

Transbordamento de volatilidade dos preços do milho e da soja para o preço do leite no Brasil

Volatility Spillover from Corn and Soybean Prices to the Milk Price in Brazil

Leandro Souza Silva

Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil

Marcelo Dias Paes Ferreira

Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil

Leonardo Bornacki de Mattos

Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais (MG), Brasil

Andre Rozemberg Peixoto Simões

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Aquidauana, Mato Grosso do Sul (MS),
Brasil

GT 01 – Mercados agrícolas e comércio exterior

Resumo: O setor de produção de leite no Brasil enfrenta grandes desafios para se manter competitivo, sendo fortemente dependente de insumos para a nutrição do rebanho, cuja formulação é baseada principalmente no milho e na soja, duas importantes commodities. Por serem cotados em mercados de derivativos, esses produtos agrícolas estão sujeitos à volatilidade de preços, fator de grande relevância no contexto dos mercados financeiros. Como grande parte dos custos de produção do leite está associada à alimentação do rebanho, supõem-se que oscilações nos preços desses insumos podem impactar diretamente o preço do leite pago ao produtor. Este estudo avaliou se a volatilidade dos preços do milho e da soja impacta a volatilidade do preço do leite, utilizando modelos univariados e multivariados da classe GARCH para capturar a dinâmica da volatilidade condicional e sua transmissão entre os mercados. Os resultados indicam uma relação de longo prazo entre as variáveis, bem como um impacto significativo do preço do milho sobre o preço do leite pago ao produtor. No entanto, não foi identificada transmissão direta de volatilidade destes insumos para o mercado do leite. Os riscos de preço dos insumos que compõe os custos da ração não são transmitidos para o preço praticado do leite, uma vez que a volatilidade não se propaga para os elos a jusante da cadeia.

Palavras-chave: leite; milho; soja; volatilidade; spillovers.

Abstract: The dairy production sector in Brazil faces significant challenges to remain competitive, being highly dependent on inputs for herd nutrition, whose formulation is mainly based on corn and soybeans, two key commodities. As these products are traded in derivatives markets, they are subject to price volatility, which is a highly relevant factor in financial markets. Since a large share of milk production costs is associated with herd feeding, fluctuations in the prices of these inputs are expected to directly impact the price of milk paid to producers. This study evaluates whether the volatility of corn and soybean prices affects the volatility of milk prices, using univariate and multivariate models from the GARCH class to capture the dynamics of conditional volatility and its transmission across markets. The results indicate a long-term relationship between the variables, as well as a significant impact of corn prices on milk prices paid to producers. However, no direct transmission of volatility from these inputs to the milk market was identified. The results suggest that price risks associated with feed inputs are not transmitted to milk prices, as volatility does not propagate to downstream segments of the supply chain.

Keywords: milk; corn; soybeans; volatility; spillover

1. Introdução

Em um contexto de crescente intensificação da interdependência entre mercados, as cadeias produtivas tornaram-se mais interligadas, formando um ambiente favorável à transmissão de preços e

ao transbordamento de volatilidade entre diferentes mercados. A maior integração financeira e comercial dos mercados amplia a velocidade e a intensidade com que choques econômicos, políticos ou climáticos se propagam, afetando simultaneamente diferentes mercados, ampliando os riscos e instabilidades.

No âmbito dos mercados financeiros, Diebold e Yilmaz (2009) evidenciam a existência de *spillovers* de retorno¹ e de volatilidade, demonstrando que choques se propagam nos mercados financeiros globais à medida que a integração se amplia. Esse fenômeno também ocorre nos mercados agrícolas, que tornaram-se altamente interligados e dependentes a outros mercados, levando a formação de complexos agroindustriais, aumentando a exposição do setor a choques de preços e volatilidade. (Baquedano; Liefert, 2014; Von Cramon-Taubadel; Goodwin, 2021).

Nesse contexto, o Brasil desempenha um papel central no mercado global de commodities, por ser um dos maiores produtores e exportadores mundiais de produtos agrícolas, como soja e milho (Brasil, 2026). Essa relevância faz com que o país atue não apenas como receptor, mas também como transmissor de choques de preços e volatilidade no comércio global, como evidenciado por Avileis e Mallory (2022).

Apesar do avanço da literatura na análise da transmissão de volatilidade entre commodities agrícolas, os estudos concentram-se majoritariamente nas relações entre grãos, especialmente milho e soja e outros ativos (Libera; Waquil, 2009; Cruz *et al.*, 2016; Castro; Da Silva Neto, 2018; Capitani; Gaio, 2024). Contudo, observa-se uma lacuna no que se refere à análise da transmissão desses choques para setores dependentes desses insumos, como a pecuária leiteira. O setor leiteiro apresenta elevada dependência de milho e soja na formulação de ração na nutrição animal, o que impacta diretamente a maior parte dos custos de produção da atividade (Embrapa Gado de Leite, 2021).

Dessa forma, compreender como os choques de volatilidade nos mercados de milho e soja são transmitidos para o preço do leite pago ao produtor é fundamental para avaliar os riscos e os impactos sobre a rentabilidade da atividade leiteira. Diante disso, o presente estudo tem como objetivo analisar a existência de *spillovers* de volatilidade entre os mercados de milho, soja e leite no Brasil, identificando os sentidos e os canais de transmissão entre esses mercados.

O período de análise compreende junho de 2014 a outubro de 2025, sendo definido pela disponibilidade dos dados de preços do leite. Diferentemente da frequência mensal mais utilizada, foram utilizados dados quinzenais referentes ao mercado spot (preço do leite resfriado negociado entre laticínios), que serve como *proxy* para o preço pago ao produtor. A fim de garantir a consistência temporal, o mesmo intervalo foi adotado para as séries de milho e soja.

2. Revisão da Literatura

A volatilidade é um indicador recorrente em estudos sobre o comportamento dos preços de vários ativos financeiros e commodities. Com mercados cada vez mais interconectados e dependentes, a

¹ Segundo Diebold e Yilmaz (2009), os *spillovers* de retorno representam o grau em que choques nos retornos de um ativo ou mercado contribuem para a variância do erro de previsão dos retornos de outros ativos ou mercados.

volatilidade se apresenta como um importante indicador da propagação de choques e seus efeitos nos diferentes elos dos setores comerciais.

