

Volatilidade de preços e interdependência de mercado no algodão brasileiro: uma análise DCC-MGARCH dos preços ao produtor.

Price Volatility and Market Interdependence in Brazilian Cotton: A DCC-MGARCH Analysis of Producer Prices

Yasmin Mara dos Santos Vieira

Mestra em Modelagens e Métodos Quantitativos – UFC

Tiago Sayão Rosa

Professor Adjunto no Curso de Ciências Econômicas da UFDPar

José Armando de Sousa Neres

Mestrando em Economia Rural (PPGER) - UFC

GT 01 – Mercados agrícolas e comércio exterior

Resumo: O artigo tem como objetivo modelar a volatilidade dos preços pagos ao produtor de algodão em pluma e analisar a evolução das correlações condicionais dinâmicas entre os principais estados produtores do Brasil (Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso) no período de 2014 a 2025. O método utilizado baseia-se em modelos econométricos da família GARCH multivariados, com destaque para o modelo DCC-MGARCH. O estudo demonstra que a concentração geográfica da produção de algodão impulsiona a dinâmica observada nas correlações de preços entre os estados. Quase 96,7% da produção de algodão do Brasil está concentrada nas regiões Centro-Oeste ($\approx 75\%$) e Nordeste ($\approx 21\%$), com Mato Grosso, Goiás e Mato Grosso Sul respondendo pela maior parte da parcela Centro-Oeste, enquanto a Bahia domina a parcela Nordeste. Como Goiás e Mato Grosso são os dois maiores produtores na mesma macrorregião e compartilham estruturas de cadeia de suprimentos e de mercado semelhantes, suas correlações condicionais permanecem consistentemente altas. A utilização do modelo DCC-MGARCH mostrou-se mais apropriada que modelos com correlação constante. Os resultados têm implicações para gestão de risco, formação de preços e estratégias de comercialização, embora o estudo seja limitado pela ausência de variáveis externas e pela análise restrita a alguns estados.

Palavras-chave: volatilidade de preços, DCC-MGARCH, mercado de algodão, interdependência regional.

Abstract: The article aims to model the volatility of producer prices of cotton lint and to analyze the evolution of dynamic conditional correlations among the main producing states in Brazil (Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, and Mato Grosso) over the period from 2014 to 2025. The methodology is based on multivariate GARCH family econometric models, with emphasis on the DCC-MGARCH specification. The study shows that the geographic concentration of cotton production drives the dynamics observed in price correlations across states. Approximately 96.7% of Brazil's cotton production is concentrated in the Central-West ($\approx 75\%$) and Northeast ($\approx 21\%$) regions, with Mato Grosso, Goiás, and Mato Grosso do Sul accounting for most of the Central-West share, while Bahia dominates the Northeast. As Goiás and Mato Grosso are the two largest producers within the same macro-region and share similar supply chain and market structures, their conditional correlations remain consistently high. The DCC-MGARCH model proved to be more appropriate than constant-correlation models. The results have important implications for risk management, price formation, and marketing strategies, although the study is limited by the absence of external variables and the restriction to a subset of producing states.

Keywords: rice volatility, DCC-MGARCH, cotton market, regional interdependence.

1 Introdução

O algodão é uma fibra natural e é a principal fibra vegetal utilizada pela indústria têxtil. Em 2024, o algodão ocupava a quinta posição entre os produtos mais importantes da agropecuária brasileira, correspondendo a 2,64% do Valor Bruto da Produção (VBP), que foi estimado em R\$ 1,29 trilhão. A agricultura contribuiu com R\$ 873 milhões desse total, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (CNA,2025). De

acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil foi o terceiro maior produtor mundial de algodão em 2024, com uma produção de 3,7 milhões de toneladas anuais, ficando atrás apenas da China e da Índia, que ocupam o primeiro e o segundo lugares, respectivamente (FAS/USDA). Juntos, esses três países são responsáveis por aproximadamente 60% da produção global de algodão.

No Brasil, conforme a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra 2023/2024 registrou uma produção de 3,654 milhões de toneladas de algodão em pluma, sendo a região Centro-Oeste responsável por 75,7% desse total, seguida pela região Nordeste, com 21,2% (CONAB, 2025). Embora a região Centro-Oeste concentre 76% da área cultivada, houve uma expansão da fronteira algoeira no Nordeste, especialmente nas áreas de Cerrado da Bahia, Piauí e Maranhão, impulsionada por produtores migrantes das regiões Sul e Sudeste. Além disso, o semiárido nordestino também apresenta produção em menor escala, com destaque para o Sertão do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e o sul da Bahia.

Apesar dessa relevância, o mercado do algodão caracteriza-se por forte volatilidade de preços, resultante de múltiplos fatores: oscilações cambiais, custos de insumos, choques climáticos, mudanças na demanda global e políticas de comércio internacional afetam diretamente o comportamento da *commodity*. Essa instabilidade tem implicações importantes para produtores, indústrias e exportadores, que enfrentam desafios adicionais na gestão de riscos e na definição de estratégias de comercialização.

Grande parte da literatura sobre integração de mercados agrícolas utiliza modelos de cointegração, como o VEC, que capturam relações de equilíbrio de longo prazo. Entretanto, tais abordagens não consideram a heterocedasticidade condicional e a volatilidade dinâmica, aspectos típicos de séries de commodities. Para contornar essas limitações, os modelos da família GARCH multivariados permitem analisar simultaneamente a volatilidade condicional e a interdependência entre mercados. Entre eles, o DCC-MGARCH (Engle, 2002) se destaca por possibilitar correlações variáveis ao longo do tempo, oferecendo uma representação mais realista da transmissão de choques.

Diante desse cenário, torna-se essencial compreender a dinâmica dos preços do algodão, bem como a persistência e os determinantes de sua volatilidade. A evolução dos preços pagos ao produtor nesses mercados pode indicar a presença de relações dinâmicas de dependência e volatilidade, cujo entendimento exige o uso de modelos econométricos capazes de capturar simultaneamente a persistência dos choques e as correlações condicionais entre estados.

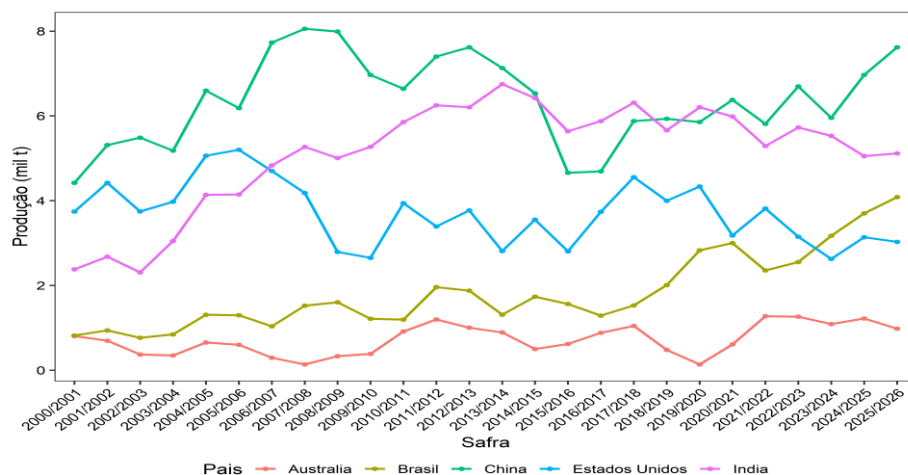
Assim, o objetivo deste artigo é modelar a volatilidade dos preços pagos ao produtor de algodão em pluma nos estados da Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, bem como

investigar a evolução das correlações condicionais dinâmicas entre esses mercados regionais. Para tanto, emprega-se o modelo DCC-MGARCH, estimado sob as especificações de distribuição, normal multivariada (mvnorm) e t de Student multivariada (mvt), de modo a avaliar a persistência da volatilidade, a transmissão de choques e o grau de interdependência entre os estados ao longo do período de 2014 a 2025. A comparação entre essas distribuições permite verificar se os resultados diferem em função da presença de caudas pesadas, frequentemente observadas em séries de preços.

