets, while domestic markets respond more slowly and asymmetrically. The inclusion of the ENSO index as an exogenous variable highlighted its structural relevance, showing that climate shocks, such as El Niño and La Niña, significantly affect soybean price dynamics. The analysis also indicates differences in informational efficiency among markets, with variations in the speed and intensity of adjustment to shocks. These findings emphasize the importance of considering climatic factors in public policy, hedging strategies, and risk mitigation mechanisms in agricultural commodity markets. The study contributes to understanding the interactions between international and domestic markets and the influence of environmental variables on soybean pricing, providing insights for future research on market efficiency and management strategies under climate uncertainty.

Keywords: Cointegration; Market Efficiency; Commodity; Johansen Test; VECM.

1. Introdução

A soja desempenha papel central no mercado global, sendo uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal. Sua demanda crescente, especialmente em países emergentes e na produção de biocombustíveis, confere-lhe grande influência no comércio internacional e nas economias dos países produtores, com destaque para o Brasil (Conab, 2019). A volatilidade de seus preços resulta de fatores diversos, como condições climáticas, políticas agrícolas e dinâmicas de oferta e demanda (Atchadé; Nougbodé, 2024). Entre os fenômenos climáticos, o El Niño-Oscilação Sul (ENSO) destaca-se como um dos principais determinantes da produção agrícola, impactando diretamente os preços da soja nos mercados internacional e doméstico (Sun *et al.*, 2023; Noorunnahar; Mila; Haque, 2023).

Diante disso, esta pesquisa investiga a relação de longo prazo entre os preços da soja nos mercados internacional (CME) e domésticos (B3 e Cepea), com ênfase na influência do ENSO. A questão central é a existência de cointegração entre esses mercados e o índice climático, ou seja, se há uma relação de longo prazo entre preços da soja e condições climáticas, bem como se os mercados refletem padrões esperados de eficiência, integrando informações disponíveis (Fama, 1970; Ayinde; Muchie; Akinsola, 2011; Moraes *et al.*, 2024).

Embora a literatura explore o impacto de fenômenos climáticos sobre *commodities* e a eficiência de mercado, poucos estudos abordam simultaneamente a interação entre mercados de soja internacionais e domésticos e a influência do ENSO (Sun *et al.*, 2023). Este estudo preenche essa lacuna ao analisar a cointegração e a transmissão de choques climáticos, contribuindo para a compreensão da eficiência de mercado (Moraes; Sobral; Melo, 2021).

A principal pergunta que orienta a pesquisa é: Os mercados de soja (CME, B3 e Cepea) estão cointegrados entre si e com o índice ENSO, e os preços refletem as condições de eficiência de mercado? Para responder, serão aplicados o Teste de Cointegração de Johansen e o Modelo de Correção de Erros Vetoriais (VECM), metodologias consolidadas para examinar relações de longo prazo entre séries temporais (Engle; Granger, 1987; Johansen, 1991). Essas ferramentas permitirão verificar a cointegração e analisar como os preços se ajustam às condições climáticas, revelando o grau de transmissão de informações entre os mercados (Ayinde; Muchie; Akinsola, 2011).

A pesquisa contribui em duas frentes. Teoricamente, amplia o entendimento sobre a integração entre mercados de soja e o impacto do ENSO na formação de preços. Praticamente, fornece subsídios a *traders*, empresas agrícolas e formuladores de políticas para decisões mais informadas em gestão de risco e previsão de preços em contextos de flutuações climáticas. A integração entre mercados pode ainda aumentar a previsibilidade dos preços, favorecendo estratégias de hedging mais eficazes e fortalecendo a eficiência do mercado.

2. Fundamentação Teórica

A eficiência de mercado e a transmissão de preços nas cadeias de *commodities* agrícolas têm sido amplamente estudadas pela relevância desses mecanismos na formação de preços, alocação de recursos e planejamento agrícola (Moraes *et al.*, 2024). O conceito de eficiência de mercado refere-se à capacidade dos preços refletirem todas as informações disponíveis, condição fundamental para mercados competitivos e para a precificação correta das *commodities*, sobretudo quando fatores externos, como o clima, afetam a produção (Fama, 1970; Moraes; Sobral; Melo, 2021).

No caso das *commodities*, a eficiência costuma ser investigada por meio da cointegração, que identifica relações de equilíbrio de longo prazo entre diferentes mercados, mesmo quando as séries individuais são não estacionárias (Engle; Granger, 1987; Johansen, 1991). Essa abordagem é particularmente útil para mercados agrícolas interligados, nos quais a transmissão de preços indica integração e eficiência. Diversos estudos aplicaram a cointegração para analisar a relação entre preços domésticos e internacionais, reforçando sua importância para compreender a integração entre mercados (Ayinde; Muchie; Akinsola, 2011; Moraes; Sobral; Melo, 2021).