Neste contexto, Diebolde e Yilmaz (2009) demonstraram a existência de *spillovers* de volatilidade e de retorno, destacando como a transmissão de choques nos mercados financeiros globais evoluem de maneira dinâmica. Segundo os autores, os *spillovers* de retorno apresentam uma tendência crescente ao longo do tempo, à medida que os mercados se tornam mais integrados, enquanto os *spillovers* de volatilidade reagem de forma mais rápida, com choques sendo rapidamente transmitidos para os demais mercados.

Nos mercados de commodities agrícolas, o processo de transbordamento de volatilidade comporta-se de forma semelhante. Desde a criação dos contratos futuros agrícolas na Chicago Board of Trade (CBOT), em 1848, até a intensificação da globalização nas décadas de 1980 e 1990, os mercados agrícolas tornaram-se altamente integrados aos mercados internacionais, aumentando a exposição do setor a choques de preços, volatilidade e crises globais (Baquedano; Liefert, 2014)

A integração dos mercados agrícolas ampliou a eficiência de comercialização, mas também sua exposição a choques externos, como crises globais e eventos climáticos (De Souza, 2021). Além disso, a incerteza de políticas econômicas também exerce influência significativa sobre os preços das commodities (Frimpong *et al.*, 2021). Ademais, em mercados agrícolas integrados, determinadas regiões assumem o papel de formadoras de preços em função de sua relevância no comércio internacional, o que resulta em processos de transmissão espacial de preços (Olipra, 2020).

Estudos têm demonstrado a existência de contágio ao longo das cadeias produtivas. Guo e Tanaka (2020) analisaram a relação entre preços internacionais e preços ao produtor nos Estados Unidos sob a ótica da transmissão de retornos e do transbordamento de volatilidade, evidenciaram uma forte interdependência entre os mercados internacional e doméstico. Ait Sidhoum e Serra (2016) analisaram a transmissão de volatilidade ao longo da cadeia de comercialização do tomate na Espanha e identificaram uma transmissão significativa dos mercados consumidores para o produtor. Evidência semelhante é apresentada por Ben Abdallah, Fekete Farkas e Lakner (2020) que detectaram a presença de contágio de volatilidade assimétrico e unidirecional, partindo do mercado consumidor em direção ao produtor. Esses resultados indicam que integração de mercados não se restringe aos elos comerciais e industriais da cadeia, mas também o nível primário afetando diretamente os produtores.

A pecuária, por depender dos insumos agrícolas, como milho e soja, duas importantes commodities de exportação brasileira para nutrição animal, torna o setor vulnerável às oscilações de preços desses insumos, o que impacta diretamente na eficiência técnica da propriedade (Anderson; Mitchell; Luke, 2026). A ração, sendo um dos principais concentrados da nutrição animal é formulada majoritariamente por milho e farelo de soja, dois insumos com preços voláteis e propensos a choques que afetam a sua disponibilidade, preços e qualidades, ocorrendo o contágio de preços e volatilidade em sua produção e comercialização para as cadeias produtivas (Libera; Waquil, 2009; Cruz *et al.*, 2016;

Alves *et al.*, 2022; Capitani; Gaio, 2024) tornando essas commodities, via ração, potenciais transmissoras de volatilidade para a pecuária (Monteiro; Jammer, 2024).

No setor leiteiro, a alimentação representa parcela significativa dos custos totais da produção e os preços dos insumos utilizados se tornam fatores de incerteza no setor, em vista que às variações nos preços de milho e soja impactam diretamente a rentabilidade da atividade (Embrapa Gado de Leite, 2021). Diante dessa dependência do setor leiteiro com as commodities milho e soja, estudos têm buscado analisar a relação entre os preços dos insumos e o valor pago ao produtor pelo leite cru. Cristo-Diniz, Neto e Tavares (2022) analisaram a relação entre os custos de produção (milho e soja) e os preços pagos aos produtores do setor leiteiro utilizando a correlação de Pearson. Da mesma forma, Simões; Nicholson e Carvalho (2023) buscaram analisar os componentes que impactam o preço do leite nas fazendas brasileiras, considerando os custos com alimentação (ração) como fator de análise.

Além disso, fatores como oferta e demanda, consumo de lácteos e importações também influenciam os preços no mercado interno, sendo considerados parâmetros na definição de preços de referência. Apesar do avanço dos estudos sobre transmissão de volatilidade entre commodities agrícolas e ao longo das cadeias produtivas, observa-se uma lacuna na literatura no que se refere à transmissão de volatilidade dos insumos (milho e soja) para o setor leiteiro, especialmente no preço leite pago ao produtor.

3. Metodologia

Métodos como modelos VAR multivariados fornecem evidências sobre a relação entre preços em séries temporais, porém apresentam limitações na captura de aspectos mais complexos, como a dependência temporal, a transmissão de volatilidade e as correlações dinâmicas entre as variáveis. Diante dessas limitações, a literatura recente tem adotado modelos da classe GARCH, que permitem modelar de forma mais adequada a heterocedasticidade condicional e a dinâmica das interdependências entre mercados.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o transbordamento de volatilidade entre os mercados de milho, soja e do leite no Brasil, por meio da estimação de modelos GARCH multivariados, de modo a capturar a dinâmica da volatilidade e a evolução temporal das correlações condicionais entre os retornos dos preços dessas commodities e o leite.

Inicialmente, são realizados testes para verificar as propriedades estatísticas das séries, incluindo estacionariedade, normalidade e autocorrelação. A partir de então, modelou-se a dinâmica da média das séries por meio de modelos ARIMA(p,d,q). Posteriormente, estimam-se modelos da classe GARCH multivariados BEKK e DCC, com o intuito de analisar a dinâmica da volatilidade e a interdependência (correlações condicionais) entre os mercados.

3.1. Modelo BEKK-GARCH

O modelo BEKK-GARCH (Baba, Engle, Kraft e Kroner) multivariado proposto por Engle e Kroner (1995), é utilizado para analisar a transmissão de volatilidade entre mercados, bem como a persistência

da volatilidade própria e cruzada, por meio da estimação da matriz de covariância condicional que por construção é definida positiva.