2 Cotonicultura

O algodão tem se tornado uma das mais importantes culturas de fibras no mundo, os dados apresentados pelo FAS/USDA (2025), a safra global de 2024/25 totalizou 25,8 milhões de toneladas, representando um aumento de 5,26% em relação à safra 2023/24. Apesar de ser produzido por diversos países, o algodão é uma das commodities agrícolas com maior concentração de mercado quando se trata da sua oferta: apenas cinco países são responsáveis por cerca de 77,8% da produção mundial. Dentre eles, destacam-se a China (27%), Índia (19,6%), Brasil (14,3%) Estados Unidos (12,1%) e Austrália (4,7%).

Figura 1 - Evolução da Produção Mundial de Algodão nos Principais Países Produtores, em mil toneladas de 2000 a 2025



Fonte: Elaboração própria a partir de FAS/USDA (2026). *2025/2026: estimativa.

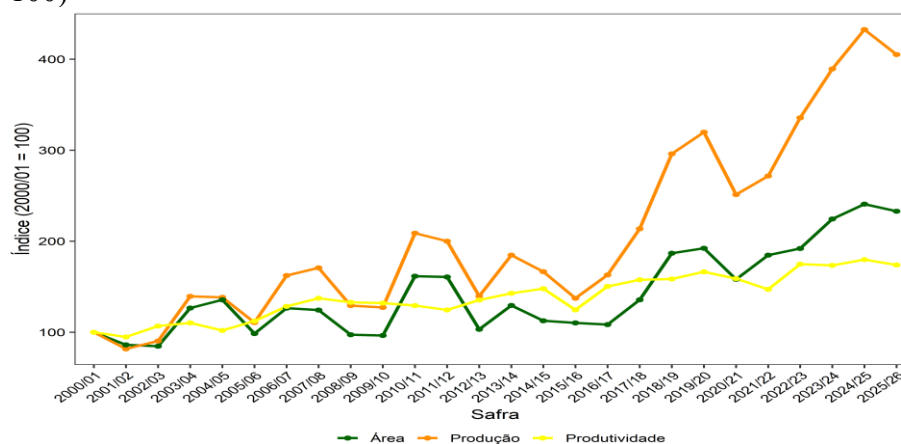
A China sobressai como principal ator do mercado algodoeiro, figurando ao mesmo tempo como maior produtor, consumidor e importador da fibra. Apesar da produção doméstica substancial, a produção não atende à demanda interna, o que leva a intervenções políticas que influenciam os mercados doméstico e internacional.

Em termos de comércio exterior, Brasil, Estados Unidos e Paquistão são os principais exportadores de algodão, abastecendo principalmente os mercados do Sudeste Asiático. Os subsídios governamentais influenciam significativamente esse comércio, causando distorções de preços e destacando a complexidade e a interdependência da dinâmica do mercado global de algodão. A partir da segunda metade da década de 1990, a cotonicultura no Brasil começou a seguir a trajetória de expansão do cultivo da soja no Cerrado, aproveitando a infraestrutura existente, bem como as condições naturais e geoeconômicas favoráveis da região. Esse avanço também foi impulsionado por políticas estaduais de incentivo fiscal, pela introdução de tecnologias modernas e pelo avanço da pesquisa biotecnológica, que desenvolveu cultivares mais adaptadas e resistentes ao ambiente do Cerrado (Barchet *et al.*, 2016).

A transformação produtiva da cadeia do agronegócio do algodão resultou em mudanças significativas no modelo tradicional de cotonicultura. Antes baseada na colheita manual e na venda direta do caroço de algodão pelos agricultores, a atividade passou por um processo de verticalização. Nesse novo arranjo, os produtores passaram a investir no beneficiamento da fibra, comercializando o algodão já beneficiado. Essa reestruturação representou um avanço na agregação de valor ao produto e uma maior integração entre as etapas de produção e comercialização dentro de uma mesma unidade produtiva (Alcantara *et al.*, 2023).

A Figura 2 apresenta a evolução dos índices de área, produção e produtividade, padronizados para a safra 2000/01. Nota-se que a trajetória da produção acompanha de perto as variações na área plantada, sugerindo que a expansão da base territorial é o principal motor de crescimento. A produtividade, por sua vez, manteve trajetória de crescimento mais gradual, reforçando que os ganhos tecnológicos e de manejo, embora relevantes, exerceram papel secundário frente à ampliação da área cultivada.

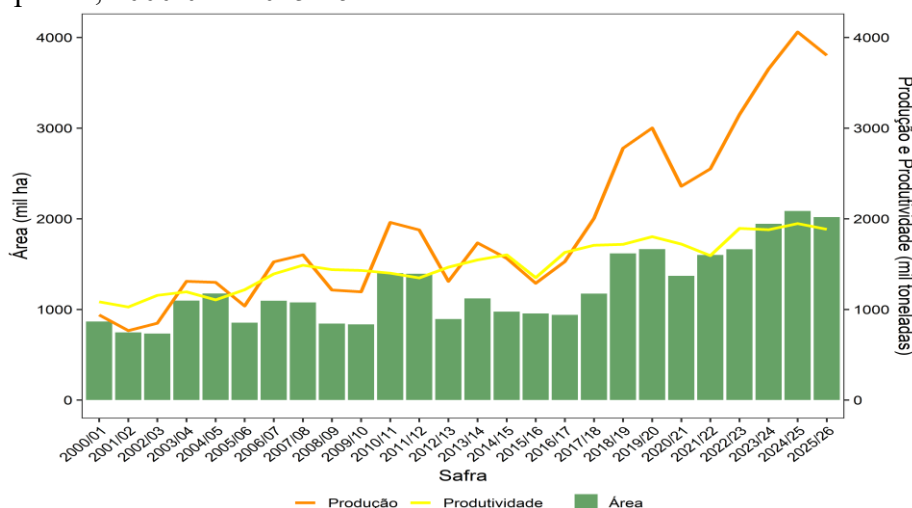
Figura 2 - Evolução dos índices de área, produção e produtividade do algodão em pluma (2000/01 = 100)



Fonte: Elaboração própria com os dados da Conab/Sistema Siagro (2026) *2025/2026: estimativa.

De forma complementar, a Figura 3 ilustra a evolução da área, produção e produtividade em valores absolutos de algodão no Brasil ao longo das duas últimas décadas. Observa-se que, durante todo o período, a produção apresentou oscilações, reflexo principalmente de mudanças políticas e econômicas que impactaram o setor. Tal dinâmica evidencia a capacidade de adaptação da indústria algodoeira brasileira às condições do mercado internacional. Nota-se ainda que as três variáveis analisadas (produtividade, área e produção) apresentam trajetórias semelhantes, reforçando o papel da área plantada como fator determinante na evolução da produção de algodão no país.

Figura 3 - Evolução da produção (mil toneladas), área (mil ha) e produtividade (kg/ha) do algodão em pluma, 2000/01 a 2025/26



Fonte: Elaboração própria com os dados da Conab/Sistema Siagro (2026) *2025/2026: estimativa.