Além dos fatores de mercado, variáveis globais e locais, como políticas comerciais e condições climáticas, exercem influência significativa sobre os preços agrícolas. Entre elas, o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO) é um dos mais relevantes por impactar diretamente a produtividade agrícola e, consequentemente, os preços (Sun *et al.*, 2023; Ma; Zhou; Li, 2024).

Fraga e Silva Neto (2011) identificaram relação de longo prazo entre os preços *spot* da soja no Brasil e os preços futuros da BM&F, embora tenham constatado ineficiência no curto prazo. Noorunnahar, Mila e Haque (2023), analisando a produção de milho em Bangladesh entre 1980 e 2020, confirmaram cointegração de longo prazo entre variáveis climáticas, tecnológicas e produtivas, mostrando que o clima afeta negativamente a produção, enquanto a tecnologia exerce efeito positivo.

Ma, Zhou e Li (2024) demonstraram que o risco climático agregado prediz retornos futuros das *commodities* agrícolas, com destaque para o aquecimento global. Sun *et al.* (2023) mostraram que o ENSO gera impactos positivos e negativos nos preços das *commodities*, revelando efeitos não lineares e imprevisíveis.

Outros trabalhos, como os de Atchadé e Nougbodé (2024), Ayinde, Muchie e Akinsola (2011) e Dumrul e Kilicarslan (2017), reforçam a necessidade de considerar variáveis climáticas e estratégias adaptativas diante de choques de produtividade e preços.

Assim, estudos recentes convergem para a importância de métodos robustos de cointegração e da incorporação de variáveis climáticas na análise da eficiência de mercado em *commodities* agrícolas. Essas abordagens permitem compreender melhor as relações de longo prazo entre preços e avaliar como choques climáticos afetam a integração dos mercados (Moraes *et al.*, 2024; Fraga; Silva Neto, 2011).

3. Metodologia

3.1 Dados da pesquisa

Foram utilizadas séries temporais mensais de fevereiro de 2011 a dezembro de 2024, totalizando 166 observações. A base contempla os preços da soja na *Chicago Mercantile Exchange* (CME), Bolsa de Valores do Brasil (B3) e Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA), além do índice climático ENSO (MEI.v2).

Os preços foram convertidos para dólares americanos (USD) para garantir comparabilidade internacional e neutralizar efeitos cambiais. Foram calculados como médias mensais das cotações diárias; quando incompletos, utilizou-se o preço de fechamento do último dia útil do mês (B3, 2024; CEPEA, 2024).

O índice ENSO foi obtido junto à *Physical Sciences Laboratory–NOAA*, via *Multivariate El Niño/Southern Oscillation Index* (MEI.v2), amplamente reconhecido por refletir as condições globais associadas a El Niño e La Niña (NOAA, 2025). Sua inclusão permite avaliar a sensibilidade dos mercados às oscilações climáticas (Sun *et al.*, 2023).

A seleção dos três mercados atende a diferentes perspectivas: CME como principal referência global para a soja; B3 como indicador das expectativas do mercado futuro brasileiro; e CEPEA como retrato atualizado do mercado físico nacional (Moraes; Sobral; Melo, 2021).

Essa integração de dados possibilita compreender a formação de preços e a interação entre mercados domésticos e internacionais. A uniformização cambial e a extensão temporal da amostra fornecem base robusta para investigar os efeitos das variações climáticas sobre os mercados, apoiando estratégias de mitigação de riscos e formulação de políticas públicas.

3.2 Métodos

3.2.1 Teste Cointegração de Johansen

Para a análise de cointegração entre os retornos da soja e o índice ENSO, foi aplicado o teste de cointegração de Johansen (1990), com o objetivo de verificar a existência de uma relação de longo prazo entre as séries temporais estudadas. O teste de Johansen é uma abordagem multivariada que permite identificar o número de relações de cointegração entre as variáveis analisadas, utilizando tanto o teste do traço quanto o teste do valor próprio máximo (Enders, 2008; Moraes; Sobral; Melo, 2021).

O teste do traço testa a hipótese nula de que existem no máximo r relações de cointegração contra a hipótese alternativa de que existem mais de r relações (Johansen, 1991). A estatística de traço é calculada pela seguinte fórmula [1]:

$$\text{Trace Statistic} = -T \sum_{i=r+1}^k \ln(1 - \lambda_i)$$

Conforme Johansen (1991), o T é o número de observações, k é o número total de variáveis, e λ_i são os autovalores estimados das matrizes de transição. Para determinar o número de relações de cointegração, os valores calculados da estatística de traço são comparados com os valores críticos para diferentes níveis de significância (Ayinde; Muchie; Akinsola, 2011).

