ReGeo ISSN: 2177-3246

DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE IBOAGRO E SUA APLICAÇÃO NA ANÁLISE DOS EFEITOS DO EL NIÑO NO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO

DEVELOPMENT OF THE IBOAGRO INDEX AND ITS APPLICATION IN THE ANALYSIS OF THE EFFECTS OF EL NIÑO ON BRASILIAN AGRIBUSINESS

DESARROLLO DEL ÍNDICE IBOAGRO Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE EL NIÑO EN LA AGROINDÚSTRIA BRASILEÑA

https://doi.org/10.56238/revgeov17n6-130

Data de submissão: 10/05/2026 **Data de publicação:** 24/06/2026

Carlos Alberto Brasil Sobrinho
http://lattes.cnpq.br/3519426725573850
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
E-mail: carloscabs@yahoo.com.br
https://orcid.org/0009-0003-3857-0586

José Newton Pires Reis
http://lattes.cnpq.br/6728625638297991
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
E-mail: newton@ufc.br
https://orcid.org/0000-0002-7274-5189

José de Jesus Sousa Lemos
http://lattes.cnpq.br/5498218246827183
Instituição: Universidade Federal do Ceará (UFC)
E-mail: lemos@ufc.br
https://orcid.org/0000-0002-2169-1360

Espedito Cezario Martins
http://lattes.cnpq.br/1507918582561527
Instituição: Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)
E-mail: espedito.martins@embrapa.br
https://orcid.org/0000-0001-8816-7056

RESUMO

Este estudo analisa os efeitos do fenômeno El Niño sobre o desempenho econômico-financeiro do agronegócio brasileiro no período de 1968 a 2024. Para tanto, constrói-se o índice IboAgro, inspirado na metodologia do Ibovespa, com o propósito de representar a dinâmica agregada do setor. Adota-se abordagem quantitativa, com aplicação de modelos econométricos à variação logarítmica do índice, incorporando o Índice Oceânico Niño (ONI) e variáveis de precipitação regional. A fim de reduzir a dimensionalidade e tratar colinearidade, utiliza-se a Análise do Componentes Principais (PCA) para sintetizar as informações climáticas. Os resultados indicam que os impactos do El Niño sobre o agronegócio não são homogêneos, refletindo diferenças regionais nos regimes pluviométricos e na estrutura produtiva. Observa-se que, embora exista um componente climático agregado relevante, parte expressiva da variabilidade permanece associada a padrões regionais, limitando modelos baseados em fatores únicos. Conclui-se que a interação entre choques climáticos e heterogeneidade espacial

condiciona o desempenho do setor, exigindo abordagens analíticas mais sensíveis às especificidades regionais.

Palavras-chave: Agronegócio Brasileiro. El Niño. Variabilidade Climática.

ABSTRACT
This study analyzes the effects of the El Niño phenomenon on the economic and financial performance of Brazilian agribusiness from 1968 to 2024. To this end, the IboAgro index, inspired by the Ibovespa methodology, is constructed to represent the aggregate dynamics of the sector. A quantitative approach is adopted, applying econometric models to the logarithmic variation of the index, incorporating the Oceanic Niño Index (ONI) and regional precipitation variables. In order to reduce dimensionality and address collinearity, Principal Component Analysis (PCA) is used to synthesize climate information. The results indicate that the impacts of El Niño on agribusiness are not homogeneous, reflecting regional differences in rainfall patterns and productive structure. It is observed that, although there is a relevant aggregate climatic component, a significant portion of the variability remains associated with regional patterns, limiting models based on single factors. It is concluded that the interaction between climate shocks and spatial heterogeneity conditions the sector's performance, requiring analytical approaches that are more sensitive to regional specificities.

Keywords: Brazilian Agribusiness. El Niño. Climate Variability.

RESUMEN
Este estudio analiza los efectos del fenómeno de El Niño en el desempeño económico y financiero del agronegocio brasileño entre 1968 y 2024. Para ello, se construyó el índice IboAgro, inspirado en la metodología Ibovespa, para representar la dinámica agregada del sector. Se adoptó un enfoque cuantitativo, aplicando modelos econométricos a la variación logarítmica del índice, incorporando el Índice Oceánico Niño (ION) y variables de precipitación regional. Con el fin de reducir la dimensionalidad y abordar la colinealidad, se utilizó el Análisis de Componentes Principales (ACP) para sintetizar la información climática. Los resultados indican que los impactos de El Niño en el agronegocio no son homogéneos, reflejando diferencias regionales en los regímenes de lluvia y la estructura productiva. Se observa que, si bien existe un componente climático agregado relevante, una parte significativa de la variabilidad permanece asociada a patrones regionales, lo que limita los modelos basados en factores únicos. Se concluye que la interacción entre los choques climáticos y la heterogeneidad espacial condiciona el desempeño del sector, lo que requiere enfoques analíticos más sensibles a las especificidades regionales.

Palabras clave: Agronegocios Brasileños. El Niño. Variabilidad Climática.

1 INTRODUÇÃO

A crescente intensificação das mudanças climáticas e sua interação com a dinâmica econômica têm ampliado o interesse acadêmico e institucional na análise dos impactos de choques ambientais sobre setores estratégicos. No caso brasileiro, o agronegócio assume papel central, não apenas pela sua relevância na geração de renda, emprego e exportações, mas também por sua elevada sensibilidade às condições climáticas. Entre os fenômenos de maior influência destaca-se o El Niño-Oscilação Sul (ENSO), cuja manifestação altera significativamente os regimes de precipitação e temperatura em diferentes regiões do país, afetando diretamente a produtividade agrícola, os custos de produção e o desempenho das cadeias agroindustriais.

A literatura aponta que os efeitos do El Niño apresentam caráter assimétrico e heterogêneo no espaço geográfico, produzindo impactos distintos entre regiões e setores produtivos. No Brasil, episódios associados ao fenômeno podem provocar estiagens prolongadas no Nordeste e excesso de chuvas no Sul, com repercussões diretas sobre a oferta de insumos, a logística e os preços agrícolas. Essa heterogeneidade reforça a necessidade de abordagens analíticas que incorporem tanto a dimensão agregada quanto as especificidades regionais do sistema climático, evitando simplificações que possam comprometer a capacidade explicativa dos modelos econômicos.

Nesse contexto, a presente pesquisa delimita-se à análise dos efeitos do fenômeno El Niño sobre o desempenho econômico-financeiro do agronegócio brasileiro, considerando o período e 1968 a 2024. O estudo tem como objetivo geral examinar a influência desse fenômeno climático sobre o setor, a partir da construção de um indicador sintético representativo, o índice IboAgro, inspirado na metodologia do Ibovespa e composto por empresas do agronegócio listadas na bolsa de valores brasileira. Especificamente, busca-se mensurar o impacto do El Niño sobre a dinâmica desse índice e identificar padrões diferenciados de resposta do setor diante de variações climáticas.