A matriz de variância-covariância condicional dinâmica H_t de um modelo BEKK (1,1) é definida por:

$$H_t = CC' + A'\varepsilon_{t-1}\varepsilon'_{t-1}A + G'H_{t-1}G$$

em que:

(C) é uma matriz triangular inferior, que garante H_t sempre positiva;

(A) é uma matriz de parâmetros associada aos impactos dos choques recentes capturando a transmissão de volatilidade entre os mercados;

(G) é uma matriz de parâmetros associada a persistência da volatilidade condicional ao longo do tempo entre os mercados.

Através da matriz de variância-covariância do modelo BEKK é possível analisar a magnitude, a direção e a persistência da dinâmica de transmissão da volatilidade entre os mercados analisados.

3.2. Modelo DCC-GARCH

O modelo DCC-GARCH (Dynamic Conditional Correlation) proposto por Engle (2002) é utilizado para capturar a evolução temporal das correlações entre os mercados.

A matriz de correlação condicional do modelo DCC (1,1) é estimada em função do tempo t , o que permite modelar a evolução da interdependência entre mercados ao longo do tempo.

A matriz de variância-covariância condicional H_t decomposta como:

$$H_t = D_t \cdot R_t \cdot D_t$$

Onde:

(D_t) é a matriz diagonal contendo os desvios padrão condicionais das séries individualmente na diagonal principal, estimadas usando modelos GARCH (1,1);

(R_t) é a matriz de correlação condicional dinâmica que contém os coeficientes estimados da correlação para o tempo t .

A matriz de correlação R_t é estimada por uma matriz intermediária Q_t , que evolui dinamicamente de acordo com um processo autorregressivo.

$$Q_t = (1 - \alpha - \beta)\bar{Q} + \alpha(u_{t-1}u'_{t-1}) + \beta Q_{t-1}$$

em que:

($\bar{Q}$) é a matriz de covariância incondicional de longo prazo dos resíduos padronizados.

(u_{t-1}) são os resíduos padronizados defasados;

(α) e (β) são parâmetros positivos que capturam respectivamente, a dinâmica de curto prazo e a persistência dos choques de correlação. A condição ($\alpha + \beta < 1$) garante a reversão da média e a estacionariedade do processo.

3.3. Testes preliminares e especificação da média

Para avaliar a estacionariedade das séries em nível, foram utilizados os testes de raiz unitária de Dickey–Fuller Aumentado (ADF) e KPSS. Adicionalmente, aplicaram-se o teste de Jarque–Bera, para verificar a hipótese de normalidade, e o teste de Ljung–Box, com o objetivo de identificar a presença de autocorrelação serial.

Em seguida, foi estimado o teste de cointegração de Johansen, com o objetivo de investigar a existência de relações de equilíbrio de longo prazo entre as variáveis. Uma vez identificada a presença de vetores de cointegração, procedeu-se à estimação de um Modelo de Correção de Erros Vetorial (VECM).

O VECM é uma extensão do modelo VAR aplicada a séries não estacionárias cointegradas, permitindo decompor a dinâmica do sistema em dois componentes: o ajuste de longo prazo, capturado pelo termo de correção de erro (Error Correction Term – ECT), e os efeitos de curto prazo, representados pelas variáveis em diferença. A inclusão do ECT garante que o modelo preserve a relação de equilíbrio de longo prazo entre as séries, a qual seria perdida na estimação de um VAR em diferenças.

Para modelar a dinâmica das médias, visando capturar a possível dependência temporal nas séries de retornos, foram estimados modelos ARIMA(p,d,q) para as equações da média, com base em critérios de informação AIC e BIC, permitindo captar possíveis efeitos de memória de curto prazo presente nas séries. Após a especificação das equações da média, aplicou-se o teste ARCH-LM de Engle para verificar a presença de heterocedasticidade condicional (efeito ARCH) nos resíduos padronizados. A detecção desse efeito justifica a utilização de modelos GARCH multivariados na modelagem da volatilidade.

3.4. Dados

O período de análise compreende junho de 2014 a outubro de 2025, sendo definido pela disponibilidade dos dados de preços do leite. Diferentemente da frequência mensal mais utilizada, foram utilizados dados quinzenais referentes ao mercado spot que é o preço do leite resfriado negociado entre os laticínios e que serve como *proxy* para o preço pago ao produtor.

Os preços diários da soja e do milho referem-se aos contratos futuros de fechamento negociados na B3 (Brasil, Bolsa, Balcão) cotados em reais a saca de 60kg. Para compatibilizar as séries, os dados de milho e soja foram agregados em médias quinzenais, de modo a manter a periodicidade com os dados do leite. A escolha da frequência temporal quinzenal decorre da limitação de disponibilidade de dados diários do leite. Assim, o uso de uma frequência menor oferece uma análise ampla dos possíveis inter-relacionamentos entre os mercados no curto e no longo prazo, fatores que podem diferir de acordo com o intervalo de tempo considerado.

3.5. Transformação das variáveis

Para a análise das séries de leite, milho e soja, foram utilizados preços em logaritmos e retornos logarítmicos. Os preços em log foram utilizados nos modelos de cointegração e VECM, permitindo

investigar relações de longo prazo entre as variáveis, suavizar as oscilações e reduzir a escala dos valores. A partir dos preços em log, os retornos logarítmicos foram estimados pela diferença logarítmica entre períodos consecutivos, dada por:

$$r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}),$$

aproximando a variação percentual dos preços. Os retornos logarítmicos foram usados nos modelos de volatilidade (GARCH, DCC e BEKK), pois contribuem para a obtenção de séries estacionárias, permitindo analisar dinâmicas de curto prazo, autocorrelações instantâneas e padrões de volatilidade (clusters).

4. Resultados

Na Tabela 1 é apresentado a estatística descritiva das séries históricas do leite, milho e soja.

Tabela 1 – Estatísticas descritivas das séries de preços de leite, milho e soja

Série	Mínimo	Q1	Mediana	Média	DP	Q3	Máximo	CV(%)
Leite	0,7530	1,2513	1,7540	1,9124	0,7535	2,5045	4,8730	39,40
Milho	22,7750	32,9832	53,7605	61,7116	33,1900	74,2558	139,2490	53,78
Soja	13,6467	18,9804	21,5878	21,7919	4,4634	24,1282	32,3891	20,49

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de variação.