O teste do valor próprio máximo testa a hipótese nula de que existem r relações de cointegração contra a hipótese alternativa de que existem $r + 1$ relações (Johansen, 1991). A estatística do valor próprio máximo é dada pela seguinte fórmula [2]:

$$\text{Max Eigenvalue Statistic} = -T \ln(1 - \lambda_{r+1})$$

Com base nas estatísticas dos testes e nas comparações com os valores críticos, é possível determinar o número de relações de cointegração e, assim, avaliar a existência de uma relação de longo prazo entre as variáveis analisadas (Enders, 2008; Noorunnahar; Mila; Haque, 2023). Além disso, o teste de Johansen é amplamente empregado em estudos econômicos por sua capacidade de identificar equilíbrios de longo prazo em sistemas com múltiplas variáveis (Moraes; Sobral; Melo, 2021).

3.2.2 Modelo de Correção de Erros Vetoriais (VECM)

Confirmada a existência de cointegração, utilizou-se o Modelo de Correção de Erros Vetoriais (VECM) para modelar a dinâmica das variáveis. O VECM permite captar os ajustes de curto prazo necessários para restaurar o equilíbrio de longo prazo entre as séries (Engle; Granger, 1987; Johansen, 1995; Lütkepohl, 2005). A fórmula [3] do modelo VECM é expressa na seguinte fórmula [3]:

$$\Delta Y_t = \alpha + \sum_{i=1}^{p-1} \Gamma_i \Delta Y_{t-i} + \Pi Y_{t-1} + \varepsilon_t$$

Conforme Johansen (1995), ΔY_t representa as diferenças das variáveis no tempo t ; α é o vetor de interceptos (termo constante); Γ_i são as matrizes de coeficientes associadas às defasagens de curto prazo i ; ΠY_{t-1} é a correção de erro, que ajusta os desvios das variáveis para preservar o equilíbrio de longo prazo; e ε_t corresponde ao erro.

A principal diferença entre o VECM e o VAR é a inclusão do termo de correção de erro ΠY_{t-1} , que permite ajustar os desvios de curto prazo em direção ao equilíbrio de longo prazo (Engle e Granger, 1987; Johansen, 1995). Esse termo é essencial para modelar de forma consistente os relacionamentos dinâmicos em sistemas cointegrados (Enders, 2008). A matriz Π no modelo VECM é decomposta em dois componentes principais expressa na seguinte fórmula [4]:

$$\Pi = \alpha \beta'$$

onde α é o vetor de coeficientes de ajuste, indicando a velocidade com que cada variável responde a desvios do equilíbrio de longo prazo; β são os vetores de cointegração, representando os relacionamentos de longo prazo entre as variáveis (Johansen, 1995).

O VECM proporciona uma estrutura robusta para estudar relações dinâmicas entre os preços da soja e fatores climáticos, sendo amplamente empregado em estudos que envolvem séries temporais cointegradas. Sua aplicação neste trabalho permite compreender como choques climáticos impactam os mercados globais e locais de soja, fornecendo subsídios relevantes para análise de risco, formulação de estratégias de *hedge* e políticas agrícolas.

4. Análise e Discussão dos Resultados

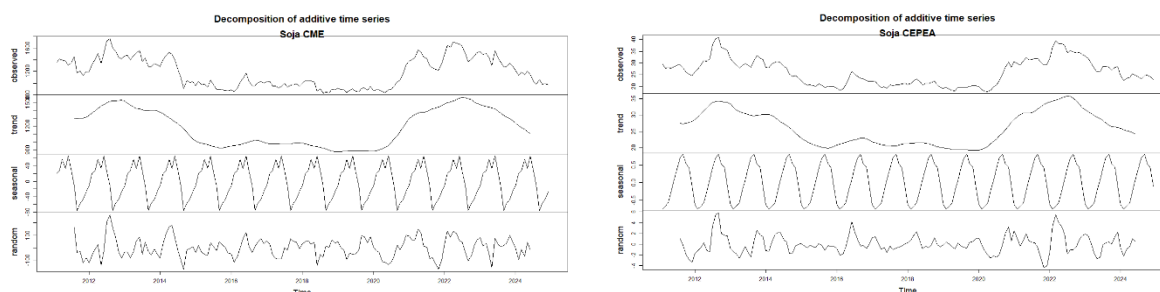
4.1 Análise Exploratória dos Preços da Soja e da Influência Climática do ENSO