Entre as safras de 2000/01 e 2011/12, a produção manteve-se relativamente estável, apresentando variações moderadas. A partir da safra 2012/13, entretanto, observa-se uma queda significativa, que perdurou até 2016/17. Posteriormente, o setor passou a registrar forte expansão, alcançando um pico na safra 2019/20, seguido de uma leve retração em 2020/21, porém recuperando-se em 2021/22. Após esses ciclos de ascensão e queda, a produção de algodão vem crescendo, e as estimativas da Conab indicam crescimento de 7,68% para a safra 2024/25.

Os quatro estados selecionados para esse estudo (MT, BA, MS e GO) estão entre os estados que possuem as maiores áreas plantadas, as maiores produções e as maiores produtividades. Os dados sobre essas três variáveis são apresentados na Tabela 1.

No que tange à distribuição regional do cultivo do algodão, observa-se uma forte concentração no Centro-Oeste e no Nordeste. Em 2025, a região Centro-Oeste respondeu por

aproximadamente 73% da área cultivada, enquanto o Nordeste concentrou 23,2%. As demais regiões do país (Norte, Sudeste e Sul), em conjunto, representaram apenas 3,7% da área produtiva. Quanto à produção, as duas principais macrorregiões (Centro-Oeste e Nordeste) somam cerca de 96,7% do algodão produzido no país.

Tabela 1 - Área, Produtividade e Produção de Algodão em pluma

	Área			Produtividade			Produção		
	2023/24	2024/25	%	2023/24	2024/25	%	2023/24	2024/25	%
BR	1.944,2	2.086,1	7,29	1.879,4	1.946,7	3,58	3.6542,0	4.061,1	11,14
BA	346,0	413,1	19,39	1.943,0	1.947,9	0,25	672,3	804,7	19,69
MT	1.415,3	1.462,0	3,30	1.864,6	1.965,1	5,38	2.639,1	2.872,9	8,85
MS	32,0	31,7	-0,93	2.078,1	2.201,9	5,95	66,5	69,8	4,96
GO	30,3	30,3	0,00	1.993,4	1.821,8	-8,60	60,4	55,2	-8,61

Fonte: Elaboração própria com os dados da CONAB (2026).

Como mostra a Tabela 1, dentre os quatro estados apresentados, o Mato Grosso concentra a maior área de plantio de algodão, seguido pela Bahia, Goiás e Mato Grosso do Sul, respectivamente. Entretanto, observa-se que o Mato Grosso do Sul apresenta a maior produtividade média, resultado associado à boa adaptação da cultura às condições de clima e solo do Cerrado Sul-mato-grossense. Segundo Morello *et al.* (2020), o estabelecimento da cotonicultura no Cerrado decorre de um conjunto de fatores, incluindo a organização dos produtores, a disponibilidade de condições edafoclimáticas favoráveis, bem como os investimentos em pesquisa, gestão e capacitação de mão de obra realizados por diferentes agentes da cadeia produtiva.

De forma comparativa, verifica-se que, embora o Mato Grosso lidere tanto em área quanto em produção, a Bahia também desempenha papel central na cotonicultura brasileira, consolidando-se como a segunda maior produtora e apresentando ganhos expressivos em termos de área plantada e produção. Já Goiás e Mato Grosso do Sul, apesar de possuírem áreas relativamente reduzidas, registram produtividades significativas, o que garante participação relevante no cenário nacional. Esse quadro evidencia que, mesmo em estados com menor escala territorial, a adoção de tecnologias avançadas e o manejo adequado permitem resultados competitivos, reforçando a heterogeneidade regional da atividade algodoeira.

A trajetória recente da cotonicultura no Brasil exemplifica um processo de reestruturação produtiva dentro do setor agrícola. Essa transformação é evidenciada pela migração do cultivo para áreas do Cerrado, em paralelo à retração em regiões historicamente produtoras, como o Nordeste, São Paulo e Paraná. Entre os fatores que explicam tal movimento destacam-se o aumento das exportações, o fortalecimento da competitividade do algodão

brasileiro no mercado internacional e a adoção de sementes transgênicas. Além disso, essa reorganização produtiva reflete a transição de sistemas baseados em pequenas propriedades com baixa incorporação tecnológica para grandes empreendimentos agrícolas, caracterizados pelo uso intensivo de capital e pela aplicação de tecnologias avançadas (Silva Jr. *et al.*, 2021).

3 O modelo

Neste artigo, para analisar a dinâmica da volatilidade e das correlações condicionais entre os preços pagos ao produtor de algodão em pluma nos estados considerados, utilizou-se a família de modelos GARCH multivariados.

O modelo GARCH(1, 1) multivariado para as séries de preços pode ser representado da seguinte forma:

$$\mathbf{r}_t = \mathbf{m}_t + \mathbf{e}_t,$$

$$\mathbf{e}_t = \mathbf{H}_t^{1/2} \boldsymbol{\epsilon}_t,$$

sendo $\mathbf{H}_t^{1/2}$ é uma matriz positiva definida de dimensão $k \times k$ (no caso, $k = 4$, representando os quatro estados) e $\boldsymbol{\epsilon}_t$ é um vetor aleatório $k \times 1$ com os seguintes primeiros e segundos momentos:

$$E(\boldsymbol{\epsilon}_t) = \mathbf{0}_{k \times 1}, \quad Var(\boldsymbol{\epsilon}_t) = \mathbf{I}_k,$$

em que $\mathbf{I}_k$ é a matriz identidade de ordem k . Assim, dada a informação disponível no tempo $t - 1$, a matriz de variância-covariância condicional de $\mathbf{r}_t$ é:

$$Var_{t-1}(\mathbf{r}_t) = \mathbf{H}_t.$$

As especificações de $\mathbf{H}_t$ dependem do tipo de modelo MGARCH considerado. Neste estudo, são analisados os modelos de correlação condicional dinâmica (DCC-MGARCH), sob duas especificações distintas de distribuição: normal multivariada (mvnorm) e t de Student multivariada (mvt).

3.1 O modelo CCC-MGARCH

O modelo GARCH multivariado com correlação condicional constante (CCC-MGARCH), proposto por Bollerslev (1995), parte da seguinte representação:

$$\mathbf{H}_t = \mathbf{D}_t \mathbf{R} \mathbf{D}_t,$$

em que $\mathbf{D}_t = diag(h_{1,t}^{1/2}, h_{2,t}^{1/2}, \dots, h_{N,t}^{1/2})$ contém os desvios-padrão condicionais univariados, a matriz $\mathbf{R}$ representa a matriz de correlação condicional constante. Dessa forma, cada série segue um processo GARCH univariado para a variância condicional, enquanto a dependência cruzada entre os mercados é capturada por uma matriz de correlação fixa.

3.2 O modelo DCC-MGARCH

O modelo GARCH multivariado com correlação condicional dinâmica (DCC-MGARCH), proposto por Engle (2002), é uma extensão do CCC-MGARCH, permitindo que a matriz de correlação varie ao longo do tempo.

A matriz de variância-covariância condicional é escrita como:

$$\mathbf{H}_t = \mathbf{D}_t \mathbf{R}_t \mathbf{D}_t,$$

sendo $\mathbf{D}_t$ definido como anteriormente e $\mathbf{R}_t$ representa a matriz de correlação condicional dinâmica entre os preços do algodão nos quatro estados.