A investigação adota abordagem quantitativa, com aplicação de modelos econométricos à variação do índice IboAgro, incorporando variáveis climáticas e indicadores sintéticos construídos a partir da Análise de Componentes Principais (PCA), técnica que sintetiza a variabilidade das precipitações regionais em fatores do sistema climático. Com isso o estudo contribui para a literatura em economia aplicada ao agronegócio, oferecendo subsídios para compreender como choques climáticos globais influenciam o desempenho de estratégias de gestão de risco climático e formulação de políticas voltadas á sustentabilidade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A relação entre variabilidade climática e desempenho econômico tem sido objeto de crescente atenção na literatura internacional, sobretudo diante da intensificação dos eventos climáticos extremos e de seus impactos sobre setores produtivos sensíveis, como o agronegócio. No caso do fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO), observa-se um avanço significativo na compreensão de seus mecanismos físicos e de suas implicações econômicas, embora ainda persistam lacunas importantes na integração dessas dimensões analíticas. Conforme argumentam Assad *et al.*, (2022), as mudanças climáticas e a variabilidade interanual afetam diretamente os sistemas produtivos agrícolas, impondo desafios adicionais à sustentabilidade e à previsibilidade da produção.

Ao mesmo tempo, estudos recentes têm incorporado o risco climático à análise econômica e financeira, reconhecendo que eventos como o El Niño não apenas afetam a produção, mas também influenciam a estabilidade dos mercados e a formação de expectativas (BALDWIN; DIAS; WINKLER, 2023). Ainda assim, grande parte da literatura permanece fragmentada, tratando separadamente os aspectos climatológicos, produtivos e financeiros, o que limita a compreensão dos mecanismos de transmissão dos choques climáticos.

O fenômeno El Niño constitui uma das principais expressões da variabilidade climática global, sendo caracterizado por anomalias na temperatura da superfície do Pacífico Equatorial e por alterações na circulação atmosférica. Sua dinâmica integra o sistema ENSO, um mecanismo acoplado entre oceano e atmosfera, com efeitos persistentes e heterogêneos. De acordo com Cane (2005), sua evolução releva não apenas recorrência, mas também elevada complexidade estrutural, marcada por interações não lineares que dificultam a previsibilidade dos seus efeitos.

Os impactos climáticos do El Niño apresentam forte heterogeneidade espacial, manifestando-se de maneira distinta entre as regiões brasileiras. No Brasil, observam-se padrões recorrentes, como o aumento das precipitações na Região Sul e a redução das chuvas no Nordeste, frequentemente associada à intensificação de episódios de seca. Essa assimetria evidencia que os efeitos econômicos do fenômeno não ocorrem de forma homogênea, mas dependem da localização geográfica, das características climáticas locais e da estrutura produtiva de cada região. Nesse sentido Assad *et al.* (2022) destacam que a agricultura brasileira responde de forma diferenciada aos choques climáticos, o que reforça a importância de análises desagregadas e sensíveis às especificações regionais.

No nível microeconômico, os efeitos do El Niño manifestam-se por meio de alterações na função de produção agrícola. A variabilidade na disponibilidade de água, afeta a produtividade dos fatores e eleva a incerteza, impactando decisões de investimento e aumentando custos de produção.

além disso, a literatura evidencia que a capacidade de resposta varia conforme o nível tecnológico, ampliando desigualdades produtivas.

A transmissão dos impactos climáticos ocorre por múltiplos canais interdependentes. A redução da produção afeta a oferta de *commodities*, pressiona preços e compromete margens de lucro. Dufrenot (2023) destaca que esses choques podem gerar efeitos persistentes sobre a volatilidade econômica, sendo amplificados pelos encadeamentos produtivos ao longo das cadeias de valor. Esses efeitos não se limitam ao curto prazo, podendo influenciar trajetórias de crescimento econômico.

A incorporação do risco climático na análise financeira constitui uma das fronteiras recentes da literatura. Estudos como Ahmad, Chaudhuri e Hassan (2022) demonstram que esse risco influencia o prêmio de risco e a precificação de ativos. No agronegócio, a variabilidade produtiva afeta o fluxo de caixa das empresas, refletindo-se em maior volatilidade e mudanças na percepção de risco.

Diante da recorrência de eventos climáticos extremos, a literatura tem enfatizado a importância da resiliência e da capacidade adaptativa das empresas, especialmente daquelas mais expostas às oscilações ambientais e produtivas. Nesse contexto, estratégias como a diversificação produtiva, a adoção de tecnologias, o planejamento de riscos e o aprimoramento da gestão tornam-se fundamentais para mitigar os efeitos adversos desses eventos sobre a atividade econômica. Assad *et al*. (2022) destacam que a adaptação deve ser compreendida como um processo contínuo, capaz de influenciar o desempenho de longo prazo das organizações, embora seus efeitos ocorram de maneira heterogênea entre os diferentes agentes econômicos, setores e regiões.

A análise dos impactos do El Niño exige indicadores capazes de capturar o desempenho do agronegócio. O Ibovespa, embora relevante, apresenta limitações para esse fim. Nesse contexto, a criação de índices setoriais, como o IboAgro, permite analisar de forma mais precisa a relação entre variáveis climáticas e desempenho econômico-financeiro.

Apesar dos avanços, a literatura ainda apresenta limitações. Destaca-se a ausência de modelos que interagem variáveis climáticas, produtivas e financeiras em uma mesma estrutura analítica. Grande parte dos estudos concentra-se em apenas uma dessas dimensões, limitando a compreensão dos efeitos do El Niño. Além disso, há escassez de evidências empíricas aplicadas ao contexto brasileiro que considerem simultaneamente a heterogeneidade regional e a dinâmica do mercado financeiro. Nesse cenário, torna-se evidente a necessidade de abordagens integradas, capazes de captar a complexidade da relação entre clima e economia.

3 METODOLOGIA

O estudo adota abordagem quantitativa para analisar a relação entre o fenômeno El Niño e o desempenho econômico-financeiro do agronegócio brasileiro, considerando a natureza dinâmica e não homogênea dos efeitos climáticos. A estratégia metodológica foi organizada em etapas: definição da base de dados e período, construção do índice IboAgro, tratamento das variáveis climáticas (ONI e precipitação), definição dos arranjos analíticos e especificação do modelo econométrico.

3.1 DELIMITAÇÃO TEMPORAL, AMOSTRAL E FONTES DE DADOS

O período analisado vai de 1968 a 2024, abrangendo diferentes regimes climáticos e mudanças econômicas. A amostra inclui empresas do agronegócio listadas na B3. Os dados financeiros foram obtidos em bases de mercado, e as variáveis climáticas na NOAA (ONI) e no INMET (precipitação). Utilizaram-se dados anuais para captar o efeito agregado dos choques climáticos.

3.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS

A variável dependente é o desempenho do agronegócio, representado pelo IboAgro e sua variação logarítmica anual. As variáveis explicativas incluem o ONI e as precipitações médias das regiões Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul.

Quadro 1. Variáveis utilizadas no estudo.

Variável	Estimativa	Erro-padrão (HAC)	Estatística t	p-valor
(Intercepto)	-0,79998	1,36697	-0,5852	0,5615
ONI	-0,04849	0,02231	-21741	0,0352
$ONI_{(t-1)}$	0,01281	0,01884	0,6799	0,5002
Precipitação Centro-Oeste	-0,000114	0,000178	-0,6402	0,5254
Precipitação Nordeste	-0000272	0,000117	-23269	0,0247
Precipitação Norte	0,000130	0,000113	1,1494	0,2567
Precipitação Sudeste	-000283	0,0000916	-30893	0,0035
Precipitação Sul	0,0000617	0,0000625	0,9871	0,3291

Fonte: elaborado pelos autores.