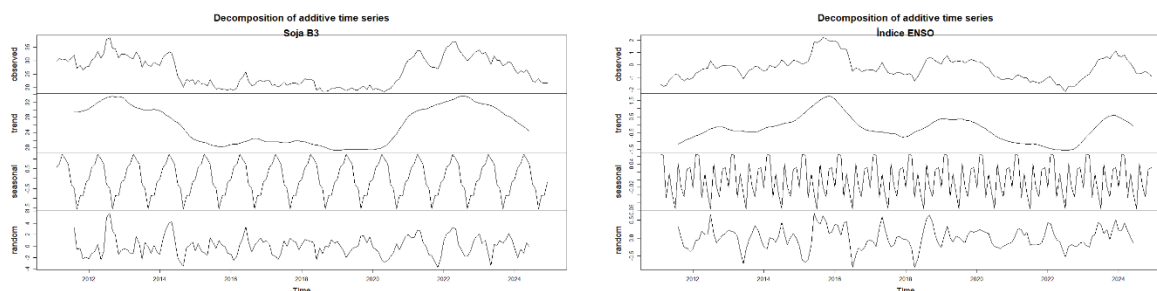
A Figura 1 mostra a evolução dos preços da soja nos mercados internacional (CME), futuro nacional (B3) e físico doméstico (CEPEA), juntamente com o índice climático ENSO, no período de 2011 a 2025. A decomposição das séries em tendência, sazonalidade e resíduos permite analisar a dinâmica de preços e a influência climática.

No mercado internacional (CME), os preços oscilaram entre 800 e 1.600 centavos de dólar por bushel. Entre 2016 e 2020 ocorreu retração até próximo de 800, seguida de recuperação. A tendência variou entre 900 e 1.500, refletindo fundamentos globais de longo prazo. A sazonalidade, entre -80 e 40, sugere flutuações regulares ligadas a padrões climáticos e ao calendário agrícola, enquanto os resíduos (-100 a 150) captam choques aleatórios, como eventos geopolíticos e variações de demanda.

Na B3, os preços variaram entre 20 e 40 reais por saca, com queda até 26 reais entre 2016 e 2020 e recuperação posterior. A tendência oscilou entre 20 e 34, alinhada ao mercado global, mas também influenciada por câmbio, políticas agrícolas e custos logísticos. A sazonalidade foi moderada (-1,5 a 2,0) e os resíduos variaram de -4 a 6, refletindo volatilidade pontual doméstica.

Figura 1 - Evolução Temporal do Comportamento dos Preços da Soja (CME, B3 e CEPEA) e da Variação do Índice ENSO





Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

No mercado físico (CEPEA), os preços oscilaram entre 20 e 40 reais por saca, atingindo mínimo próximo de 15 em 2016–2020. A tendência variou entre 20 e 35, acompanhando a B3, com sazonalidade semelhante (-1,5 a 2,0). Os resíduos (-4 a 6) indicam choques locais de oferta, demanda e fatores logísticos. O índice ENSO oscilou entre -2 e 2, refletindo alternância entre El Niño e La Niña. A tendência variou entre -1,5 e 1,5, e a sazonalidade foi pouco expressiva (-0,08 a 0,04). Os resíduos (-0,5 a 0,5) confirmam seu caráter cíclico e previsível.

Complementando essa análise visual da Figura 1, a Tabela 1 resume as estatísticas descritivas das séries. O CME apresentou maior amplitude (833,0 a 1.764,5) e maior desvio padrão (254,33), evidenciando forte sensibilidade a choques internacionais. A B3 (18,54 a 38,72; desvio padrão 5,41) e o CEPEA (17,87 a 40,90; desvio padrão 5,55) mostraram menor dispersão relativa. As médias da B3 (25,98) e CEPEA (26,09) foram próximas, reforçando sua conexão. O ENSO apresentou média negativa (-0,27), indicando predominância de La Niña.

Tabela 1 – Estatística Descritiva dos Preços da Soja (CME, B3 e CEPEA) e do Índice ENSO

Estatística	Soja CME	Soja B3	Soja CEPEA	Índice ENSO
Observações	167	167	167	167
Mínimo	833.0	18.54	17.87	-2.17
Máximo	1764.5	38.72	40.90	2.24
Média	1182.1	25.98	26.09	-0.27
Desvio Padrão	254.33	5.41	5.55	0.89
Assimetria	0.32	0.28	0.51	0.60
Curtose	1.81	1.77	2.44	3.33
ADF	-1.93	-1.88	-2.09	-2.88
Valor p	0.61	0.63	0.54	0.21
KPSS	0.50	0.53	0.45	0.32
Valor p	0.04	0.03	0.05	0.10

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Quanto à distribuição, todas as séries exibiram assimetrias positivas (CME: 0,32; B3: 0,28; CEPEA: 0,51; ENSO: 0,60), sugerindo maior frequência de valores abaixo da média, com picos ocasionais. As séries de preços apresentaram curtose < 3

(platocúrticas), enquanto o ENSO foi ligeiramente leptocúrtico (3,33), mais propenso a extremos.