Para o caso geral de dimensão $k = 4$, $\mathbf{R}_t$ é obtida a partir da matriz $\mathbf{Q}_t$, dada por:

$$\mathbf{R}_t = (\mathbf{Q}_t \odot \mathbf{I}_k)^{-1/2} \mathbf{Q}_t (\mathbf{Q}_t \odot \mathbf{I}_k)^{-1/2},$$

em que $\odot$ denota o produto de Hadamard (multiplicação elemento a elemento), $\mathbf{I}_k$ é a matriz identidade de ordem k , e $\mathbf{Q}_t$ é uma matriz simétrica e definida positiva que evolui ao longo do tempo de acordo com:

$$\mathbf{Q}_t = (1 - \alpha - \beta) \bar{\mathbf{Q}} + \alpha \mathbf{e}_{t-1} \mathbf{e}_{t-1}' + \beta \mathbf{Q}_{t-1},$$

sendo $\bar{\mathbf{Q}}$ é a matriz de variância-covariância incondicional dos resíduos padronizados $\mathbf{e}_t$, e α e β são parâmetros não negativos que satisfazem a condição de estacionariedade:

$$\alpha + \beta < 1.$$

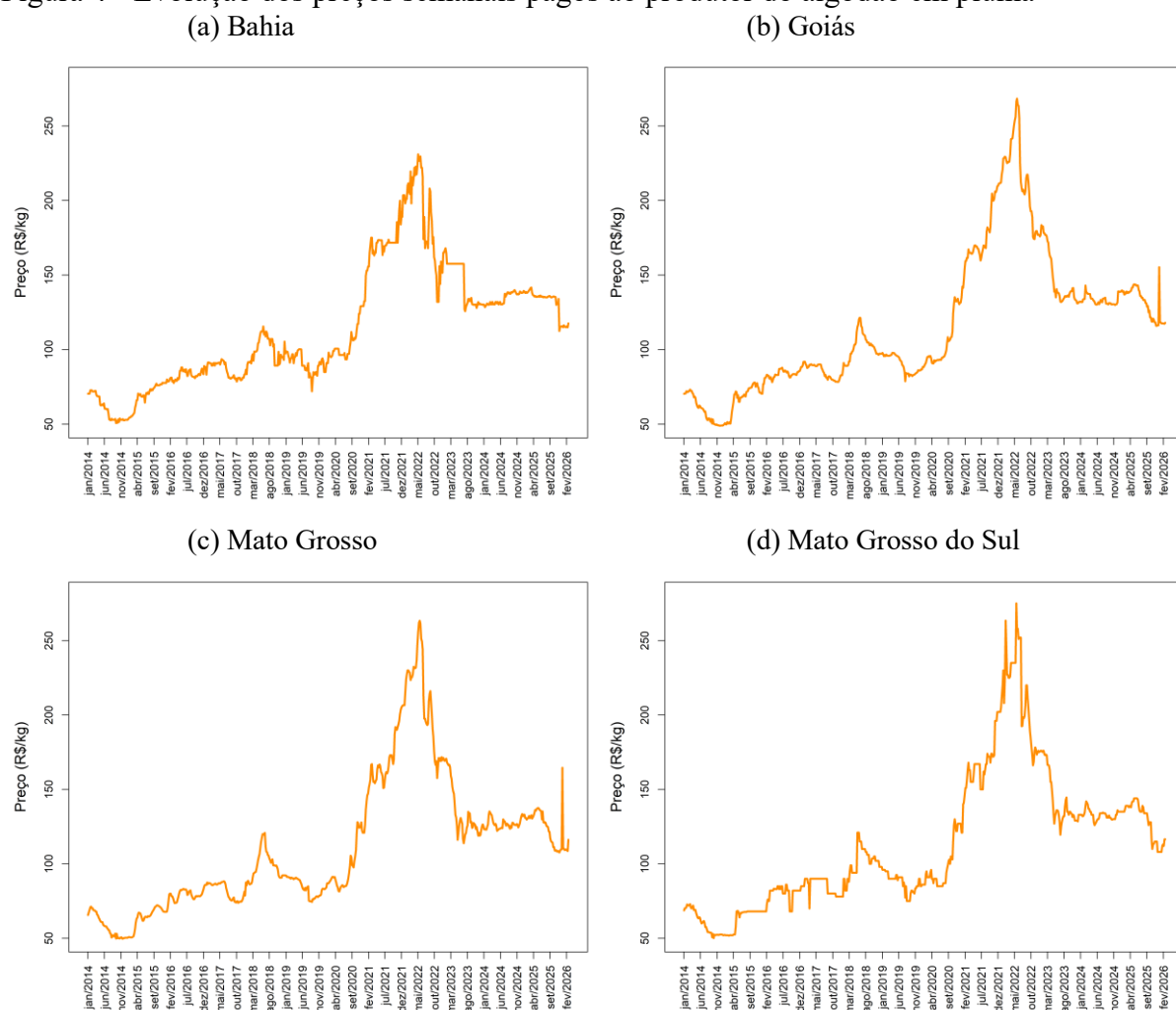
Assim, no modelo DCC-MGARCH, as correlações entre os preços do algodão em BA, GO, MS e MT são ajustadas dinamicamente ao longo do tempo, permitindo capturar mudanças na interdependência entre os mercados regionais.

4 Dados e análise preliminar

Os dados utilizados neste estudo consistem em séries temporais semanais de preços do algodão em pluma pagos ao produtor, coletados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), para os estados da Bahia (BA), Goiás (GO), Mato Grosso do Sul (MS) e Mato Grosso (MT). Todas as séries cobrem o período de 6 de janeiro de 2014 a 18 de agosto de 2025, totalizando mais de 600 observações semanais para cada estado. A escolha desses estados deve-se à sua relevância na produção nacional de algodão, sendo Mato Grosso e Bahia os principais produtores, enquanto Goiás e Mato Grosso do Sul também apresentam participação expressiva. Dessa forma, a análise permite capturar a dinâmica regional de preços no mercado interno brasileiro.

Os gráficos de séries temporais dos dados brutos são mostrados na Figura 4. Nota-se que todas as séries seguem um padrão de crescimento sustentado entre 2014 e 2020, seguido de um movimento mais acentuado de valorização a partir de 2020, alcançando o pico histórico entre 2021 e 2022. Essa trajetória comum sugere que os mercados regionais de algodão estão fortemente integrados e respondem de maneira semelhante a choques externos.

Figura 4 - Evolução dos preços semanais pagos ao produtor do algodão em pluma



Fonte: Elaboração própria com os dados da Conab/Sistema Siagro (2026).

Apesar dessa dinâmica convergente, há diferenças de nível e intensidade entre os estados. A Bahia e Goiás exibem preços relativamente mais elevados em boa parte do período. Já Mato Grosso e Mato Grosso do Sul apresentam preços historicamente mais baixos, ainda que com oscilações semelhantes, refletindo sua maior participação na produção e ganhos de escala. No período mais recente (2023–2025), observa-se uma convergência gradual entre os estados, com redução da amplitude das diferenças de preços, embora a volatilidade ainda

permanença presente. Para fins de modelagem estatística, os preços foram transformados em retornos semanais logarítmicos, definidos por:

$$r_t = 100 \times (\ln(P_t) - \ln(P_{t-1}))$$

onde P_t representa o preço do algodão na semana t . Essa transformação permite analisar a dinâmica de volatilidade, reduzindo o efeito de escala dos preços e tornando as séries mais adequadas para testes econométricos.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas para todas as séries de retornos semanais. Observa-se que as médias dos retornos são próximas de zero em todas as séries, indicando que, no longo prazo, não há tendência significativa de crescimento ou queda sistemática nos preços semanais. As medianas também são iguais a zero, o que reforça esse resultado.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas para séries temporais de retorno de algodão em pluma.