A escolha da precipitação como principal variável climática decorre de sua relevância direta para a produção agropecuária. A temperatura foi excluída devido à elevada correlação com o ONI, evitando problemas de multicolinearidade.

3.3 CONSTRUÇÃO DO ÍNDICE IBOAGRO

O IboAgro foi construído com base na metodologia do Ibovespa, adaptada para refletir exclusivamente empresas do agronegócio. Sua fórmula é dada por:

$$IboAgro_t = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_{i,t} \cdot Q_{i,t})}{Divisor_t} \quad (1)$$

onde $P_{i,t}$ representa o preço da ação, $Q_{i,t}$ a quantidade em circulação e o divisor ajusta eventos corporativos.

O valor de mercado da carteira é definido por:

$$MV_t = \sum_{i=1}^{n}(P_{i,t} \cdot Q_{i,t}) \quad (2)$$

O divisor é ajustado para garantir continuidade da série, evitando distorções.

3.4 TRANSFORMAÇÃO DO ÍNDICE E DEFINIÇÃO DA VARIÁVEL DEPENDENTE

A variável dependente utilizada nas estimações é a variação logarítmica do índice:

$$\Delta \ln(IboAgro_t) = \ln(IboAgro_t) - \ln(IboAgro_{t-1}) \quad (3)$$

Essa transformação reduz problemas de persistência e permite interpretar os coeficientes como variações percentuais aproximadas.

3.5 ASSIMETRIA CLIMÁTICA

Para capturar possíveis assimetria, o ONI foi decomposto em componentes positivo e negativo:

$$ONI_t^+ = \begin{cases} ONI_t, & se\ ONI_t > 0 \\ 0, & caso\ contrário \end{cases} \qquad ONI_t^- = \begin{cases} ONI_t, & se\ ONI_t < 0 \\ 0, & caso\ contrário \end{cases}$$

Esse procedimento permite identificar diferenças entre os efeitos de El Niño e La Niña.

3.6 REDUÇÃO DE DIMENSIONALIDADE

Devido à correlação entre as precipitações regionais, utilizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP), sintetizando-as em um fator climático:

$$PC1_t = \alpha_1 prec_{CO,t} + \alpha_2 prec_{NE,t} + \alpha_3 prec_{N,t} + \alpha_4 prec_{SE,t} + \alpha_5 prec_{S,t} \quad (4)$$

Essa abordagem reduz multicolinearidade e melhora e estabilidade dos modelos.

3.7 MODELOS ANALÍTICOS

A estratégia empírica foi estruturada em três arranjos analíticos complementares para examinar os efeitos do El Niño sob diferentes perspectivas, permitindo comparar especificações e evitar dependência de uma única forma de modelagem do choque climático.

3.7.1 ARRANJO ANALÍTICO 1: EFEITO LINEAR DO ONI COM CONTROLES REGIONAIS

O primeiro arranjo estima o efeito médio linear do El Niño sobre o desempenho do agronegócio, controlando pelas diferenças regionais de precipitação, conforme a especificação econométrica a seguir:

$$\Delta \ln(IboAgro_t) = \beta_0 + \beta_1 ONI_t + \beta_2 ONI_{t-1} + \beta_3 prec_{CO,t} + \beta_4 prec_{NE,t} + \beta_5 prec_{N,t} + \beta_6 prec_{SE,t} + \beta_7 prec_{S,t} + \varepsilon_t \quad (6)$$

A inclusão de ONI_t e ONI_{t-1} permite distinguir entre efeitos contemporâneo e defasados do choque climático, enquanto as precipitações regionais atuam como controles. O procedimento envolveu calcular o retorno do IboAgro, incluir o ONI (nível e defasagem), adicionar as séries regionais e estimar o modelo com correção para heterocedasticidade e autocorrelação.

3.7.2 ARRANJO ANALÍTICO 2: ASSIMETRIA ENSO

O segundo arranjo foi concebido para investigar se a sensibilidade do agronegócio brasileiro difere entre episódios de El Niño e La Niña. Em vez de utilizar o ONI em sua forma contínua simples, essa especificação substitui a variável original por seus componentes positivo e negativo. A equação assume a forma:

$$\Delta \ln(IboAgro_t) = \beta_0 + \beta_1 ONI_t^+ + \beta_2 ONI_t^- + \beta_3 prec_{CO,t} + \beta_4 prec_{NE,t} + \beta_5 prec_{N,t} + \beta_6 prec_{SE,t} + \beta_7 prec_{S,t} + \varepsilon_t \quad (7)$$

Esse arranjo avalia se choques positivos do ENSO, produzem efeitos distintos, testando empiricamente a assimetria. A estimação envolveu decompor o ONI em ONI^+ e ONI^-, substituir a variável original no modelo, manter os controles regionais e estimar a regressão com o mesmo padrão inferencial.

3.7.3 ARRANJO ANALÍTICO 3: SÍNTESE CLIMÁTICA POR COMPONENTE PRINCIPAL

O terceiro arranjo constitui uma especificação alternativa voltada à síntese do sistema climático regional. Em vez de introduzir simultaneamente as cinco variáveis de precipitação regional, substitui-se esse conjunto pelo primeiro componente principal da ACP, definido como $Clima_{PC1}$. A equação é expressa como:

$$\Delta \ln(IboAgro_t) = \beta_0 + \beta_1 ONI_t + \beta_2 Clima_{PC1_t} + \varepsilon_t \quad (8)$$

Essa formulação é mais parcimoniosa e procura verificar se a variabilidade climática regional pode ser adequadamente representada por um único fator agregado. Trata-se, portanto, de um teste

metodológico relevante dentro da lógica do artigo, pois permite comparar uma especificação climaticamente desagregada com outra sintética.

A sequência operacional desse arranjo envolveu: padronizar as séries regionais de precipitação; aplicar a ACP; extrair o primeiro componente principal; inserir esse fator na equação ao lado do ONI; e então estimar o modelo. A comparação entre esse arranjo e os dois anteriores é parte integrante da coerência metodológica da pesquisa, ainda que a interpretação substantiva dessa comparação seja reservada ao capítulo seguinte.

4.8 MODELO ECONOMÉTRICO E FORMA DE ESTIMAÇÃO

Embora o modelo GVAR seja reconhecido na literatura como uma referência conceitual relevante para a análise de sistemas interdependentes, a estratégia empírica adotada neste estudo foi operacionalizada por meio de regressões lineares com correção dos erros-padrão para heterocedasticidade e autocorrelação. Considerando a extensão temporal da série e a possibilidade de dependência serial nos resíduos, empregou-se a correção HAC de *Newy-West*, a fim de conferir robustez inferencial às estimativas. De forma geral, a estrutura estimada pode ser representada como:

$$Y_t = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j X_{j,t} + \varepsilon_t \qquad (9)$$

em que Y_t corresponde ao retorno do IboAgro e $X_{j,t}$ representa o conjunto de variáveis climáticas utilizando em cada arranjo analítico. A diferença entre os modelos não reside, portanto, no estimador em si, mas na forma como o choque climático foi representado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

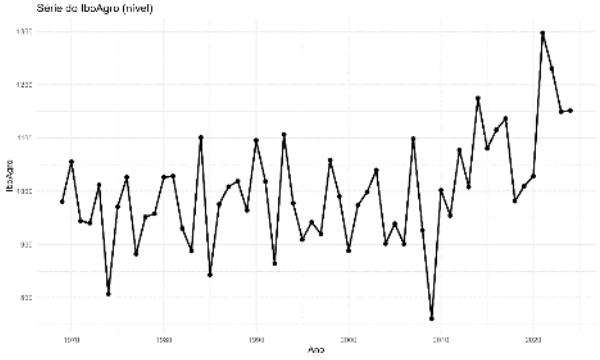
Esta seção apresenta os resultados conforme os objetivos da pesquisa: (i) caracterização do IboAgro, (ii) estimação do impacto do El Niño, (iii) análise das assimetrias do ENSO e (iv) avaliação da síntese climática via PCA.