Como a média é influenciada pelos valores extremos da amostra, e a série do leite apresenta mínimo e máximo bastante discrepantes, a mediana mostra-se uma medida mais adequada para a análise, especialmente diante da assimetria observada nos dados. Como descrito anteriormente, o preço do leite corresponde ao mercado spot, utilizado como *proxy* para o preço pago ao produtor no Brasil, onde os testes realizados indicaram alta correlação (0,973) entre os dois preços (spot e produtor), o que justifica o uso do spot na análise de preços.

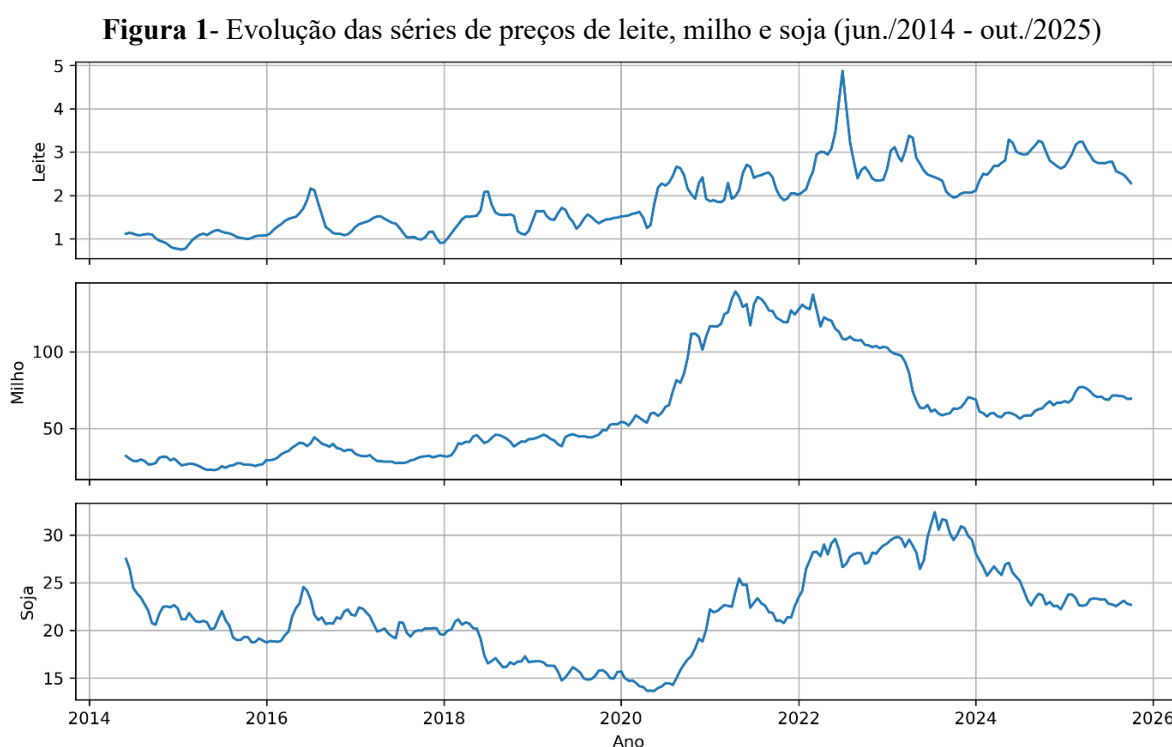
Nos resultados apresentados na Tabela 1, a mediana, como posição central, revela que o preço spot gira em torno de R\$ 1,75/L, enquanto que 75% dos valores (3º quartil) são de, no máximo, R\$ 2,50/L, ou seja, apenas 25% dos preços ultrapassam esse valor. Esse comportamento evidencia a variabilidade nos preços do leite spot que reflete nos preços pagos ao produtor no Brasil.

Para a série do milho, observa-se uma diferença mais acentuada entre a média (61,71) e a mediana (53,76), indicando assimetria, possivelmente causada por valores extremos elevados. A amplitude dos dados é bastante elevada, variando de 22,77 a 139,25, e o desvio-padrão de 33,19 reforça a alta variabilidade da série.

Já a série da soja apresenta média (21,79) e mediana (21,59) bastante próximas, sugerindo uma distribuição mais simétrica dos dados. A amplitude é relativamente menor em comparação ao milho, variando de 13,65 a 32,39, e o desvio-padrão de 4,46 indica menor variabilidade, indicando maior estabilidade nos preços da soja ao longo do período analisado.

De forma geral, os resultados indicam que a série do milho apresenta maior instabilidade e dispersão, o que é evidenciado pelo seu elevado coeficiente de variação (53,79%), enquanto a soja demonstra comportamento mais estável e previsível com a menor dispersão relativa (20,49%). A série do leite, por sua vez, apresenta características intermediárias, com variabilidade moderada como evidenciado em um coeficiente de variação (39,40%).

A Figura 1 mostra a evolução das séries de preços das variáveis analisadas, com comportamentos relativamente mais estáveis, com baixas oscilações, antes do período pré-pandêmico 2020 da COVID-19, refletindo como choques podem alterar a dinâmica de preços dos mercados alterando os padrões de comportamento dos preços e aumentando a variabilidade.



Fonte: MilkPoint Mercado e B3.

Diante da presença de variabilidade nas séries, devido a presença de picos ao longo do período analisado, com o objetivo de estabilizar a variância e facilitar a comparação entre as variáveis, os preços foram transformados em logaritmos para análise de correlação e volatilidade. A Tabela 2 apresenta a análise da correlação entre os mercados, tanto para os

preços em logaritmo quanto para os retornos logarítmicos.

Observa-se que, ao analisar os retornos em log, o preço do leite não apresenta correlação significativa com os mercados de milho e soja, indicando que as variações percentuais de curto prazo não apresentam movimentação conjunta com essas commodities.

No entanto, ao analisar a correlação entre os preços em log, nota-se que o leite apresenta uma relação mais forte com o milho, evidenciado pelo elevado coeficiente de correlação (0,798), sugerindo uma associação de longo prazo. Resultado coerente com Cristo-Diniz, Neto e Tavares (2022), que identificaram essa forte relação entre o preço do leite e o milho. Isso sugere uma possível co-movimentação entre os três mercados, indicando que o leite tende a se ajustar, ao longo do tempo, aos choques nos mercados das commodities, sobretudo aos choques no preço do milho.