Estatísticas	rBA	rGO	rMS	rMT
Média	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009
Mediana	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Máximo	0,1670	0,2891	0,2524	0,4064
Mínimo	-0,2162	-0,2720	-0,2694	-0,4004
Desvio Padrão	0,0335	0,0257	0,0369	0,0324
Assimetria	-1,0642	0,4316	0,5142	0,0066
Curtose	12,7506	48,4266	19,7681	77,7998
Jarque-Bera	2.627,1 ($< 0,0001$)	54.447 ($< 0,0001$)	7.443,8 ($< 0,0001$)	147.568 ($< 0,0001$)
ARCH(1)	6,87 (0,0087)	141,51 ($< 0,0001$)	11,79 (0,0005)	150,08 ($< 0,0001$)
ARCH(6)	14,60 (0,0235)	211,59 ($< 0,0001$)	12,83 (0,0457)	246,26 ($< 0,0001$)
ARCH(12)	19,66 (0,0737)	212,82 ($< 0,0001$)	17,50 (0,1317)	260,58 ($< 0,0001$)

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Os desvios-padrão indicam volatilidade mais elevada em Mato Grosso do Sul (3,7%), Bahia (3,3%), Mato Grosso (3,2%), enquanto Goiás (2,5%) apresenta menor dispersão. O intervalo de variação, entretanto, é bastante expressivo: o retorno máximo alcança 16,7% na Bahia, enquanto a maior queda semanal chega a -40,04% em Mato Grosso. O teste Jarque-Bera rejeita a hipótese nula de normalidade em todas as séries. As medidas de assimetria indicam retornos negativos mais frequentes na Bahia, e retornos positivos mais acentuados em Goiás. A

curtose é excessivamente alta em todas as séries, variando de 12,75 (BA) a 77,79 (MT), evidenciando a presença de caudas pesadas¹.

Em todas as séries, o teste ARCH(1) rejeita a hipótese nula de homocedasticidade ao nível de 1% de significância. Isso indica que choques de volatilidade em uma semana tendem a afetar diretamente a variância da semana seguinte. Para lags maiores, os resultados variam entre os estados. Na Bahia, Goiás e Mato Grosso, os testes ARCH(6) e ARCH(12) continuam rejeitando a hipótese nula com p-valores muito baixos, reforçando a presença de efeitos ARCH persistentes. Em Mato Grosso do Sul, por outro lado, a evidência é mais fraca para lags de 6 e 12, sugerindo que os efeitos de heterocedasticidade se concentram em períodos curtos. Em conjunto, esses resultados confirmam a presença de volatilidade condicional nos retornos do algodão, característica típica de séries de commodities.

A análise dos retornos ao quadrado evidencia que a volatilidade dos preços do algodão não é uniforme entre os estados analisados (Figura 5). Observa-se a presença de aglomeração de volatilidade, característica associada a choques persistentes que afetaram as expectativas do mercado e elevaram o risco percebido pelos agentes econômicos. Esse comportamento é consistente com a rejeição da hipótese de homocedasticidade nos testes ARCH e indica que a variância dos retornos não é constante ao longo do tempo.

Adicionalmente, os gráficos Q-Q e as densidades confirmam a existência de caudas pesadas e assimetria, reforçando a inadequação da hipótese de normalidade. A maior concentração de observações próximas à média, combinada com maior probabilidade de eventos extremos, sugere uma dinâmica de risco não linear e potencialmente assimétrica entre os estados analisados.

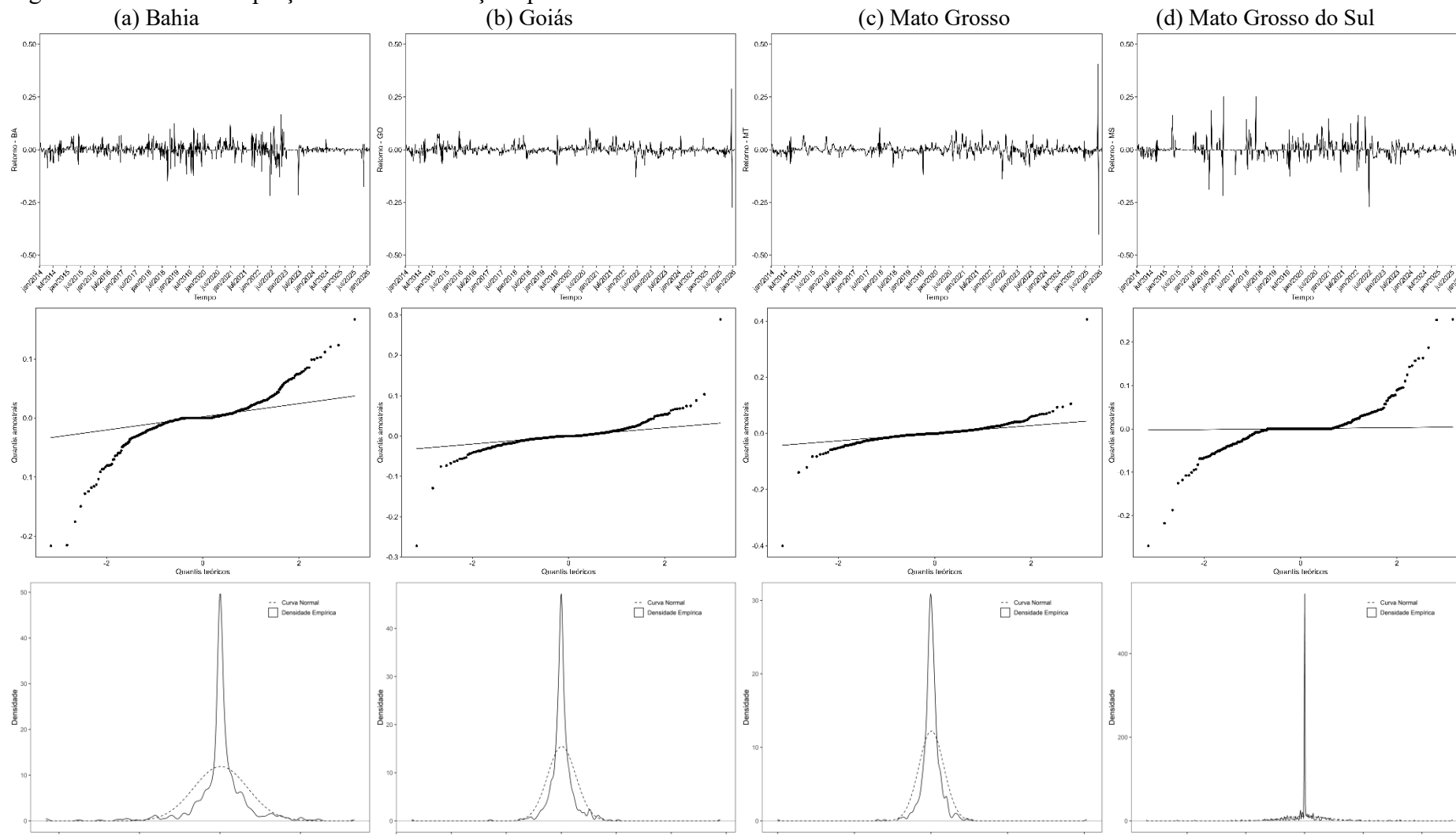
Tabela 3 - Correlação entre o quadrado dos retornos

	BA	GO	MS	MT
BA	1,000			
GO	0,226	1,000		
MS	0,137	0,235	1,000	
MT	0,219	0,758	0,203	1,000

Fonte: Resultados da pesquisa.

¹ Não é surpresa que seja de conhecimento comum que séries financeiras exibem caudas pesadas.