4.1 CÁLCULO, TRAJETÓRIA E PROPRIEDADES EMPÍRICAS DO IBOAGRO

O IboAgro, construído para representar o desempenho agregado do agronegócio, apresenta trajetória não linear, com ciclos de expansão e contração coerentes com a exposição do setor a preços internacionais, condições macroeconômicas e choques climáticos.

O Gráfico 1 evidencia trajetória não linear, com ciclos de expansão e retração. A variabilidade sugere sensibilidade do setor a choques sistêmicos, incluindo eventos climáticos.

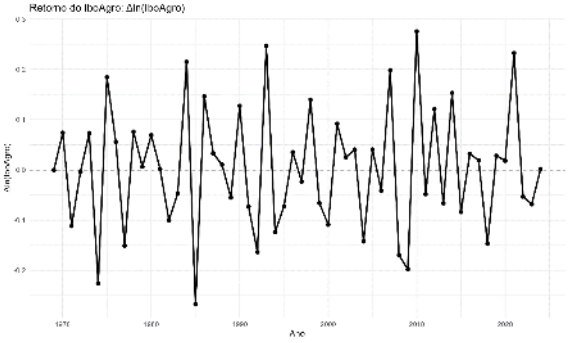
Figura 1. Gráfico 1 – Evolução do IboAgro em nível no Brasil (1968-2024).



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 2 observa-se a transformação logarítmica estabilizando a série e evidenciando flutuações de curto prazo, sendo adequada para inferência econométrica.

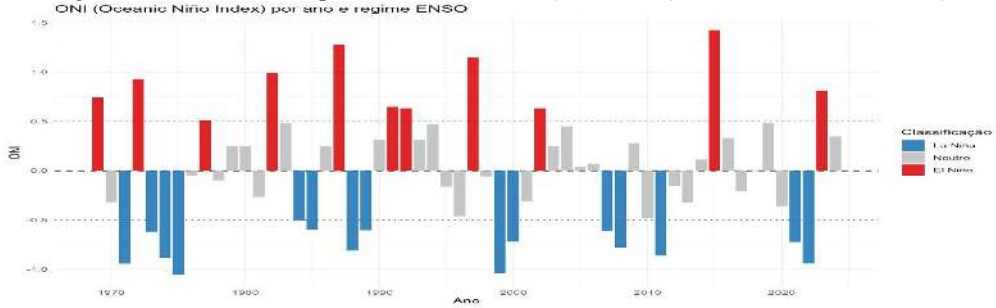
Figura 2. Gráfico 2 – Retorno do IboAgro ($\Delta \ln$) .



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 3 mostra alternância entre El Niño, La Niña e neutralidade, assegurando variabilidade suficiente do regressor climático.

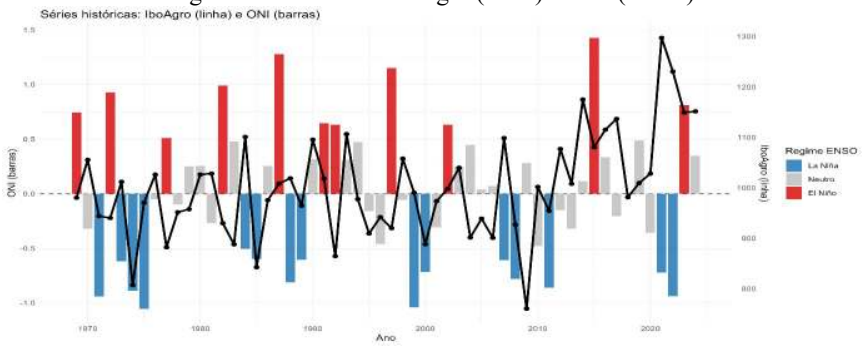
Figura 3. Gráfico 3 – ONI por ano, com classificação ENSO (El Niño / La Niña / Neutro).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 4 sugere associação negativa entre ONI e retorno do índice, hipótese posteriormente testada nos modelos.

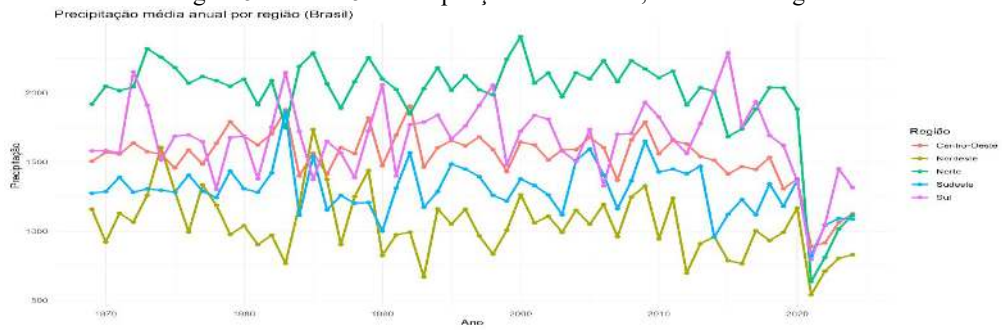
Figura 4. Gráfico 4 – IboAgro (linha) e ONI (barras).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 5 confirma heterogeneidade espacial relevante, justificando a inclusão de controles regionais.

Figura 5. Gráfico 5 – Precipitação média anual, conforme a região.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 IMPACTO DO EL NIÑO SOBRE O DESEMPENHO AGREGADO DO AGRONEGÓCIO

A Tabela 1 apresenta o Arranjo Analítico 1, no qual o retorno do IboAgro é explicado pelo ONI (contemporâneo e defasado) e pelas precipitações regionais.

Tabela 1. Estimação do impacto do fenômeno El Niño e da precipitação regional sobre a variação do índice IboAgro (Arranjo Analítico 1 – erros-padrão HAC/Newey-West).

Variável	Estimativa	Erro-padrão (HAC)	Estatística t	p-valor
(Intercepto)	-0,79998	1,36697	-0,5852	0,5615
ONI	-0,04849	0,02231	-21741	0,0352
$ONI_{(t-1)}$	0,01281	0,01884	0,6799	0,5002
Precipitação Centro-Oeste	-0,000114	0,000178	-0,6402	0,5254
Precipitação Nordeste	-0000272	0,000117	-23269	0,0247
Precipitação Norte	0,000130	0,000113	1,1494	0,2567

Precipitação Sudeste	-000283	0,0000916	-30893	0,0035
Precipitação Sul	0,0000617	0,0000625	0,9871	0,3291

Diagnóstico do Arranjo Analítico 1: $n = 56$; $R^2 = 0{,}4969$; $R^2_{ajust.} = 0{,}3565$; $AIC = -87{,}9163$; $BIC = -59{,}5613$.