Nos testes de estacionariedade, o ADF não rejeitou a hipótese nula de raiz unitária ($p > 0,05$) para todas as séries, indicando integração de ordem um ($I(1)$). O KPSS rejeitou a estacionariedade para CME, B3 e CEPEA ($p = 0,03-0,05$), mas não para o ENSO ($p = 0,10$), confirmando seu comportamento cíclico.

Esses resultados mostram interdependência entre os mercados e sensibilidade a fatores climáticos e econômicos. O ENSO, mais previsível, contrasta com a persistência típica dos preços agrícolas. Essa caracterização fornece base sólida para investigar cointegração e transmissão de choques, com implicações para modelagem preditiva e estratégias de mitigação de riscos.

4.2 Relações de Longo Prazo e Eficiência de Mercado: Teste de Cointegração de Johansen e Modelo de Correção de Erros Vetoriais (VECM)

Os resultados do Teste de Cointegração de Johansen (Tabela 2) evidenciam relações de longo prazo entre os preços da soja nos mercados CME, B3, CEPEA e o índice climático ENSO. O número ótimo de defasagens foi selecionado com base nos critérios AIC, HQ, SC e FPE, conferindo robustez à especificação do modelo VAR preliminar.

A hipótese nula de ausência de cointegração ($r = 0$) foi rejeitada (estatística de $\text{trace} = 96,03 > \text{valor crítico } 53,12$), indicando pelo menos um vetor de cointegração. Para $r \leq 1$, a estatística de $46,79 > 34,91$ sugere pelo menos dois vetores cointegrantes. Para $r \leq 2$, a decisão é marginal ($19,93 \approx 19,96$) e para $r \leq 3$ não se rejeita H_0 , indicando no máximo três relações de longo prazo.

A normalização dos vetores pelo ENSO permite interpretar os coeficientes das demais variáveis como respostas a choques climáticos: $\text{CME.I2} = 0,0451$ (positiva), $\text{B3.I2} = -4,3335$ (inversa) e $\text{CEPEA.I2} = 2,1651$ (positiva), indicando diferentes sensibilidades entre mercados. Os coeficientes de ajuste (α) mostram que o CME corrige rapidamente os desvios do equilíbrio de longo prazo ($-0,8939$), enquanto B3 e CEPEA ajustam mais lentamente ($-0,0121$ e $0,0084$, respectivamente), e o ENSO permanece praticamente exógeno ($0,0003$).

A Tabela 3 aprofunda a análise de longo prazo por meio do Modelo de Correção de Erros Vetoriais (VECM). Na seção (a), os resultados do teste de traço confirmam até três vetores de cointegração entre os preços da soja nos mercados CME, B3 e CEPEA e o índice ENSO, indicando relações de equilíbrio de longo prazo. A hipótese $r \leq 3$ não é rejeitada, sugerindo que não há mais de três relações cointegrantes.

Na seção (b), os vetores de cointegração foram normalizados pelo ENSO (fixado em 1), permitindo comparar os efeitos das demais variáveis. Os coeficientes indicam que variações do ENSO afetam significativamente os preços da soja, com maior sensibilidade observada no mercado B3 (coeficientes $-4,334$ e $1,3783$). Diferenças nos sinais e magnitudes entre CEPEA.I2 e B3.I2 sugerem assimetrias de resposta entre os mercados, possivelmente decorrentes de liquidez, estrutura institucional ou proximidade geográfica dos impactos climáticos.

Tabela 2 - Resultados do Teste de Cointegração de Johansen entre os Preços da Soja nos Mercados CME, B3, CEPEA e o Impacto do Índice ENSO

Número de Defasagens (k)	AIC	HQ	SC	FPE	Hipótese Testada	Estatística Trace	Crítico 5%	Decisão	Vetor de Cointegração (normalizado para ENSO.l2 = 1)	Coeficiente de Ajuste (α)
1	5.3271	5.4866	5.7198	205.85	$r = 0$	96.03	53.12	Rejeita H_0	CME.l2 = 0.0451	CME.d = -0.8939
2	4.9558	5.2429	5.6626	142.07	$r \leq 1$	46.79	34.91	Rejeita H_0	B3.l2 = -4.3335	B3.d = -0.0121
3	5.0719	5.4866	6.0929	159.73	$r \leq 2$	19.93	19.96	Marginal	CEPEA.l2 = 2.1651	CEPEA.d = 0.0084
...	...	...	...	...	$r \leq 3$	6.13	9.24	Não rejeita H_0	ENSO.l2 = 1.0000	ENSO.d = 0.0003
Constante=2.9171										

