

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE GESTÃO E NEGÓCIOS
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO ORGANIZACIONAL

CLEBER REZENDE

**VOLATILIDADE DO PREÇO À VISTA DO BOI GORDO NO BRASIL PÓS
DEPENDÊNCIA DAS EXPORTAÇÕES PARA A CHINA**

Uberlândia
2025

CLEBER REZENDE

**VOLATILIDADE DO PREÇO À VISTA DO BOI GORDO NO BRASIL PÓS
DEPENDÊNCIA DAS EXPORTAÇÕES PARA A CHINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional - Mestrado Profissional da Faculdade de Gestão e Negócios da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração.

Área de concentração: Gestão Organizacional.

Linha de Pesquisa: Gestão Empresarial.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Kárem Cristina de Sousa. Ribeiro.

Uberlândia
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

R467v Rezende, Cleber, 1974-
2025 Volatilidade do preço à vista do boi gordo no Brasil pós dependência
das exportações para a China [recurso eletrônico] / Cleber Rezende. -
2025.

Orientadora: Kárem Cristina de Sousa Ribeiro.

Dissertação (Mestrado profissional) - Universidade Federal de
Uberlândia, Faculdade de Gestão e Negócios, Programa de Pós-graduação
em Gestão Organizacional - Mestrado Profissional.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.5586>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Administração. 2. Bovinos de corte - Exportação. 3. Comércio
internacional. 4. Preços. 5. Avaliação de riscos. I. Ribeiro, Kárem Cristina
de Sousa, 1967- (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia.
Faculdade de Gestão e Negócios. Programa de Pós-graduação em Gestão
Organizacional - Mestrado Profissional. III. Título.

CDU: 658

Rejâne Maria da Silva
Bibliotecária-Documentalista – CRB6/1925



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Gestão
Organizacional

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1F, Sala 206 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG,
CEP 38400-902

Telefone: (34) 3291-6333 - www.ppggo.fagen.ufu.br - ppggo@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Gestão Organizacional				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Profissional, 136, PPGGO				
Data:	Três de setembro de dois mil e vinte e cinco	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:00
Matrícula do Discente:	12312GOM015				
Nome do Discente:	Cleber Rezende				
Título do Trabalho:	Volatilidade do Preço à Vista do Boi Gordo no Brasil Pós Dependência das Exportações para a China				
Área de concentração:	Gestão Organizacional				
Linha de pesquisa:	Gestão Empresarial				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	-				

Reuniu-se, por meio de webconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Gestão Organizacional, assim composta: Professores Doutores: Flavio Luiz de Moraes Barboza (UFU), Régio Marcio Toesca Gimenes (UFGD) e Karem Cristina de Sousa Ribeiro, orientador(a) do(a) candidato(a). Como Mestre de Notório Saber estará presente Gustavo Uramoto Matsumoto (Algar Telecom).

Iniciando os trabalhos, o(a) presidente da mesa, Prof^a. Dr^a. Karem Cristina de Sousa Ribeiro, apresentou a Comissão Examinadora e o(a) candidato(a), agradeceu a presença do público e concedeu ao(a) Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do(a) Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o(a) senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a).

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação

interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Kárem Cristina de Sousa Ribeiro, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/09/2025, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flávio Luiz de Moraes Barboza, Professor(a) do Magistério Superior**, em 03/09/2025, às 17:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Régio Marcio Toesca Gimenes, Usuário Externo**, em 04/09/2025, às 13:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Gustavo Uramoto Matsumoto, Usuário Externo**, em 05/09/2025, às 15:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6600694** e o código CRC **CC7FE4E1**.

Referência: Processo nº 23117.056757/2025-11

SEI nº 6600694

CLEBER REZENDE

**VOLATILIDADE DO PREÇO À VISTA DO BOI GORDO NO BRASIL PÓS
DEPENDÊNCIA DAS EXPORTAÇÕES PARA A CHINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional - Mestrado Profissional da Faculdade de Gestão e Negócios da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Administração.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Kárem Cristina de Sousa Ribeiro
Universidade Federal de Uberlândia
Orientadora

Prof^º. Dr. Flávio Luiz de Moraes Barboza
Universidade Federal de Uberlândia
Membro Interno

Prof^º. Dr. Régio Marcio Toesca Gimenes
Universidade Federal da Grande Dourados
Membro Externo

Diretor Financeiro Mestre Gustavo Uramoto
Matsumoto
Algar Telecom
Membro Externo

Uberlândia, 30 de junho de 2025.

DEDICATÓRIA

À Universidade Federal de Uberlândia – UFU e seus docentes pela missão de desenvolver a ciência na nossa região.

AGRADECIMENTOS

Guiado por uma curiosidade natural que me acompanha desde a infância, sempre busquei o conhecimento, com a clara percepção de que ele é capaz de libertar. Hoje, sinto uma sensação de liberdade que a cada dia se expande, como consequência de um trabalho como esse.