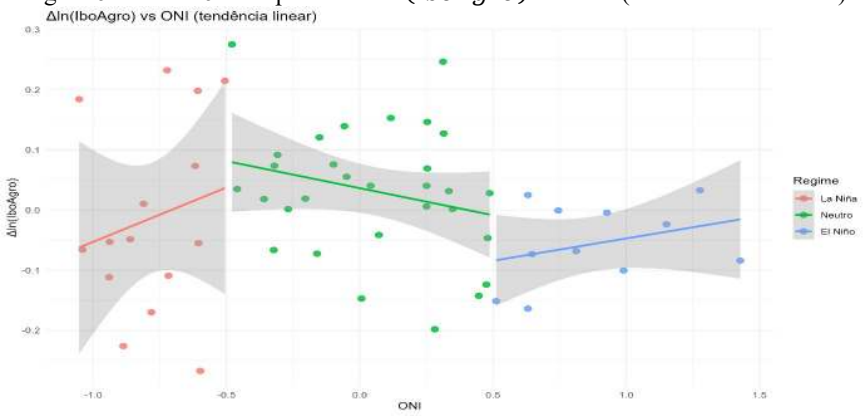
Fonte: Elaborada pelos autores.

O coeficiente do ONI contemporâneo é negativo e estatisticamente significativo, indicando que aumentos no índice estão associados à redução do retorno do IboAgro. Em termos econômicos, episódios de El Niño deterioram o desempenho agregado do setor.

O ONI defasado não é significativo, sugerindo predominância de efeitos contemporâneos. Entre os controles, Nordeste e Sudeste apresentam coeficientes negativos e significativos, indicando que a materialização regional do choque climático é relevante para o desempenho setorial.

O Gráfico 6 apresenta a dispersão entre o retorno do IboAgro e o ONI, evidenciando relação negativa consistente com a Tabela 1. À medida que o ONI aumenta, o retorno do índice tende a se reduzir. Embora a relação não seja perfeita, dada a influência de outros fatores sobre o desempenho do setor, a inclinação negativa reforça a evidência de efeito adverso do El Niño.

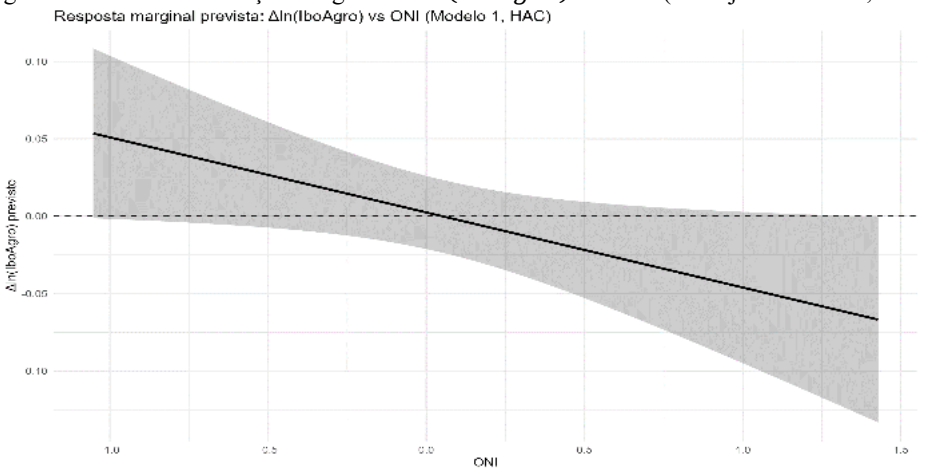
Figura 6. Gráfico 6 – Dispersão: $\Delta \ln(IboAgro)$ vs ONI (com tendência linear)



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 7 apresenta a predição marginal do retorno do IboAgro em função do ONI, mantendo as demais variáveis constantes. A inclinação negativa indica que valores mais elevados do ONI estão associados a menor retorno esperado do índice, confirmando o resultado do Arranjo Analítico 1 de forma visual e direta.

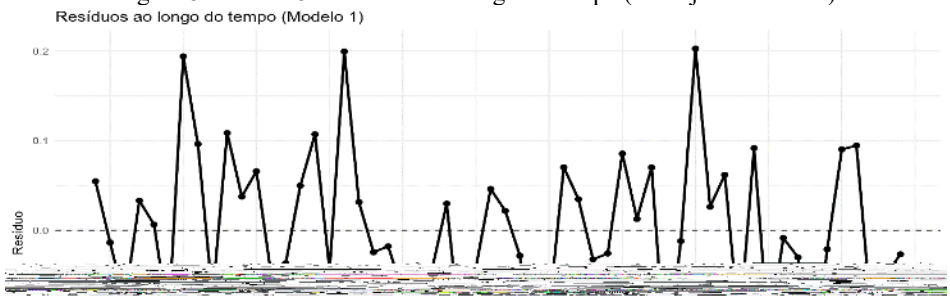
Figura 7. Gráfico 7 – Predição marginal: $\Delta \ln(IboAgro)$ vs ONI (Arranjo Analítico 1, HAC)



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 8 apresenta os resíduos do Arranjo Analítico 1 ao longo do tempo, evidenciando períodos de sub e superestimação do retorno do IboAgro. Esses desvios refletem a influência de fatores não capturados pelo modelo. Assim, a análise residual indica que, embora o modelo explique parte relevante da relação entre clima e desempenho econômico, não contempla todos os determinantes do setor.

Figura 8. Gráfico 8 – Resíduos ao longo do tempo (Arranjo Analítico 1)



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.3 RESPOSTA A EPISÓDIOS ENSO, ASSIMETRIAS E HETEROGENEIDADE REGIONAL

O terceiro objetivo analisou a resposta do agronegócio aos episódios do El Niño, focando na assimetria entre El Niño e La Niña e nos impactos regionais via relação entre ONI e precipitação nas macrorregiões brasileiras.

4.3.1 ASSIMETRIA ENSO: EL NIÑO VERSUS LA NIÑA

A Tabela 2 reporta o Arranjo Analítico 2, com decomposição do ONI em componentes positivo (El Niño) e negativo (La Niña).

Tabela 2. Arranjo Analítico 2 (HAC/Newey-West): Resultados da regressão $\Delta \ln(IboAgro)$ com correção HAC (Newey-West)

Variável	Estimativa	Erro-padrão (HAC)	Estatística t	p-valor
Intercepto	-0,44392	1,12756	-0,3937	0,6958
ONI positivo	-0,11688	0,03220	-3,6300	0,0007
ONI negativo	0,04062	0,06386	0,6360	0,5281
Precipitação Centro-Oeste	-0,000145	0,000163	-0,8902	0,3783
Precipitação Nordeste	-0,000224	0,000106	-2,1025	0,0414
Precipitação Norte	0,0000738	0,000102	0,7264	0,4715
Precipitação Sudeste	-0,000269	0,0000792	-3,3890	0,0015
Precipitação Sul	0,0000674	0,0000609	1,1070	0,2744

Diagnóstico do Arranjo Analítico 1: $n = 56$; $R^2 = 0{,}5317$; $R^2_{ajust.} = 0{,}4010$; $AIC = -91{,}9335$; $BIC = -63{,}5786$
Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 2 reforça os resultados do primeiro arranjo. O ONI positivo apresenta coeficiente negativo e altamente significativo $(-0{,}11688; p < 0{,}01)$, indicando que episódios de El Niño reduzem de forma expressiva o retorno do IboAgro. Em termos aproximados, um aumento de uma unidade de ONI positivo está associado a queda de cerca de 11,69% no retorno do índice. Já o ONI negativo não é significativo, evidenciando assimetria: os efeitos relevantes concentram-se nos episódios de El Niño. Esse resultado está alinhado à literatura sobre choques climáticos assimétricos. As precipitações do Nordeste e Sudeste permanecem negativas e significativas, confirmando o papel desses canais regionais na transmissão dos impactos climáticos.