Tabela 2 – Correlação entre preços em logaritmo e retornos logarítmicos

Par de séries	Preço em log	Retorno em log
Leite × Milho	0,798	−0,096
Leite × Soja	0,464	−0,070
Milho × Soja	0,367	0,313

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para analisar formalmente essa relação, foi estimado o Teste de cointegração de Johansen, procedimento econométrico utilizado para verificar a existência de relações de equilíbrio de longo prazo entre séries temporais. Para a aplicação do teste, avaliou-se a estacionariedade das séries, uma vez que todas devem ser da mesma ordem, preferencialmente I(1), para evitar resultados espúrios.

Foram aplicados os testes ADF e KPS nas séries em nível. A Tabela 3 apresenta os resultados, que indicaram presença de raiz unitária para as séries de milho e soja. A série do leite apresentou resultados divergentes: o teste ADF rejeitou a hipótese nula de raiz unitária, enquanto o KPSS rejeitou a hipótese de estacionariedade. No entanto, a análise gráfica (correlograma) da série do leite, apresenta comportamento de não estacionariedade, exibindo um decaimento lento e contínuo das autocorrelações.

Tabela 3 – Testes de raiz unitária (ADF e KPSS) para séries em nível

Série	ADF (τ)	Valor crítico 5% (ADF)	KPSS (nível)	p-valor (KPSS)
Leite	−5,892	−3,42	3,693	0,01
Milho	−0,982	−3,42	2,463	0,01
Soja	−2,406	−3,42	1,625	0,01

Fonte: Elaborada pelos autores.

Em seguida, foi estimado um VAR em nível com o objetivo de determinar o número ótimo de defasagens do sistema, utilizando os critérios de informação Akaike (AIC), Hannan-Quinn (HQ), Schwarz (SC) e Final Prediction Error (FPE). Os resultados indicaram três defasagens pelos critérios AIC, HQ e FPE, e duas pelo SC. Optou-se pela utilização de um VAR(3). Dessa forma, o teste de cointegração de Johansen foi estimado com três defasagens ($k = 3$), implicando na especificação de um VECM com duas defasagens nas variáveis em diferença.

A Tabela 4, apresenta os resultados dos testes do Traço e do Máximo Autovalor de Johansen. Os testes sugerem a existência de uma relação de longo prazo entre as séries de preços. Pelo teste do traço, rejeita-se a hipótese nula de ausência de cointegração ($r = 0$), não se rejeitando a hipótese de, no máximo, um vetor de cointegração ($r \leq 1$) ao nível de significância de 5%, indicando a presença de um vetor de cointegração.

Por outro lado, o teste do máximo autovalor não rejeita a hipótese nula de ausência de vetores de cointegração ao nível de 5%, mas rejeita a 10%, apresentando uma estatística relativamente próxima do valor crítico. Diante do conflito entre os testes, o teste do traço mostra-se mais adequado, por apresentar maior poder em amostras pequenas, como no presente estudo.

Assim, os resultados apontam que os preços do leite, do milho e da soja apresentam evidências de uma relação de equilíbrio de longo prazo, sugerindo que essas variáveis tendem a se mover conjuntamente ao longo do tempo.

Tabela 4 – Resultados do Teste de Cointegração de Johansen (Traço e Máximo Autovalor)

Teste	Nº de vetores	Estatística	Valores críticos		
			10%	5%	1%
Traço	≤ 2	6,28	7,52	9,24	12,97
	≤ 1	18,11	17,85	19,96	24,60
	$= 0$	40,09	32,00	34,91	41,07
Autovalor	≤ 2	6,28	7,52	9,24	12,97
	≤ 1	11,83	13,75	15,67	20,20
	$= 0$	21,98	19,77	22,00	26,81

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: A rejeição da hipótese nula se dá quando a estatística do teste é maior que o valor crítico.

Diante da evidência de cointegração entre as séries, foi estimado um modelo VECM com o objetivo de analisar as relações de longo e curto prazo entre os preços do leite, milho e soja. Especificamente, foi considerada a equação apenas para o preço do leite como variável dependente, permitindo avaliar como essa variável reage aos desequilíbrios de longo prazo e às

variações de curto prazo das demais séries.

A Tabela 5 apresenta os coeficientes estimados do modelo para a equação do leite, incluindo o termo de correção de erro (ECT), que captura o ajuste ao equilíbrio de longo prazo, e os coeficientes das variáveis em diferença defasadas, que representam a dinâmica de curto prazo entre as variáveis

Os resultados do VECM para o preço do leite, indicam a existência de ajuste ao equilíbrio de longo prazo entre o preço do leite, do milho e da soja. O coeficiente do termo de correção de erro (ECT) para o leite (-0,0484) se mostrou significativo e negativo, sugerido que cerca de 4,84% do desequilíbrio de longo prazo é corrigido a cada período. Esse resultado evidencia que o leite não é exógeno, sofrendo influência dos choques nos preços do milho e da soja. Ou seja, observa-se que o preço do leite tende a se ajustar aos desequilíbrios provocados pelas variações nos preços dos insumos da ração.

No curto prazo, observam-se defasagens significativas em $\Delta\text{leite}(t - 1)$ e $\Delta\text{leite}(t - 2)$ para o leite, o que mostra que o preço do leite apresenta forte persistência em relação aos próprios choques passados. Além disso, na dinâmica de curto prazo entre leite, milho e soja, $\Delta\text{milho}(t - 1)$ também se mostrou significativo, sugerindo que variações no preço do milho influenciam temporariamente o preço do leite. Por outro lado, as defasagens da soja não se mostraram relevantes para o leite no curto prazo.

Tabela 5 – Coeficientes estimados do modelo VECM para a equação de preços do leite

Termo da equação	Coeficiente	Erro-padrão
ECT (ect1)	- 0,0484**	0,0151
$\Delta\text{Leite}(t-1)$	0,5661***	0,0601
$\Delta\text{Milho}(t-1)$	0,3052**	0,0951
$\Delta\text{Soja}(t-1)$	0,0942	0,1369
$\Delta\text{Leite}(t-2)$	- 0,2910***	0,0578
$\Delta\text{Milho}(t-2)$	0,0175	0,0970
$\Delta\text{Soja}(t-2)$	0,0820	0,1363

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: Significância estatística *** 1%; ** 5%; * 10%.