Figura 5 - Retornos dos preços e suas distribuições para os Estados



Fonte: Resultados da Pesquisa. Nota: i) série temporal dos retornos, (ii) gráfico Q-Q em relação à distribuição normal e (iii) comparação entre densidade empírica e curva normal teórica

A transparência entre os retornos ao quadrado sugere diferentes graus de integração entre os mercados estaduais (Tabela 3). Goiás e Mato Grosso apresentam forte co-movimento de volatilidade (0,758), refletindo possíveis semelhanças estruturais em termos de produção, canais de comercialização e exposição a choques. As correlações entre Bahia e os demais estados situam-se em níveis moderados (variando entre 0,137 e 0,226), enquanto Mato Grosso do Sul apresenta correlações relativamente baixas com Bahia (0,137) e Mato Grosso (0,203), indicando menor sincronização na volatilidade.

Em conjunto, as características apresentadas em Figura 5 justificam a utilização de modelos da família GARCH, que permitem capturar a dinâmica da variância condicional e a persistência da volatilidade. Considerando a evidência de caudas pesadas e assimetrias, especificações com distribuições não normais mostram-se particularmente adequadas. Ademais, a ocorrência de episódios de elevada instabilidade pode indicar a presença de mudanças estruturais, sugerindo que extensões com mudança de regime também constituem abordagem pertinente.

5 Resultados

A Tabela 4 e a Tabela 5 apresentam os parâmetros estimados dos modelos multivariados DCC-MGARCH(1,1) e CCC-MGARCH(1,1), permitindo avaliar não apenas a dinâmica da volatilidade individual de cada mercado estadual, mas também a estrutura de dependência entre eles. Os parâmetros α_1 e β_1 medem a persistência da volatilidade em cada série, quando a soma $\alpha_1 + \beta_1$ é próxima de 1, confirma a presença de aglomeração de volatilidade.

Os coeficientes associados à média (μ), embora de pequena magnitude, mostram-se estatisticamente significativos, indicando a presença de um componente sistemático nos retornos. Os retornos dos preços do algodão são, em média, próximos de zero, como esperado é consistente com a literatura de séries financeiras aplicando à commodities, na qual os retornos tendem a oscilar em torno de zero, mas ainda assim incorporam ajustes de curto prazo decorrentes de fatores como expectativas de mercado.

A inclusão do termo autoregressivo AR(1) permite identificar padrões distintos entre os estados, revelando uma importante heterogeneidade regional. Enquanto Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso apresentam coeficientes positivos, sugerindo persistência nos retornos, a Bahia exibe um coeficiente negativo, caracterizando um processo de reversão à média. Essa diferença sugere que os mecanismos de formação de preços não são homogêneos entre os mercados regionais, refletindo distintas estruturas de comercialização.

Tabela 4 - Parâmetros estimados dos modelos DCC-MGARCH(1,1) para os preços do algodão em pluma (BA, GO, MS, MT)

Parâmetro	BA		GO		MS		MT	
	Normal	t-Student	Normal	t-Student	Normal	t-Student	Normal	t-Student
μ	0,0006 (0,0008)	0,0008 (0,0003)	0,0014 (0,0010)	0,0000 (0,0004)	0,0000 (0,0013)	0,0000 (0,0000)	-0,0299 (0,0003)	0,0000 (0,0005)
AR(1)	-0,1767 (0,0609)		0,2595 (0,1228)		0,0668 (0,0711)		0,3851 (0,5690)	
ω	0,0000 (0,000)	0,0000 (0,0000)	0,0004 (0,0003)	0,0004 (0,0002)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0040)	0,0002 (0,0000)
α_1	0,0478 (0,0279)	0,2866 (0,0502)	0,2926 (0,2935)	0,8937 (0,1701)	0,0799 (0,0400)	0,5445 (1,4460)	0,1418 (0,4423)	0,9479 (0,1869)
β_1	0,9359 (0,0249)	0,7123 (0,0560)	0,0000 (0,6592)	0,1052 (0,1399)	0,9190 (0,0474)	0,4439 (1,2362)	0,8479 (0,9930)	0,0510 (0,1125)
Shape		2,5831 (0,1311)		2,2904 (0,0463)		2,2517 (0,0723)		2,8463 (0,4621)
Parâmetros conjuntos (correlações condicionais)								
DCC α	0,0153 (0,0091)	0,1737 (0,1480)						
DCC β	0,9696 (0,0325)	0,4624 (0,3126)						
Shape		4 (15,1540)						

Fonte: Resultados da Pesquisa. Notas: Erros padrão entre parênteses. Os parâmetros α e β do DCC representam a dinâmica das correlações condicionais.

Tabela 5 - Parâmetros estimados dos modelos CCC-MGARCH(1,1) para os preços do algodão em pluma (BA, GO, MS, MT)

Parâmetro	BA		GO		MS		MT	
	Normal	t-Student	Normal	t-Student	Normal	t-Student	Normal	t-Student
μ	0,0006 (0,0008)	0,0008 (0,0003)	0,0014 (0,0009)	0,0000 (0,0004)	0,0000 (0,0013)	0,0000 (0,0000)	-0,0004 (0,0023)	0,0000 (0,0005)
AR(1)	-0,1767 (0,0605)		0,2595 (0,1203)		0,0668 (0,0709)		0,3512 (1,1287)	
ω	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0004 (0,0002)	0,0004 (0,0002)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0000)	0,0000 (0,0044)	0,0002 (0,0000)
α_1	0,0478 (0,0278)	0,2866 (0,0502)	0,2926 (0,2946)	0,8937 (0,1701)	0,0799 (0,0398)	0,5445 (1,4460)	0,1428 (0,4564)	0,9479 (0,1869)
β_1	0,9359 (0,0248)	0,7123 (0,0560)	0,0000 (0,6070)	0,1052 (0,1399)	0,9190 (0,0475)	0,4439 (1,2362)	0,8295 (0,6456)	0,0510 (0,1125)
Shape		2,5831 (0,1311)		2,2904 (0,0463)		2,2517 (0,0723)		2,8463 (0,4621)
Parâmetros conjuntos (correlações condicionais)								
DCC α	0,0150 (0,1063)	0,1737 (0,1480)						
DCC β	0,9821 (0,0886)	0,4624 (0,3126)						

Shape

4
(15,1540)

Fonte: Resultados da Pesquisa. Notas: Erros padrão entre parênteses. Os parâmetros α e β do CCC representam a dinâmica das correlações condicionais.

Os parâmetros estimados do tipo GARCH revelam um padrão bastante claro de elevada persistência, sobretudo nos estados da Bahia, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Os coeficientes β_1 elevados indicam que choques de volatilidade possuem efeitos duradouros, o que é reforçado pelo fato de que a soma $\alpha_1 + \beta_1$ se aproxima da unidade em diversos casos. O resultado é particularmente relevante, pois sugere que episódios de instabilidade não se dissipam rapidamente, prolongando seus efeitos sobre os preços. Em contraste, Goiás apresenta baixa persistência sob a especificação normal, indicando um ajuste mais rápido da volatilidade, o que pode estar associado a características específicas de seu mercado.

Outro aspecto diz respeito à distribuição dos erros. A evidência empírica aponta para a inadequação da hipótese de normalidade, uma vez que a distribuição t-Student, com parâmetros de forma significativos, captura melhor a presença de caudas pesadas. Isso implica reconhecer que o mercado de algodão está sujeito a eventos extremos com maior frequência do que aquela prevista pela distribuição normal. Assim, a adoção de distribuições mais flexíveis não é apenas um refinamento, mas uma necessidade empírica para representar a realidade dos dados.