Desejo também que a sociedade possa ser beneficiada, ainda que de forma singela, com o conhecimento aqui produzido, e que esta pesquisa possa inspirar outros pesquisadores a trilhar o caminho da ciência.

Ao longo dessa jornada, precisei conciliar o trabalho, a vida pessoal, a atividade rural e os estudos no mestrado profissional, tarefa nada simples, que só foi possível graças à presença e ao apoio de pessoas importantes que caminharam ao meu lado.

Agradeço à minha família, que sempre acreditou em mim e me enxergou como exemplo de dedicação aos estudos. Em especial, à minha avó paterna, Vovó Maria, que sonhava em me ver como o futuro médico da família. Ainda que eu não tenha seguido a trilha da saúde, suas palavras foram fonte constante de incentivo e inspiração.

Agradeço a todos os servidores da UFU, que fazem dessa instituição um verdadeiro exemplo de estímulo ao desenvolvimento científico, ainda tão negligenciado por grande parte da sociedade brasileira.

Registro igualmente minha gratidão à banca de qualificação, composta pelos Professores Régio, Flávio e Gustavo, cujas contribuições foram essenciais para o aprimoramento do conteúdo desta dissertação.

Por fim, agradeço à Professora Kárem, pela confiança e pela orientação firme e paciente, que não desistiu de me guiar até o fim desta caminhada acadêmica.

Rezende, C. (2025). *A volatilidade do preço à vista do boi gordo no Brasil pós dependência das exportações para a China*. (Dissertação de Mestrado Profissional em Gestão Organizacional). Universidade de Uberlândia, Uberlândia.

RESUMO

Contextualização: O Brasil consolidou-se, na última década, como o principal exportador mundial de carne bovina, sendo a China seu principal parceiro comercial. Essa dependência crescente das exportações brasileiras para o mercado chinês tem alterado significativamente o comportamento do mercado interno, especialmente no que diz respeito à formação e à volatilidade do preço da arroba do boi gordo. A instabilidade dos preços, intensificada por fatores econômicos, sanitários e políticos, impõe desafios relevantes à cadeia produtiva e à tomada de decisão por parte de pecuaristas, investidores e gestores públicos.

Objetivo: A presente dissertação tem como objetivo analisar a volatilidade do preço à vista da arroba do boi gordo no Brasil no período de 2015 a 2024, com foco especial no comportamento do mercado após 2020, quando se intensificou a dependência comercial brasileira em relação à China. Busca-se verificar a existência de quebras estruturais na série de preços e avaliar o impacto de eventos externos sobre a instabilidade observada no mercado.

Método: A pesquisa foi conduzida em duas frentes principais. A primeira consistiu na realização de uma revisão de escopo da literatura nacional, identificando os principais temas, abordagens e lacunas no estudo da formação de preços e da volatilidade no mercado do boi gordo. A segunda envolveu a aplicação de modelos econométricos da família GARCH, com destaque para o modelo t-ARMA(2,2)-GARCH(2,2), sobre dados diários obtidos junto ao CEPEA/USP e ao IBGE. A modelagem permitiu mensurar a volatilidade, detectar agrupamentos, assimetrias e identificar possíveis quebras estruturais a partir da intensificação do comércio com a China.

Resultados: Os resultados apontam para a existência de uma quebra estrutural a partir de 2020, com aumento expressivo da volatilidade dos preços da arroba do boi gordo. Essa mudança de regime de volatilidade revela um mercado mais sensível a choques externos e mais exposto à incerteza global. A intensificação das exportações e os efeitos de eventos sanitários, como a pandemia de COVID-19, contribuíram para uma instabilidade persistente, que impacta diretamente as decisões estratégicas dos agentes da cadeia produtiva.

Aderência da pesquisa com a área de concentração do PPGO (Gestão Empresarial) e com a linha de pesquisa: Esta dissertação está diretamente vinculada à área de concentração do Programa de Pós-Graduação em Gestão Organizacional — “Gestão Empresarial” — pois analisa uma das mais relevantes cadeias produtivas da região Centro-Oeste e Sudeste brasileira, com ênfase na gestão de riscos econômicos. Alinha-se à linha de pesquisa em Gestão Empresarial, ao propor uma análise aplicada da dinâmica de mercado, oferecendo suporte teórico e prático para estratégias de gestão baseadas em evidência.

Impacto e caráter inovador na produção intelectual: A originalidade da pesquisa reside na combinação de uma revisão de escopo da literatura com a aplicação de um modelo t-GARCH customizado à realidade brasileira. A dissertação inova ao propor um olhar crítico sobre o impacto das relações internacionais na dinâmica do mercado agropecuário nacional, além de lançar bases para futuras investigações sobre risco, precificação e comportamento de mercados de commodities agrícolas.