Nota: A Tabela 2 apresenta os resultados do Teste de Cointegração de Johansen aplicado às variáveis CME, B3, CEPEA e ENSO. São destacados os critérios de informação utilizados para a seleção da defasagem ótima (k), as estatísticas do teste de Traço (*Trace test*), os valores críticos ao nível de 5% de significância, bem como os vetores de cointegração estimados e os coeficientes de ajuste (α). O teste foi conduzido sem tendência determinística (isto é, sem constante e sem tendência linear no modelo). Os resultados apontam forte evidência de cointegração para as hipóteses nulas $r = 0$, $r \leq 1$ e $r \leq 2$, sugerindo a existência de até três relações de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Isso indica que os preços da soja nos mercados internacional (CME), futuros domésticos (B3), mercado físico brasileiro (CEPEA) e o índice climático ENSO compartilham uma trajetória comum de longo prazo. A normalização do vetor de cointegração para ENSO = 1 permite interpretar os coeficientes das demais variáveis como respostas a choques climáticos. Assim, o teste reforça a hipótese de eficiência de mercado, ao evidenciar que os preços respondem de forma coordenada aos choques exógenos, como os provocados pelo fenômeno El Niño–La Niña (ENSO).

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 3 - Análise do Modelo VECM para a Relação de Longo Prazo entre os Preços da Soja nos Mercados Internacional (CME) e brasileiro (B3 e Cepea) e o Impacto do Fenômeno Climático ENSO

(a) Teste de Traço para Número de Vetores de Cointegração					
Hipótese nula	Estatística de Teste	Valor Crítico (10%)	Valor Crítico (5%)	Valor Crítico (1%)	
$r \leq 3$	6.13	7.52	9.24	12.97	
$r \leq 2$	19.93	17.85	19.96	24.60	
$r \leq 1$	46.79	32.00	34.91	41.07	
$r = 0$	96.03	49.65	53.12	60.16	

(b) Relações de Cointegração (Vetores Normalizados pelo ENSO)					
Variável	CME.I2	B3.I2	CEPEA.I2	ENSO.I2	Constante
CME.I2	-0.1943	-0.1943	-0.1943	-0.1943	-0.1943
B3.I2	-1.8054	-4.3340	1.3783	-1.3552	-0.9256
CEPEA.I2	-0.0086	0.0565	0.0389	0.0473	-0.0095
ENSO.I2	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Constante	5.7438	7.6165	-304.0497	-170.2860	-136.2126

(c) Matriz de Ajustes – Pesos (Primeira Coluna de W)					
Variável	CME.I2	B3.I2	CEPEA.I2	ENSO.I2	Constante
CME.d	-0.8939	-0.0201	-0.0193	-0.0187	5.26e-16
B3.d	-0.0121	0.0014	-0.0005	-0.0004	9.26e-18
CEPEA.d	0.0084	-0.0020	-0.0003	-0.0004	-4.17e-18
ENSO.d	0.0003	-0.0002	-0.0001	0.0001	-2.65e-19

Nota: A Tabela 3 apresenta os resultados da análise do modelo VECM (Vector Error Correction Model) para a relação de longo prazo entre os preços da soja nos mercados internacional (CME), brasileiro (B3) e de referência nacional (CEPEA), além do impacto do fenômeno climático ENSO. Na seção (a), são apresentados os resultados do teste de traço para o número de vetores de cointegração, indicando o número de relações de longo prazo entre as variáveis. A seção (b) mostra os coeficientes das relações de cointegração entre os mercados, normalizados pelo impacto do ENSO, destacando como as variáveis interagem no longo prazo. Na seção (c), são fornecidos os valores dos ajustes do modelo, com os pesos das variáveis nos erros de previsão de curto prazo. A tabela fornece uma visão detalhada da interação entre os preços da soja nos diferentes mercados e como o fenômeno climático ENSO influencia essas relações.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na seção (c), a matriz de ajustes (α) mostra a resposta de cada variável ao desequilíbrio da cointegração. O coeficiente de ajuste do CME (-0,8939) é o mais expressivo, indicando que o mercado internacional corrige rapidamente desvios do equilíbrio de longo prazo. Os mercados B3 e CEPEA apresentam ajustes próximos de zero (-0,0121 e 0,0084, respectivamente), sugerindo menor responsividade no curto prazo. O índice ENSO apresenta ajuste nulo, como esperado por ser uma variável exógena.

Os resultados do Teste de Cointegração de Johansen (Tabela 2) e do modelo VECM (Tabela 3) indicam que os preços da soja nos mercados internacional (CME), futuro nacional (B3) e físico brasileiro (CEPEA) compartilham uma trajetória de longo prazo com o índice climático ENSO. A presença de até três vetores de cointegração sugere que as variações climáticas e os fundamentos de mercado estão fortemente interligados, evidenciando a integração dos mercados ao longo do tempo.