4.3.2 CANAIS CLIMÁTICOS E HETEROGENEIDADE REGIONAL

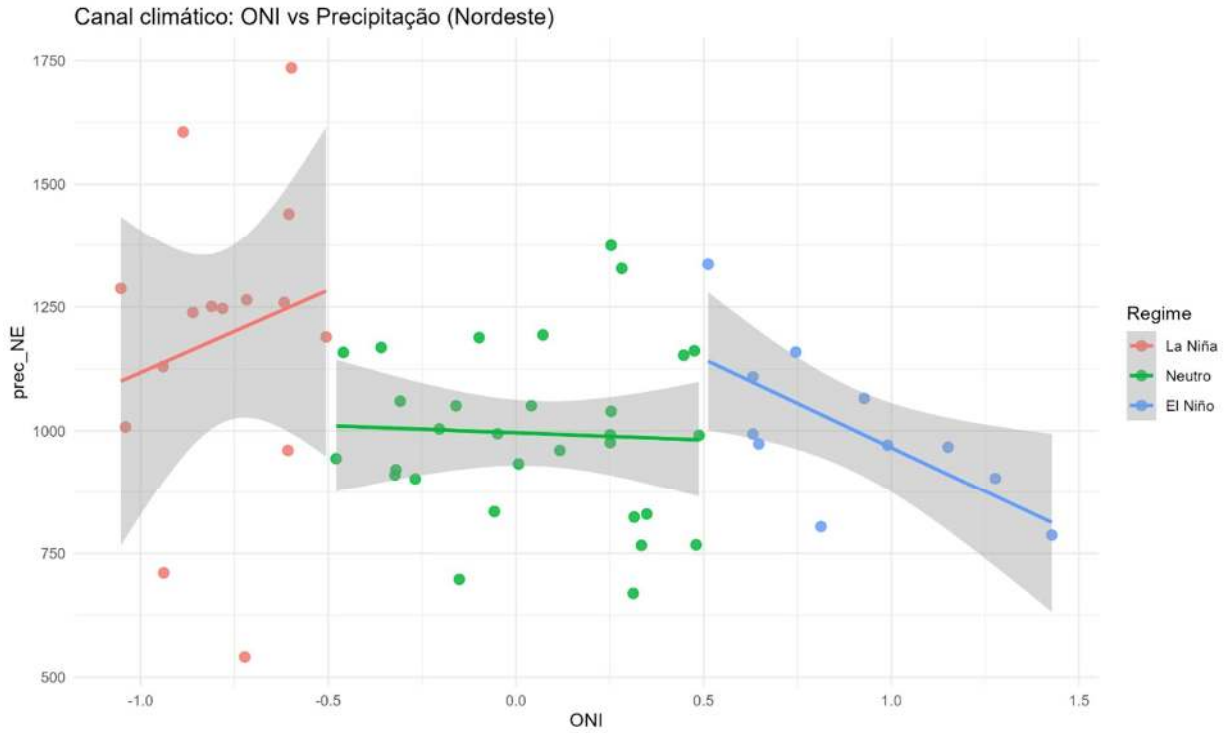
Para aprofundar os canais de transmissão, a pesquisa analisa a relação entre o ONI e a precipitação regional. Os gráficos 9 e 10, evidenciam que o ENSO afeta as regiões de forma heterogênea, o que ajuda a explicar a significância distinta das variáveis regionais nos modelos.

A relação entre ONI e precipitação no Centro-Oeste não apresentou padrão linear claro, sugerindo que os efeitos do El Niño na região dependem de fatores adicionais. Embora não tenha sido estatisticamente significativa nos modelos, a variável foi considerada relevante do ponto de vista econômico, dado o papel estratégico da região na produção de grãos e na dinâmica agropecuária.

O Gráfico 9 evidencia a relação entre ONI e precipitação no Nordeste, região altamente vulnerável aos episódios de El Niño. Nos modelos, a precipitação nordestina apresentou coeficiente negativo e significativo, indicando sua relevância como canal de transmissão climática. Esse resultado

reflete a sensibilidade hídrica das atividades agropecuárias locais, cujos impactos recaem sobre produção, custos e abastecimento.

Figura 9. Gráfico 9 – ONI versus precipitação: Nordeste.

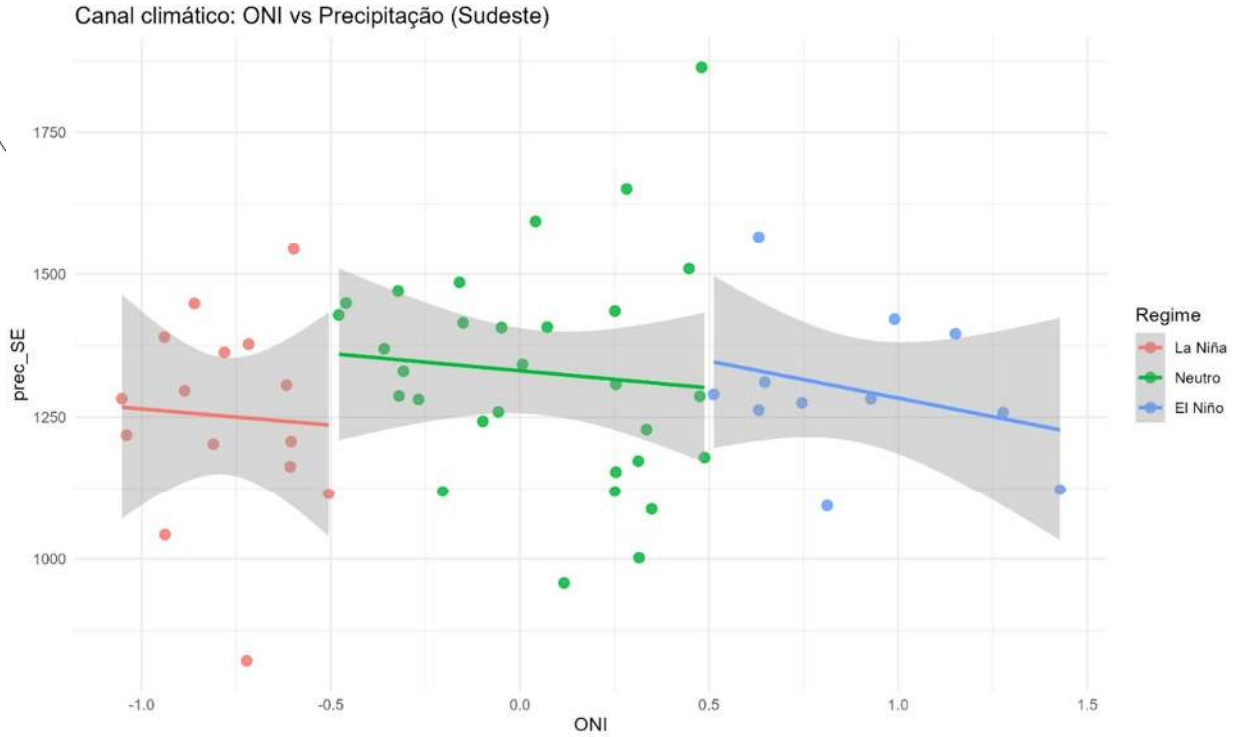


Fonte: Elaborado pelos autores.