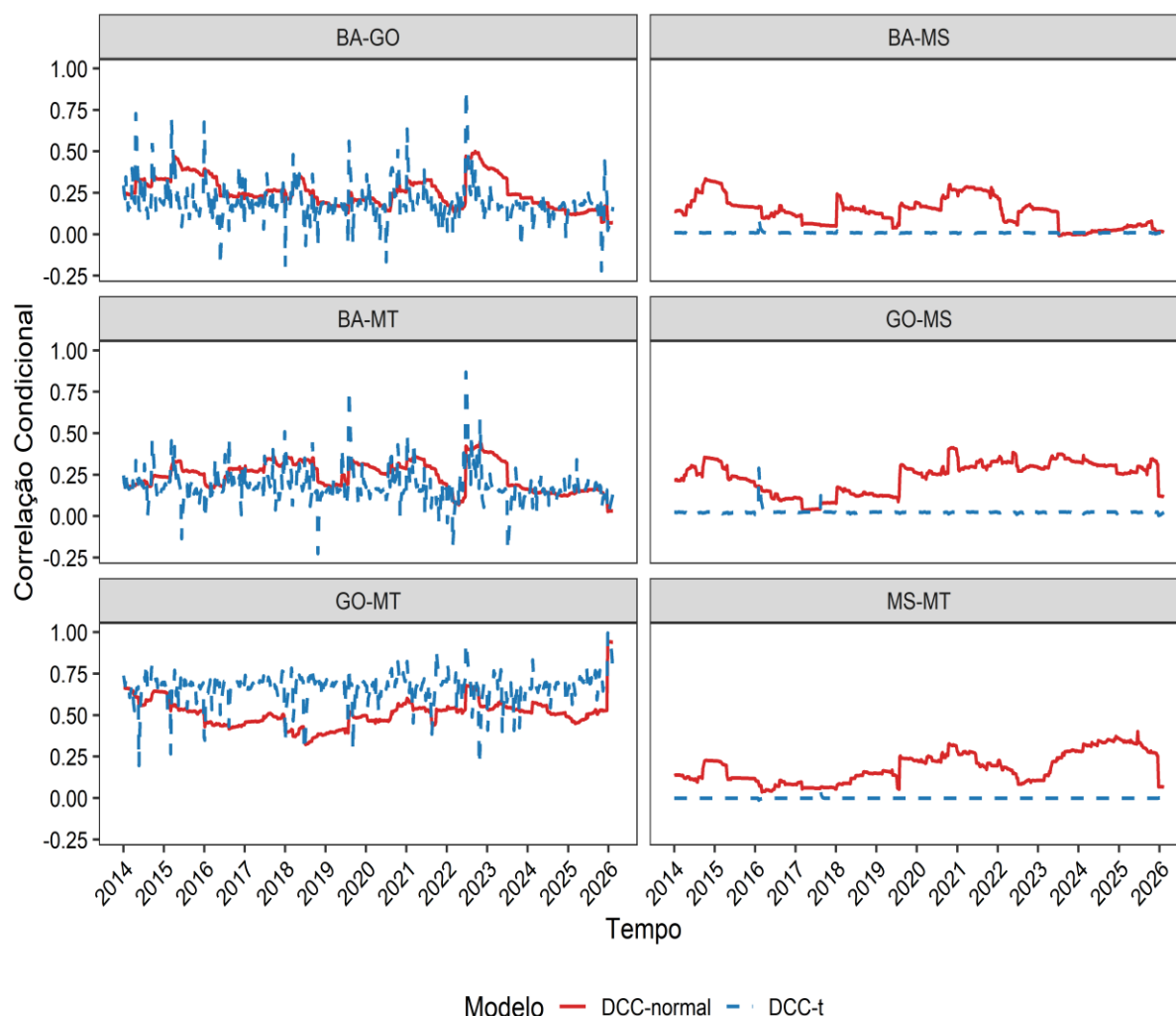
A modelagem das correlações condicionais por meio do modelo DCC revela evidências importantes sobre a interdependência entre os mercados estaduais. Os parâmetros estimados indicam que as correlações são altamente persistentes, especialmente sob a suposição de normalidade, onde a soma dos coeficientes se aproxima da unidade. Contudo, ao se adotar a distribuição t-Student, observa-se uma redução dessa persistência, sugerindo maior variabilidade temporal nas correlações. Esse resultado é particularmente relevante, pois indica que a hipótese de correlação constante (implícita no modelo CCC) pode ser excessivamente restritiva, mascarando mudanças importantes na intensidade da co-movimentação da volatilidade entre os mercados ao longo do tempo.

A comparação entre os modelos DCC e CCC reforça esse argumento. Embora os parâmetros univariados sejam praticamente idênticos entre as duas especificações, a principal diferença reside na capacidade do modelo DCC de capturar a dinâmica temporal das correlações. Isso implica que, ao assumir correlações constantes, o modelo CCC pode gerar uma representação incompleta da estrutura de dependência, especialmente em contextos nos quais choques sistêmicos afetam simultaneamente diferentes regiões, mas com intensidades variáveis ao longo do tempo.

5.1 Correlações Condicionais Dinâmicas

Inicialmente, ao se comparar as duas especificações, torna-se evidente que o modelo com erros normalmente distribuídos apresenta trajetórias de correlação mais suaves e persistentemente positivas, enquanto a versão com distribuição t-Student exhibe maior volatilidade e sensibilidade a choques².

Figura 6 - Correlações condicionais dos modelos DCC-MGARCH



Fonte: Resultados da Pesquisa.

No par BA–GO, observa-se uma correlação moderada ao longo de todo o período, com flutuações relativamente frequentes na versão t-Student. Há episódios claros de aumento da correlação, especialmente em períodos de maior instabilidade, sugerindo que choques comuns

² Essa diferença não é meramente estética, mas econometricamente relevante: a distribuição t-Student, ao acomodar caudas pesadas, permite capturar episódios de instabilidade mais pronunciados, resultando em correlações que respondem de forma mais intensa a eventos extremos. Em contrapartida, a especificação normal tende a suavizar essas variações, possivelmente mascarando movimentos abruptos de co-movimentação.

tendem a sincronizar os mercados. Ainda assim, a presença de oscilações e quedas indica que essa integração não é perfeita, havendo momentos de desacoplamento parcial.

Para o par BA–MS, a dinâmica é distinta. A correlação estimada sob a distribuição normal apresenta variações mais discretas, com tendência de queda ao longo do tempo, aproximando-se de níveis próximos de zero em alguns períodos. O que sugere uma relação mais fraca e potencialmente instável entre os estados. A ausência de variações expressivas na versão t-Student reforça a ideia de que a interdependência entre Bahia e Mato Grosso do Sul é limitada, possivelmente refletindo diferenças na produção ou nos canais de comercialização.

No caso de BA–MT, observa-se um padrão semelhante ao de BA–GO, porém com maior volatilidade nas correlações estimadas pela distribuição t-Student. Destaca-se um episódio de pico acentuado, indicando um aumento súbito na integração entre os mercados, possivelmente associado a um choque sistêmico.

A relação entre GO–MS revela um padrão interessante de evolução temporal. A correlação apresenta tendência de crescimento ao longo do período, indicando que os mercados se tornaram mais integrados com o tempo. Para o par GO–MT, as correlações são consistentemente mais elevadas, situando-se em níveis moderados a altos durante praticamente todo o período analisado. Há forte integração entre esses mercados, o que é plausível, dado o peso de ambos os estados na produção nacional de algodão e sua inserção em cadeias produtivas semelhantes. A maior estabilidade relativa dessas correlações indica que esses mercados compartilham determinantes comuns de forma mais intensa e contínua.