A normalização dos vetores pelo ENSO revela diferenças na sensibilidade entre os mercados: o CME apresenta resposta positiva moderada, enquanto o B3 mostra efeito inverso e de maior magnitude, e o CEPEA apresenta efeito positivo, porém menor. Esses sinais distintos indicam que o impacto de choques climáticos não é homogêneo, refletindo diferenças na liquidez, estrutura institucional e exposição geográfica.

Os coeficientes de ajuste (α) do VECM indicam que o CME é o principal mecanismo de correção de curto prazo, ajustando rapidamente os desvios do equilíbrio de longo prazo (-0,8939), enquanto B3 e CEPEA apresentam ajustes mais lentos, quase nulos, sugerindo que os mercados domésticos são mais inerciais ou atuam como “*price-takers*”. O ENSO, como variável exógena, não participa da correção de curto prazo, mas influencia a trajetória de longo prazo dos preços.

Esses achados têm implicações diretas para a hipótese de eficiência de mercado. A cointegração e a convergência de longo prazo indicam que os preços refletem informações comuns e relevantes ao longo do tempo, consistentes com a eficiência de mercado em sua forma fraca. No entanto, os ajustes assimétricos no curto prazo sugerem que os mercados locais não incorporam imediatamente todas as informações, permitindo desvios temporários entre preços domésticos e internacionais.

Portanto, a evidência sugere que:

- 1) Eficiência de longo prazo: Os preços da soja respondem de forma coordenada aos choques climáticos e fundamentos de mercado, mantendo relações estáveis ao longo do tempo.
- 2) Inércia de curto prazo nos mercados domésticos: A lentidão de ajuste em B3 e CEPEA indica que informações recentes podem levar algum tempo para serem plenamente refletidas nos preços internos.
- 3) Mercado internacional como líder: O CME incorpora rapidamente os choques, atuando como referência para os preços futuros e físicos domésticos.

4) Impacto assimétrico do ENSO: As diferentes magnitudes e sinais nos vetores de cointegração reforçam a necessidade de considerar fatores climáticos em modelos de previsão e gestão de risco de *commodities*.

Em síntese, os resultados corroboram a eficiência de mercado em termos de longo prazo, mas revelam assimetria e atraso na transmissão de informações entre mercados domésticos e internacionais, enfatizando a relevância de políticas de mitigação de risco e de estratégias de arbitragem para agentes do setor agrícola.

5. Conclusão e Contribuições

Este estudo investigou a integração e a eficiência dos mercados de soja, considerando os mercados internacional (CME), doméstico futuro (B3) e físico nacional (CEPEA), no contexto de flutuações de preços e choques climáticos. A aplicação do teste de Johansen, do modelo de cointegração VECM e da análise de funções de impulso-resposta forneceu evidências de que os mercados não operam isoladamente, mas compartilham uma trajetória comum de longo prazo. A inclusão do índice ENSO como variável exógena evidenciou que eventos climáticos, como El Niño e La Niña, influenciam significativamente a dinâmica de preços.

Os resultados mostram que, embora exista convergência de longo prazo entre CME, B3 e CEPEA, a transmissão de choques apresenta assimetria: o mercado internacional (CME) ajusta-se rapidamente, enquanto os mercados domésticos reagem de forma mais lenta. Esse padrão reforça a ideia de que mercados mais líquidos e integrados lideram o processo de descoberta de preços, enquanto os mercados locais respondem de forma menos imediata. A magnitude e o sinal dos coeficientes cointegrantes indicam ainda que o impacto do ENSO varia entre mercados, evidenciando diferentes graus de sensibilidade às informações climáticas.

Do ponto de vista teórico, os achados contribuem para a literatura sobre eficiência e integração de mercados de *commodities*. A cointegração observada sugere previsibilidade de longo prazo nos preços, consistente com a eficiência semi-forte, na qual os preços refletem informações comuns ao longo do tempo, mas podem apresentar desvios temporários no curto prazo. A análise dos choques climáticos amplia a compreensão sobre como variáveis ambientais são incorporadas aos preços, especialmente em mercados menos líquidos, como o CEPEA.

O estudo apresenta limitações, como a análise restrita a três mercados de soja e a suposição de dinâmica linear, além da ausência de informações detalhadas sobre liquidez e mudanças estruturais nos países produtores. Essas restrições indicam oportunidades para pesquisas futuras, como a inclusão de outros mercados de *commodities* (milho, trigo), a exploração de

modelos não lineares, a análise da liquidez dos mercados e o estudo de políticas agrícolas e fatores macroeconômicos que influenciam a formação de preços. Também seria relevante investigar os impactos das mudanças climáticas de longo prazo na produção e precificação de soja, utilizando novos índices climáticos ou variáveis macroeconômicas.