A relação entre ONI e precipitação na região Norte não apresentou significância estatística nos modelos. Ainda assim, isso não implica ausência de relevância climática, podendo refletir efeitos indiretos ou não captados pelo IboAgro, dada a composição do índice e a dinâmica específica dos segmentos produtivos representados.

O Gráfico 10 evidencia que a precipitação no Sudeste apresenta coeficiente negativo e significativo nos dois primeiros arranjos, indicando sua relevância como canal de transmissão climática. Esse resultado sugere que aumentos de chuva podem pressionar o desempenho do IboAgro, sobretudo por impactos sobre logística, custos e cadeias agroindustriais, destacando o papel econômico-financeiro da região.

Figura 10. Gráfico 10 – ONI versus precipitação: Sudeste



Fonte: Elaborado pelos autores.

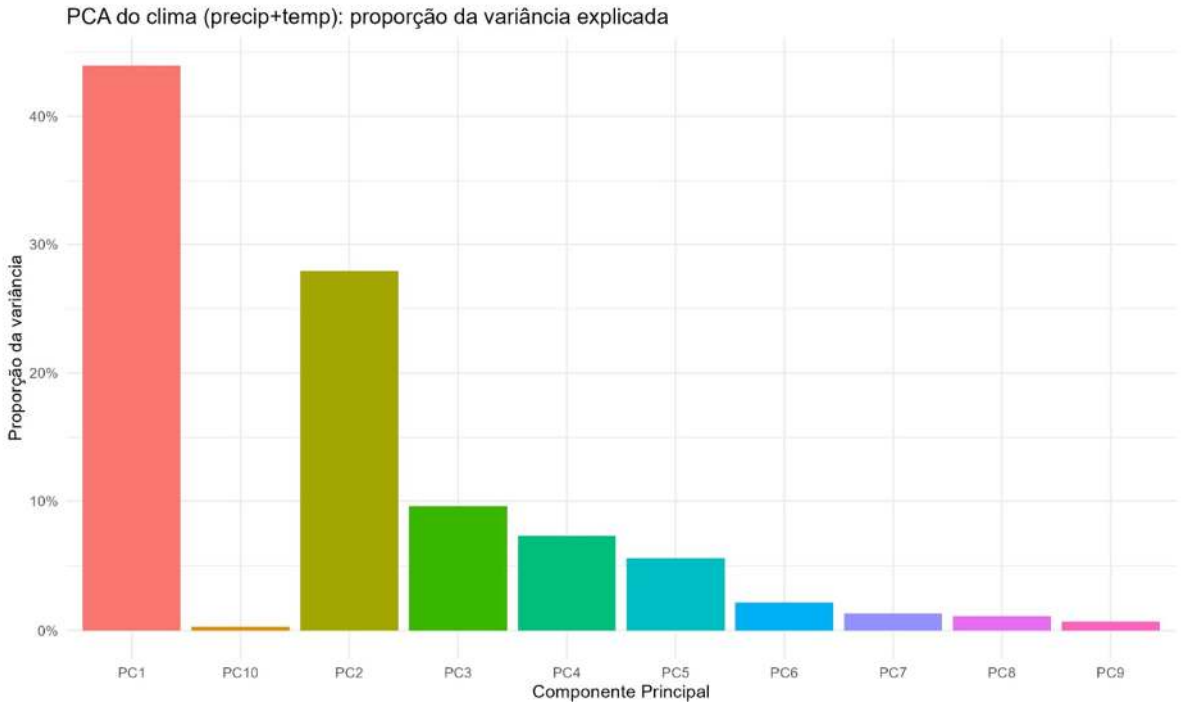
A precipitação na região Sul não apresentou significância estatística nos modelos, apesar da associação frequente com episódios de El Niño. Esse resultado sugere efeitos heterogêneos entre culturas e períodos, possivelmente compensados no agregado do IboAgro, evidenciando a complexidade da relação entre ENSO e clima regional.

Os resultados indicam que os impactos do El Niño sobre o agronegócio brasileiro não são homogêneos. Sua transmissão ocorre por meio de regimes regionais de precipitação, estruturas produtivas especificas e distintos níveis de exposição das empresas e cadeias produtivas.

4.4 ANÁLISE COMPLEMENTAR: SÍNTESE DO CLIMA VIA PCA

A Análise de Componentes Principais foi utilizada para avaliar a possibilidade de representar o sistema climático por um fator agregado.

Figura 11. Gráfico 11 – Variância explicada (PCA).



Fonte: Elaborado pelos autores.

O primeiro componente (PC1) explica 43,9% da variância, indicando presença de fator comum, porém insuficiente para representar integralmente a variabilidade climática.

A tabela 3 indica a presença de uma dimensão climática comum relevante (PC1), mas sua capacidade de explicar menos da metade da variância total evidência que o sistema climático brasileiro não pode ser representado por um único fator. Esse resultado aponta para a existência de heterogeneidade regional significativa, associada a diferenças nos regimes pluviométricos entre as macrorregiões.

Tabela 3. PCA do clima: proporção da variância explicada

Componente	Proporção da variância	Proporção acumulada
PC1	0,43948	0,43948
PC2	0,27914	0,71862
PC3	0,09593	0,81455
PC4	0,07312	0,88768
PC5	0,05601	0,94368
PC6	0,02163	0,96531
PC7	0,01344	0,97875
PC8	0,01138	0,99014
PC9	0,00704	0,99717
PC10	0,00283	1,00000

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 4 indica que todas as variáveis de precipitação apresentam cargas positivas no PC1, o que permite interpretar esse comportamento como um fator climático agregado associado ao regime pluviométrico nacional. Embora esse componente não concentre a maior parte da variabilidade total, sua utilização é analiticamente relevante por sintetizar uma dimensão comum das precipitações regionais e permitir a comparação entre uma especificação climática desagregada e uma especificação mais parcimoniosa. Assim, o resultado não invalida a análise por PCA, mas evidencia que a síntese climática deve ser interpretada de forma complementar, considerando que parte importante dos efeitos permanece associada às diferenças regionais, especialmente aquelas observadas para Nordeste e Sudeste.

Tabela 4. PCA do clima: *loadings* do primeiro componente principal (PC1)

Variável climática	***Loading* no PC1**
Precipitação – Centro-oeste	0,47
Precipitação – Nordeste	0,45
Precipitação – Norte	0,42
Precipitação – Sudeste	0,44
Precipitação – Sul	0,39

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.4.1 RESULTADOS DO ARRANJO ANALÍTICO 3

A Tabela 5 apresenta o Arranjo Analítico 3, no qual as precipitações regionais são substituídas pelo PC1.

Tabela 5. Estimação do Arranjo Analítico 3: impacto do ONI e do fator climático agregado (PC1) sobre a variação logarítmica do índice IboAgro (HAC/Newy-West).