Esses resultados indicam que, embora o leite se ajuste lentamente aos desequilíbrios de longo prazo com os insumos, as principais influências de variações de preço de curto prazo, vêm do próprio preço do leite e do preço do milho.

Para a estimação dos modelos de volatilidade, foram ajustados modelos ARIMA para cada série, com o objetivo de modelar a dinâmica da média e obter resíduos não

autocorrelacionados. Esses resíduos foram utilizados na etapa seguinte na modelagem da variância condicional. A adequação dos modelos foi verificada por meio da análise dos resíduos, que não apresentaram autocorrelação significativa.

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados dos testes de Ljung-Box aplicados aos resíduos dos modelos ARIMA. Os testes foram realizados considerando o número de defasagens adequado a cada série, indicado pelos graus de liberdade (df), definidos com base na estrutura de cada modelo e na análise dos correlogramas dos resíduos. Os resultados indicam que a autocorrelação serial foi adequadamente eliminada, não se rejeitando a hipótese nula de ausência de autocorrelação para todas as séries analisadas ao nível de significância de 5%.

Por outro lado, os testes ARCH-LM também na Tabela 6 rejeitam a hipótese nula de homocedasticidade condicional ao nível de significância de 5% para o leite, o milho e a soja, indicando a presença de efeitos ARCH nos resíduos. Esses resultados evidenciam a existência de volatilidade condicional, justificando, assim, a especificação de modelos GARCH univariados.

Tabela 6 – Testes de diagnóstico dos modelos ARIMA (Equação da Média)

Série	Modelo	Ljung-Box (Q)	df (lags)	p-valor	ARCH-LM (Q)	df (lags)	p-valor
Leite	(1,0,9)	4,6837	3	0,1965	34,176	12	0,0006
Milho	(2,0,3)	8,3270	5	0,1391	6,3101	2	0,0426
Soja	(1,0,1)	8,5228	8	0,3841	3,9166	1	0,0478

Fonte: Elaborada pelos autores.

Foram aplicados os testes ARCH-LM aos resíduos padronizados dos modelos GARCH estimados, não sendo rejeitada a hipótese nula de ausência de heterocedasticidade condicional ao nível de significância de 5%. Os resultados apresentados na Tabela 7 indicam que os modelos GARCH foram capazes de capturar adequadamente a dinâmica da volatilidade das séries, sugerindo uma boa especificação das equações de variância para a estimação dos modelos multivariados DCC e BEKK.

Tabela 7 – Teste ARCH-LM nos resíduos padronizados dos modelos GARCH

Série	Qui-quadrado	df	p-valor
Leite	8,6608	12	0,7316
Soja	5,8371	12	0,9241
Milho	10,0850	12	0,6085

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os resultados do modelo DCC-GARCH (1,1), apresentados na Tabela 8, indicam que o mercado do leite possui forte persistência na volatilidade, dado que a soma dos parâmetros $\alpha + \beta = 0,999$, o que evidencia que choques na volatilidade do preço do leite apresentam efeitos duradouros ao longo do tempo. Já, os mercados de milho e soja apresentam persistência moderada, sugerindo que esses mercados absorvem os choques de forma mais rápida.

No que se refere à dinâmica das correlações condicionais, observa-se que o parâmetro $dcca1$ do modelo conjunto é estatisticamente significativo, indicando que choques recentes afetam a correlação entre os mercados de soja, milho e leite. Esse resultado evidencia a presença de spillovers de volatilidade de curto prazo entre as três variáveis, mesmo diante de uma baixa persistência das correlações condicionais, conforme indicado pela não significância estatística do parâmetro $dccb1$.

Esses resultados indicam que choques nos preços das commodities de milho e soja, importantes insumos para a produção de ração, podem transbordar volatilidade para o mercado do leite. Tal evidência reforça a interdependência existente entre o mercado do leite e essas commodities no curto prazo, especialmente no caso da relação entre o leite e o milho.

Tabela 8 – Resultados do modelo DCC-GARCH(1,1)

Parâmetros GARCH	LEITE	MILHO	SOJA
ω	18,4635*** (6,5697)	6,1693 (5,4294)	2,5275* (1,2977)
α_1	0,7977*** (0,2567)	0,2050* (0,1149)	0,1758** (0,0782)
β_1	0,2013** (0,0909)	0,4927 (0,3320)	0,5674*** (0,1459)
shape	3,7824*** (0,8227)	8,4706** (3,6539)	10,5092** (5,3345)
Parâmetros DCC			
$dcca_1$	$dcc\beta_1$	mshape	
0,1215*** (0,0452)	0,1018 (0,3986)	8,8080*** (2,3240)	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Nota: significância estatística *** 1%; ** 5%; * 10%. Erro-padrão entre parênteses. ω representa o termo constante da variância condicional. α_1 e β_1 representam os parâmetros de curto e longo prazo da volatilidade condicional. $dcca_1$ e $dcc\beta_1$ capturam a dinâmica das correlações condicionais entre os mercados. shape e mshape indicam caudas pesadas, justificando o uso da distribuição t-Student.

Na Tabela 9, apresentam-se as correlações dinâmicas estimadas pelo modelo DCC-GARCH entre o mercado de leite e as commodities milho e soja. Observa-se que as correlações médias do leite com esses dois grãos são próximas de zero e negativas. As correlações apresentam amplitude considerável, variando entre valores negativos e positivos, indicando que a relação entre esses mercados pode assumir diferentes magnitudes ao longo do período

analisado, sem que se possa inferir sua dinâmica temporal.