Em síntese, este estudo fornece evidências robustas sobre a integração e eficiência dos mercados de soja e o papel dos choques climáticos na formação de preços, oferecendo *insights* valiosos para estratégias de mitigação de riscos e formulação de políticas públicas. A análise das interações entre mercados internacionais e domésticos contribui para a compreensão das dinâmicas de precificação, reforçando a importância de considerar fatores ambientais e institucionais em estudos sobre *commodities* agrícolas, com destaque para o contexto brasileiro.

Referências Bibliográficas

- ATCHADÉ, M.; NOUGBODÉ, H. Statistical investigation on the relationship between climate change, food availability, agricultural productivity, and economic expansion. *Heliyon*, v. 10, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32520>.
- AYINDE, O.; MUCHIE, M.; AKINSOLA, G. Effect of Climate Change on Agricultural Productivity in Nigeria: A Co-integration Model Approach. *Journal of Human Ecology*, 2011. doi: <https://doi.org/10.1080/09709274.2011.11906406>.
- B3. Bolsa de Valores do Brasil - B3. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/. Acesso em: 10 abr 2025.
- CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br>. Acesso em: 10 abr 2025.
- CME. CME Group - Chicago Mercantile Exchange. Disponível em: <https://www.cmegroup.com/datamine.html>. Acesso em: 10 abr 2025.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, DF, v. 13, n. 12, dez. 2024.
- DICKEY, D.; FULLER, W. A likelihood ratio statistics for autoregressive time series with a unit root. *Econometric*, v. 49, p. 1057-1072, 1981. doi: <https://doi.org/10.2307/1912517>.
- DUMRUL, Y.; KILICARSLAN, Z. Economic impacts of climate change on agriculture: empirical evidence from ARDL. *Journal of Business, Economics and Finance (JBEF)*, v. 6, 2017. doi: <http://doi.org/10.17261/Pressacademia.2017.766>.
- ENDERS, W. *Applied econometric time series*. 4. ed. EUA: J. Wiley, 2008.
- ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. Co-integration and error correction: Representation, estimation, and testing. *Econometrica*, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987. doi: <https://doi.org/10.2307/1913236>.
- FAMA, E. Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *Journal of Finance*, v. 25, p. 383-417, 1970.

FRAGA, G.; SILVA NETO, W. Eficiência no Mercado Futuro de Commodity: Evidências Empíricas. Banco do Nordeste: Documentos técnico-científicos, v. 42, 2011.

JOHANSEN, S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. *Econometrica*, v. 59, n. 6, p. 1551-1580, 1991. doi: <https://doi.org/10.2307/2938278>.

JOHANSEN, S. Likelihood-based Inference in Cointegrated Vector Autoregressive Models. Oxford: Oxford University Press, 1995.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P.; 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, n. 1-3, p. 159-178, 1992. doi: [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(92\)90104-Y](https://doi.org/10.1016/0304-4076(92)90104-Y).

KALDOR, N. A Classificatory Note on the Determinateness of Equilibrium. *The Review of Economic Studies*, v. 1, n. 1, p. 122-126, 1934.

LÜTKEPOHL, H. New Introduction to Multiple Time Series Analysis. Springer, 2005.

LUCAS, R. E. Equilibrium in a pure currency economy. *Economic Theory*, v. 2, n. 2, p. 103-112, 1980.

MA, Y.; ZHOU, M.; LI, S. Weathering market swings: Does climate risk matter for agricultural commodity price predictability? *Journal of Commodity Markets*, v. 36, 2024. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2024.100423>.

MORAES, A.; FURTINI, A.; PRADO, J.; CASTRO JUNIOR, L.; CERETTA, P. Evolução da produção científica sobre o Mercado Eficiente: Estudo bibliométrico. *Contextus – Revista Contemporânea De Economia E Gestão*, v. 22, 2024. doi: <https://doi.org/10.19094/contextus.2024.92462>.

MORAES, A. K.; SOBRAL, M. F.; MELO, A. D. Market efficiency: application of the concept to the sucroalcooleiro sector of Paraíba. *Revista de Administração da UFSM*, v. 14, 2021. doi: <https://doi.org/10.5902/1983465939181>.

NOAA. Physical Sciences Laboratory - NOAA. Disponível em: <https://psl.noaa.gov/enso/mei/>. Acesso em: 04 jan. 2025.

NOORUNNAHAR, M.; MILA, F.; HAQUE, F. Does the supply response of maize suffer from climate change in Bangladesh? Empirical evidence using ARDL approach. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 14, 2023. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100667>.

SUN, T.; WU, T.; CHANG, H.; TANASESCU, C. Global agricultural commodity market responses to extreme weather. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, v. 36, 2023. doi: <https://doi.org/10.1080/1331677X.2023.2186913>.

36° ENANGRAD