Variável	Estimativa	Erro-padrão (HAC)	Estatística t	p-valor
(Intercepto)	0,00273	0,00827	0,3302	0,7425
ONI	-0,01644	0,01961	-0,8386	0,4054
Clima_PC1	-0,00764	0,00594	-1,2863	0,2039

Diagnóstico do Arranjo Analítico 1: $n = 56$; $R^2 = 0{,}0277$; $R^2_{ajust.} = -0{,}0090$; $AIC = -71{,}0185$; $BIC = -62{,}9171$.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nenhuma variável apresenta significância estatística, indicando perda de poder explicativo com a agregação das variáveis climáticas.

A predição marginal no Arranjo Analítico 3 mantém sinal negativo, porém sem significância estatística, indicando perda de capacidade explicativa com a agregação das variáveis climáticas. Esse resultado reforça que os efeitos do El Niño são regionalmente diferenciados e que a heterogeneidade espacial é componente central na transmissão dos choques climáticos.

Tabela 6. Comparação de ajuste e critérios de informação (Arranjos Analíticos 1, 2 e 3).

Arranjo Analítico	**n**	R^2	$R^2_{ajust.}$	**AIC**	**BIC**
1	56	0,4969	0,3565	-87,9163	-59,5613
2	56	0,5317	0,4010	-91,9335	-63,5786
3	56	0,0277	-0,0090	-71,0185	-62,9171

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 6 indica que o Arranjo Analítico 2 apresentou melhor desempenho (maior R^2 , $R^2_{ajustado}$ e menor AIC), evidenciando que a modelagem assimétrica do ENSO melhora a capacidade explicativa. O Arranjo 1 também se mostrou consistente ao identificar efeito negativo significativo do ONI sobre o IboAgro, enquanto o Arranjo 3 apresentou menor desempenho, indicando perda de informações ao agregar as variáveis climáticas.

Em conjunto, os resultados atendem aos objetivos da pesquisa ao demonstrar: (i) a validade do IboAgro como indicador do setor; (ii) o efeito negativo do El Niño sobre seu desempenho; e (iii) a importância da assimetria climática e dos canais regionais, especialmente Nordeste e Sudeste. Assim, evidencia-se que os impactos do El Niño se transmitem por mecanismos econômicos e regionais, exigindo uma análise integrada entre clima, produção e mercado financeiro.

5 CONCLUSÕES

Este artigo analisou os efeitos do El Niño sobre o desempenho econômico-financeiro do agronegócio brasileiro, a partir da construção e aplicação do IboAgro. Buscou-se compreender como choques climáticos globais, mensurados pelo ONI, se relacionam com a dinâmica das empresas do setor, considerando as precipitações regionais como canais de transmissão.

O primeiro objetivo foi atendido com a construção do IboAgro, indicador inspirado no Ibovespa, direcionado exclusivamente ao agronegócio. O índice permite uma análise mais específica do setor, superando limitações de indicadores amplos. Constitui uma medida para acompanhar oscilações associadas a choques climáticos, produtivos e financeiros.

Quanto ao segundo objetivo, os resultados indicaram que o El Niño exerce efeito negativo sobre o desempenho agregado do setor. O Arranjo Analítico 1 mostrou que aumentos no ONI estão associados à redução do retorno do IboAgro, mesmo com controle das precipitações regionais, indicando que eventos climáticos afetam não apenas a produção, mas também custos, expectativas e rentabilidade.

O terceiro objetivo foi atendido pela análise das assimetrias do ENSO e da heterogeneidade regional. O Arranjo Analítico 2 revelou que os efeitos adversos se concentram nos episódios de El Niño, enquanto a La Niña não apresentou significância estatística. As precipitações do Nordeste e Sudeste destacaram-se como canais relevantes, evidenciando a importância das espécies regionais.

A análise com PCA que, embora o primeiro componente capture parte da variabilidade climática, o Arranjo Analítico 3 apresentou menor capacidade explicativa, indicando que a agregação pode ocultar diferenças regionais. Isso reforça a necessidade de abordagem regionalizada.

O estudo contribui ao integrar clima, agronegócio e mercado financeiro em uma mesma estrutura analítica, utilizando o IboAgro como medida de desempenho setorial. Como limitação, destaca-se a ausência de variáveis econômicas e institucionais adicionais, bem como o uso de dados anuais, que podem não captar variações intra-anuais.

Para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar o conjunto de variáveis e aprofundar a análise por segmentos do agronegócio. Conclui-se que o El Niño é relevante para compreender o desempenho econômico-financeiro do agronegócio brasileiro, afetando produção, mercado financeiro e estratégias de gestão de risco, o que reforça a importância de compreender essa relação diante da intensidade dos eventos climáticos.

REFERÊNCIAS

AHMAD, Mohammad Reza; CHAUDHURI, Kausik; HASSAN, Ghullam Murtaza. Impact of climate risk on equity premium: evidence from emerging and developed markets. Research in International Business and Finance, [S.l.], v. 62, 2022.

ASSAD, E. D. *et al.* Climate change and agriculture: impacts and adaptation options in Brazil. Agricultural Systems, v. 196, 103293, 2022.

B3 - BRASIL, BOLSA, BALCÃO. Metodologia dos Índices da B3. São Paulo: B3, 2024. Disponível em: https://www.b3.com.br. Acesso em: 10 jun. 2025.

BALDWIN, E.; DIAS, M.; WINKLER, H. Climate risk as systemic risk: insights for financial and policy modeling. Climate Risk Management, v. 41, p. 100555, 2023. DOI: 10.1016/j.crm.2023.100555.

CANE, Mark A. The evolution of El Niño, past and future. Earth and Planetary Science Letters, [S.l.], v. 230, n. 3-4, p. 227-240, 2005.

DUFRENOT, Gilles. Climate shocks, output volatility and financial stability: evidence from a panel GVAR. Paris: CEPII, 2023. Working Paper n. 309.

FLORIDE, W.; KAMINSKI, J.; GUTIERREZ, L. Modeling food price responses to climate anomalies using a Global VAR approach: evidence from Sub-Saharan Africa. Agricultural Economics, [S.l.], v. 56, n. 2, p. 178-198, 2025.

LIMA, G. C.; ZILLI, J. A.; CUNHA, G. R. Agricultural vulnerability to El Niño events in Brazil: an econometric analysis. Environmental Research Communications, v. 5, n. 1, p. 015002, 2023.

McPHADEN, M. J.; SANTOSO, A.; CAI, W. Dynamics of El Niño-Southern Oscillation: recent advances and future challenges. Reviews of Geophysics, v. 58, n. 2, e2019RG000678, 2020.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION – NOAA. Historical El Niño/La Niña episodes (1950-present). Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ENSOstuff/ONI_v5.php. Acesso em: 10 jun. 2025.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – IPCC. Climate Change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

TORRES, R. R. *et al.* Climate risk management strategies for agriculture in Brazil: current status and future perspectives. Climatic Change, v. 165, 2021.

UBILAVA, David. El Niño, La Niña, and world coffee price dynamics. Agricultural Economics, [S.l.], v. 47, n. 1, p. 109-119, 2016.

WOOLDRIDGE, J. M. Introductory econometrics: a modern approach. 7. ed. Boston: Cengage Learning, 2021.