Tabela 9 - Correlações condicionais dinâmicas (DCC) entre o leite e as commodities

Mercado	Correlação média	Máxima	Mínima
Leite × Soja	-0,043	0,290	-0,559
Leite × Milho	-0,085	0,255	-0,496

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 10, encontra-se os parâmetros estimados dos modelos BEKK simétrico e assimétrico, onde os subscritos 1, 2 e 3, correspondem, respectivamente aos mercados do leite, milho e soja. Observa-se que, em ambos os modelos, o mercado de leite apresenta elevada persistência da volatilidade, evidenciada pelo coeficiente $G_{1,1}$, que assume valores próximos de 0,92 no modelo simétrico e 0,91 no assimétrico, ambos estatisticamente significativos. Esse resultado indica que choques na volatilidade do leite tendem a se prolongar ao longo do tempo, refletindo memória longa no comportamento do mercado.

Ao analisar os parâmetros associados ao transbordamento de choques de curto prazo, capturados pela matriz A do modelo simétrico, verifica-se que os coeficientes $A_{1,2}$ e $A_{1,3}$ não são estatisticamente significativos. Esse resultado indica a ausência de spillovers de volatilidade dos mercados de soja e milho, respectivamente, para o mercado do leite.

De forma complementar, os parâmetros relacionados à persistência desses transbordamentos, representados pelos coeficientes $G_{1,2}$ e $G_{1,3}$ da matriz G , também não se mostraram estatisticamente significativos. Esses resultados reforça a inexistência de transmissão persistente de volatilidade dos mercados de soja e milho para o mercado de leite no modelo simétrico.

No que se refere ao modelo BEKK assimétrico, a matriz B , responsável por capturar os efeitos assimétricos associados a choques negativos (más notícias), apresenta coeficientes associados à transmissão de volatilidade de choques adversos dos mercados de soja e milho para o leite, não são estatisticamente significativos. Assim, não há evidência de transbordamentos assimétricos de volatilidade desses mercados para o mercado do leite.

Tabela 10 – Resultados dos Modelos BEKK-GARCH (simétrico e assimétrico)

Parâmetro	Simétrico	Assimétrico
A(1,1)	0,3256 (0,2212)	0,2962 (0,3015)
A(1,2)	0,0721 (0,1099)	0,0387 (0,1037)

A(1,3)	0,0105 (0,3633)	0,0165 (0,1062)
A(2,2)	0,2872 (0,8518)	0,3025 (0,3248)
A(3,3)	0,2560 (0,9781)	0,2524 (0,4516)
B(1,2)	—	0,2121 (0,1675)
B(1,3)	—	−0,0150 (0,1783)
B(2,2)	—	0,1108 (0,2264)
B(3,3)	—	−0,1698 (0,6684)
G(1,1)	0,9207*** (0,0392)	0,9055*** (0,0104)
G(1,2)	−0,0626 (0,0847)	−0,0460 (0,0918)
G(1,3)	−0,0538 (0,3014)	−0,0478 (0,1630)
G(2,2)	0,8301*** (0,2269)	0,8417*** (0,1930)
G(3,3)	0,8567 (0,7753)	0,8900** (0,4242)
C(1,1)	1,3636 (1,5222)	1,7209 (0,5963)
C(2,1)	2,1516*** (0,7357)	2,2743 (1,3789)
C(2,2)	0,8378** (0,4192)	0,2161 (0,8899)
C(3,3)	0,1056 (0,3088)	0,3439 (1,2319)
Log-verossimilhança	−2384,4320	−2378,2420
AIC	4816,8640	4822,4830
BIC	4903,3150	4941,3530
Modelo estacionário	Sim	Sim

Fonte: Elaborada pelos autores.

Notas: Significância estatística *** 1%; ** 5%; * 10%. Erro-padrão entre parênteses. O índice linha é o mercado receptor e o índice coluna o mercado transmissor de volatilidade.

No geral, os resultados indicam que o mercado de leite apresenta elevada persistência em sua própria volatilidade, como mostrado pelo coeficiente $G_{1,1}$. Não há evidência estatística de transmissão direta de volatilidade dos mercados de milho e soja para o leite, nem de transmissão persistente de choques passados desses mercados. Também não se verifica transmissão assimétrica, ou seja, choques negativos nos mercados de milho e soja não afetam

de forma relevante a volatilidade do leite.

Tabela 11 – Diagnóstico dos Resíduos dos Modelos BEKK Simétrico e Assimétrico

Modelo	Série	JB	gl	p-valor (JB)	Portmanteau (5, 10 e 15 lags)
BEKK simétrico	Leite	47,177	2	0,0000	1,000
	Soja	13,190	2	0,0014	1,000
	Milho	8,469	2	0,0145	1,000
BEKK assimétrico	Leite	30,621	2	0,0000	1,000
	Soja	13,281	2	0,0013	1,000
	Milho	7,022	2	0,0298	1,000

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na Tabela 11, apresentam-se os resultados dos testes de diagnóstico dos resíduos dos modelos BEKK simétrico e assimétrico. Os testes de Jarque–Bera rejeitam a hipótese nula de normalidade dos resíduos para as séries de leite, milho e soja, indicando a presença de caudas pesadas. Essa característica sugere que os erros-padrão dos coeficientes foram calculados de forma robusta, garantindo a validade das inferências estatísticas. Por outro lado, os testes de Portmanteau não indicam autocorrelação serial nos resíduos, confirmando a adequada especificação da dinâmica condicional dos modelos estimados.

5. Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo analisar a dinâmica da volatilidade nos mercados de milho e soja e investigar se choques nessas commodities são transmitidos ao mercado do leite cru pago ao produtor no Brasil, considerando a elevada dependência do setor leiteiro em relação a esses insumos na nutrição do rebanho.

Os resultados indicam que o preço do leite se apresenta volátil e altamente persistente, porém com uma variabilidade relativamente mais estável quando comparada às commodities analisadas. Essa característica mostra a instabilidade do mercado associada ao preço do leite. Observou-se que o preço do leite possui correlação média baixa, porém mais intensa e variável com o milho ao longo do tempo do que com a soja, sendo especialmente influenciado por variações passadas no preço desse grão. Diante de uma relação de longo prazo, evidenciada pela cointegração entre os três mercados, reforça a existência de interdependência estrutural entre leite, milho e soja.

No que se refere à dinâmica de ajuste, os resultados do modelo indicam que o mercado de leite se configura como o principal responsável pelo ajuste aos desequilíbrios de longo prazo no sistema, apresentando um comportamento mais endógeno do que em relação aos mercados de milho e soja. De modo geral, não se observou evidência robusta de transbordamento direto

de volatilidade das commodities para o preço do leite. Ainda assim, a dependência do setor leiteiro em relação a essas commodities manifesta-se por meio da correlação existente e da relação de longo prazo entre os mercados.