Por fim, o par MS–MT apresenta uma trajetória de correlação crescente ao longo do tempo, com elevação mais evidente a partir dos períodos intermediários da amostra. O comportamento sugere um processo de convergência entre os mercados, possivelmente impulsionado por fatores estruturais. Ainda assim, a queda observada no final do período indica que essa relação permanece sensível a choques recentes.

5.2 Hedging

A estimação das razões ótimas de *hedge* a partir do modelo DCC-MGARCH com distribuição t-Student permite avaliar, de forma dinâmica, o potencial de proteção entre os mercados estaduais de algodão em pluma. Seguindo a formulação clássica de Kroner e Sultan (1993), a razão de *hedge* é definida como a razão entre a covariância condicional e a variância condicional do ativo de *hedge*, refletindo, portanto, a intensidade e a direção da relação entre os mercados ao longo do tempo. Nesse contexto, a utilização de um modelo com correlações

condicionais dinâmicas implica que as estratégias de hedge não são estáticas, mas devem ser continuamente ajustadas em resposta às mudanças na estrutura de dependência.

Os resultados apresentados na Tabela 6 evidenciam, de maneira geral, elevada variabilidade nas razões de hedge ao longo do período analisado, o que é consistente com a própria natureza dinâmica das correlações estimadas pelo modelo DCC.

Tabela 6 - Estatísticas resumidas da razão de hedge calculadas a partir do modelo

Estatísticas	BA-GO	BA-MS	BA-MT	GO-MS	GO-MT	MS-MT
Média	0,2090	2,5462	0,2335	11,1903	0,8251	-0,0015
Mediana	0,1556	0,0136	0,1701	0,0386	0,8603	-0,0011
Mínimo	-0,1872	-0,0012	-0,7667	0,0025	0,0971	-0,0389
Máximo	1,9508	364,2099	2,7357	1.514,7150	1,8254	0,1714
Desvio Padrão	0,2022	24,6463	0,2414	104,6288	0,2429	0,0078

No caso do par BA-GO, a razão média de *hedge* de aproximadamente 0,21 indica que uma posição comprada de uma unidade em um mercado pode ser parcialmente protegida por uma posição vendida de cerca de 21% no outro mercado. A proximidade entre média e mediana sugere relativa estabilidade, embora a presença de valores mínimos negativos indique que, em determinados períodos, a estrutura de correlação se inverte, exigindo uma reconfiguração da estratégia, isto é, a adoção de posições *long-short* invertidas.

Para os pares BA-MS e GO-MS, os resultados revelam um padrão marcadamente distinto, caracterizado por médias elevadas, medianas próximas de zero e desvios padrão extremamente altos. Esse comportamento indica a presença de distribuições fortemente assimétricas, dominadas por valores extremos. Temos episódios de instabilidade na covariância condicional ou de compressão da variância do ativo de *hedge*, levando a explosões nas razões de *hedge*.

O par BA-MT apresenta uma razão média semelhante à observada em BA-GO, porém com maior dispersão, refletindo uma relação de hedge menos estável. A ocorrência de valores negativos mais pronunciados indica maior sensibilidade a mudanças na estrutura de correlação, sugerindo que a eficácia do hedge pode se deteriorar em períodos de maior volatilidade ou de choques assimétricos entre os mercados. Por outro lado, o par GO- MT se destaca como aquele com maior consistência e robustez. A proximidade entre média (0,83) e mediana (0,86), aliada ao baixo desvio padrão e à ausência de valores negativos, indica uma relação de *hedge* estável e economicamente relevante. Nesse caso, uma parcela significativa da exposição pode ser protegida de forma consistente ao longo do tempo, tornando esse par particularmente atrativo para estratégias de gestão de risco.

Finalmente, o par MS-MT apresenta razões de *hedge* próximas de zero, com baixa variabilidade, indicando ausência de relação de *hedge* significativa. Isso sugere que os movimentos de preços entre esses mercados são pouco correlacionados ou apresentam estruturas de volatilidade incompatíveis, limitando sua utilidade em estratégias de proteção.

6 Considerações finais

Este estudo teve como objetivo modelar a volatilidade dos preços do algodão e analisar as correlações condicionais entre os principais estados produtores do Brasil, utilizando o modelo DCC-MGARCH, que se mostrou adequado para capturar a interdependência dinâmica entre os mercados.

Os resultados confirmam a presença de heterocedasticidade condicional, rejeição da normalidade e efeitos ARCH significativos, evidenciando a necessidade de modelos da família GARCH. Observa-se elevada persistência da volatilidade, indicando que choques tendem a se prolongar e a se transmitir entre os mercados estaduais. As correlações não são constantes, variando ao longo do tempo entre períodos de maior e menor integração.

Destaca-se maior interdependência entre Goiás e Mato Grosso, com correlações elevadas e estáveis, refletindo similaridades produtivas e estruturais. Em contraste, a Bahia apresenta relações mais moderadas e instáveis, especialmente com Mato Grosso do Sul, indicando menor integração regional. De modo geral, maior proximidade produtiva e estrutural está associada a correlações mais fortes.

A especificação *t* de Student mostrou-se mais adequada que a normal ao capturar caudas pesadas e eventos extremos, além de refletir maior variabilidade nas correlações. Os resultados indicam que choques de preços podem se propagar entre regiões, afetando a estabilidade da renda e as decisões de comercialização.

Por fim, este trabalho contribui para a compreensão da dinâmica dos preços do algodão e tem implicações para gestão de risco e formação de preços, embora seja limitado pela ausência de variáveis externas e pela análise restrita a alguns estados, sugerindo avanços futuros com a incorporação de fatores macroeconômicos e modelos mais complexos.

REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, I. R. D., VEDANA, R., E VIEIRA FILHO, J. E. R. O caso emblemático da produção de algodão no brasil de 1974 a 2019. **Revista Econômica do Nordeste**, 54(2):139–155, 2023.
- BARCHET, I., ROCHA, A. A., E DAL PAI, C. Mudança estrutural no setor cotonicultor brasileiro: uma análise da territorialização no cerrado brasileiro e do impacto do contencioso do algodão. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, 5(1):6–25, 2016.
- BOLLERSLEV, T. (1990). Modelling the coherence in short-run nominal exchange rates: A multivariate generalized ARCH model. **The Review of Economics and Statistics**, 72(3), 498–505. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2307/2109358>
- CNA. Valor bruto da produção agropecuária - agosto de 2025. Technical report, CNA, 2025. Disponível em: https://cnabrazil.org.br/storage/arquivos/VBP_19agosto2025.pdf. Relatório técnico. Acesso em: 03 de janeiro de 2026
- CONAB. Série histórica de produção de grãos. Technical report, 2026. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-graos.html>.
- KRONER, Kenneth F.; SULTAN, Jahangir. Time-varying distributions and dynamic hedging with foreign currency futures. **Journal of financial and quantitative analysis**, v. 28, n. 4, p. 535-551, 1993.
- Engle, R. Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. **Journal of business & economic statistics**, 20(3):339–350, 2002.
- FAS/USDA. Production, supply and distribution online (psd online) database, 2026. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/>. Acesso em: 03 de janeiro de 2026
- MORELLO, C. D. L., SUASSUNA, N. D., SILVA FILHO, J. L. D., PEDROSA, M. B., SOFIATTI, V., PERINA, F. J., CHITARRA, L. G., E ANCELMO, J. L. Desempenho de linhagens de algodoeiro em ambientes do cerrado do brasil – safra 2017/2018. Technical Report 278, **Embrapa Algodão**, Campina Grande, PB, 2020.
- SILVA JR., J. J., MIYAMOTO, B. C., E SILVA FILHO, L. A. Determinantes do valor bruto da produção de algodão em mato grosso. **Revista de Política Agrícola**, 30(3):8–8, 2021.