Embora o preço do leite não seja diretamente afetado pelo transbordamento da volatilidade dos preços do milho e da soja, isso não reduz a importância desses insumos na formulação de custos do setor. Mesmo com correlações relativamente baixas no curto prazo, o setor leiteiro permanece fortemente impactado pelos custos associados à alimentação do rebanho no Brasil. Nesse sentido, os resultados obtidos oferecem implicações relevantes para a formulação e o aprimoramento de políticas públicas e estratégias de gestão que busquem mitigar e compreender a instabilidade enfrentada pelos produtores de leite, além de contribuir para a compreensão do processo de formação de preços no setor e incentivar o desenvolvimento de estudos futuros sobre o tema.

Referências

AIT SIDHOUM, Amer; SERRA, Teresa. Volatility Spillovers in the Spanish Food Marketing Chain: The Case of Tomato. **Agribusiness**, v. 32, n. 1, p. 45–63, 2016.

ALVES, Lucilio Rogerio Aparecido *et al.* Estrutura da Cadeia Produtiva e Transmissão de Preços Da Soja entre o Produtor e o Mercado Varejista no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, v. 20, n. 58, p. e12723, 2022.

ANDERSON, Andrew E.; MITCHELL, James L.; LUKE, Jaime R. Feed Prices, Substitution Patterns, and Technical Efficiency in Feedlot Cattle. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 58, n. 1, p. 17–37, 2026.

AVILEIS, Felipe G.; MALLORY, Mindy L. The impact of Brazil on global grain dynamics: A study on cross-market volatility spillovers. **Agricultural Economics**, v. 53, n. 2, p. 231–245, 2022.

BAQUEDANO, Felix G.; LIEFERT, William M. Market integration and price transmission in consumer markets of developing countries. **Food Policy**, v. 44, p. 103–114, 2014.

BEN ABDALLAH, Marwa; FEKETE FARKAS, Maria; LAKNER, Zoltan. Analysis of meat price volatility and volatility spillovers in Finland. **Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika)**, v. 66, n. 2, p. 84–91, 2020.

BRASIL, Ministério da Agricultura e Pecuária. **Agronegócio brasileiro fecha 2025 com recorde em exportações de US\$ 169 bilhões e superávit de US\$ 149,07 bilhões**. 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/agronegocio-brasileiro-fecha-2025-com-recorde-em-exportacoes-de-us-169-bilhoes-e-superavit-de-us-149-07-bilhoes>. Acesso em: 18 mar. 2026.

CAPITANI, Daniel Henrique Dario; GAIO, Luiz Eduardo. Dynamic connectedness and volatility spillover in the Brazilian agricultural market in the context of the Covid-19 pandemic. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 54, n. 4, p. e53575446, 2024.

CASTRO, Millades Carvalho; DA SILVA NETO, Waldemiro Alcântara. RISCO NA VARIAÇÃO DE PREÇOS AGROPECUÁRIOS: EVIDÊNCIAS EMPÍRICAS PARA OS

MERCADOS DE SOJA, MILHO E BOI GORDO. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 49, n. 1, p. 83–97, 2018.

CRISTO-DINIZ, Poliana Cristina De Oliveira; NETO, Edilberto Batista Mendes; TAVARES, Marcelo. Produção do leite: a relação entre os fatores determinantes do custo de produção e os preços pagos ao produtor. **Revista de Gestão e Secretariado**, v. 13, n. 3, p. 861–880, 2022.

CRUZ, Jose Cesar *et al.* The effect of Brazilian corn and soybean crop expansion on price and volatility transmission. 2016. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/236127>. Acesso em: 9 mar. 2026.

DIEBOLD, Francis X.; YILMAZ, Kamil. Measuring Financial Asset Return and Volatility Spillovers, with Application to Global Equity Markets. **The Economic Journal**, v. 119, n. 534, p. 158–171, 2009.

EMBRAPA GADO DE LEITE. **Pecuária de leite vive incertezas quanto ao preço de insumos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/63586475/pecuaria-de-leite-vive-incertezas-quanto-ao-preco-de-insumos>. Acesso em: 18 mar. 2026.

ENGLE, Robert. Dynamic Conditional Correlation: A Simple Class of Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity Models. **Journal of Business & Economic Statistics**, v. 20, n. 3, p. 339–350, 2002.

ENGLE, Robert F.; KRONER, Kenneth F. Multivariate Simultaneous Generalized ARCH. **Econometric Theory**, v. 11, n. 1, p. 122–150, 1995.

FRIMPONG, Siaw *et al.* Can Global Economic Policy Uncertainty Drive the Interdependence of Agricultural Commodity Prices? Evidence from Partial Wavelet Coherence Analysis. **Complexity**, v. 2021, n. 1, p. 8848424, 2021.

GUO, Jin; TANAKA, Tetsuji. Dynamic Transmissions and Volatility Spillovers between Global Price and U.S. Producer Price in Agricultural Markets. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 13, n. 4, p. 83, 2020.

LIBERA, Affonso Amaral Dalla; WAQUIL, Paulo Dabdab. Transmissão de preços entre mercados de soja. **Revista de Política Agrícola**, v. 18, n. 3, p. 58–69, 2009.

MONTEIRO, Markus Arlindo; JAMMER, Brent Damian. Price Dynamics in South African Agriculture: A Study of Cross-Commodity Spillovers between Grain and Livestock Markets. **Sustainability**, v. 16, n. 8, p. 3136, 2024.

OLIPRA, Jakub. Price transmission in (de)regulated agricultural markets. **Agrekon**, v. 59, n. 4, p. 412–425, 2020.

SIMÕES, Andre Rozemberg Peixoto; NICHOLSON, Charles Frederick; CARVALHO, Glauco Rodrigues. Components of farm milk price behavior in Brazil from 2005 to 2020. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 52, p. e20220116, 2023.

VON CRAMON-TAUBADEL, Stephan; GOODWIN, Barry K. Price Transmission in Agricultural Markets. **Annual Review of Resource Economics**, v. 13, n. 1, p. 65–84, 2021.