Impacto econômico, social e regional: Os resultados obtidos têm aplicação prática direta na formulação de estratégias de hedge, precificação e gestão financeira por produtores rurais, cooperativas, frigoríficos e investidores. Regionalmente, a pesquisa beneficia estados como Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, onde a pecuária bovina tem peso expressivo na economia local. Do ponto de vista social, ao promover maior previsibilidade e estabilidade no mercado, os resultados contribuem para a sustentabilidade da atividade pecuária, geração de renda e segurança alimentar.

Implicações gerais: A análise apresentada amplia a compreensão da influência de fatores externos na volatilidade de preços de commodities essenciais, como a arroba do boi gordo. Os achados sugerem que o fortalecimento de mecanismos de proteção de preços e o desenvolvimento de políticas públicas mais adaptativas são fundamentais para a estabilidade da cadeia pecuária brasileira. Além disso, a pesquisa reforça a importância da gestão de risco como competência estratégica no agronegócio contemporâneo.

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável atendidos na pesquisa: A pesquisa está alinhada ao ODS 2 — Fome Zero e Agricultura Sustentável, ao fortalecer a resiliência da cadeia de produção de alimentos, e ao ODS 12 — Consumo e Produção Responsáveis, por fomentar práticas de gestão mais eficientes e responsáveis. Também dialoga com o ODS 8 — Trabalho Decente e Crescimento Econômico, ao contribuir para a estabilidade e sustentabilidade econômica do setor pecuário.

Palavras-chave: boi gordo, mercado, arroba do boi gordo, preço à vista, preço futuro, volatilidade, China, exportações.

Rezende, C. (2025). *The volatility of the spot price of fattened cattle in Brazil after the dependence on exports to China*. (Master's Dissertation in Professional Organizational Management University of Uberlândia, Uberlândia-MG, Brazil.

ABSTRACT

Contextualization: Over the past decade, Brazil has established itself as the world's leading exporter of beef, with China becoming its main commercial partner. This growing dependence on the Chinese market has significantly altered the dynamics of the domestic beef market, particularly in relation to the pricing behavior of fat cattle (boi gordo). The increasing price volatility—driven by economic, sanitary, and political events—presents major challenges for the livestock supply chain and decision-making processes of producers, investors, and public managers.

Research alignment: This study is part of the Graduate Program in Organizational Management at the Federal University of Uberlândia and is directly connected to the area of concentration Regionality and Management, as it focuses on a key regional production chain with national impact. It also aligns with the Business Management research line, offering both theoretical and practical contributions by analyzing market behavior and proposing tools for informed managerial decision-making.

Objective: This dissertation aims to analyze the volatility of the spot price of fat cattle in Brazil from 2015 to 2024, with a special focus on the post-2020 period, when Brazilian dependence on Chinese exports intensified. It seeks to verify the existence of structural breaks in price behavior and evaluate how external shocks have influenced the volatility observed in the market.

Method: The study was conducted in two main stages. The first consisted of a scoping review of national academic literature to identify key themes, approaches, and gaps related to pricing and volatility in the fat cattle market. The second involved the application of GARCH-family econometric models, especially the t-ARMA(2,2)-GARCH(2,2), using daily data from CEPEA/USP and IBGE. This modeling enabled the measurement of volatility, detection of clusters, asymmetries, and identification of structural breaks associated with intensified trade with China.

Results: The findings indicate the presence of a structural break starting in 2020, marked by a significant increase in price volatility. This shift points to a new volatility regime in which the market has become more sensitive to global shocks and more exposed to international uncertainties. The intensification of exports and the impact of sanitary events, such as the COVID-19 pandemic, have contributed to sustained price instability, directly affecting the decision-making processes of supply chain agents.

Alignment with the Graduate Program's area of concentration and research line: This research contributes directly to the understanding of economic risk management in a regional production chain of strategic importance to Brazil. It is closely aligned with the Business Management area by focusing on local realities influenced by global phenomena, and with the **Business Management** research line by generating applicable knowledge for enterprise-level decision-making in the livestock sector.

Impact and innovative contribution to intellectual production: The innovation of this research lies in the combination of a structured scoping review with the application of a customized t-GARCH model adapted to the Brazilian context, using an extensive and up-to-date database. The study is among the few that critically explore the effects of

international trade relations on domestic agro-industrial markets and provides a foundation for future research on price risk, volatility modeling, and economic behavior in commodity markets.

Economic, social, and regional impact: The results of the study have direct practical application in designing hedging strategies, price forecasting, and financial risk management for farmers, cooperatives, meatpackers, and investors. Regionally, it offers relevant insights for states like Mato Grosso, Goiás, and Minas Gerais, where cattle ranching is economically significant. Socially, by contributing to a more stable and predictable market, it strengthens the sustainability of rural production and supports income generation and food security.

General implications: This research enhances the understanding of how international factors influence the volatility of essential commodity prices such as beef cattle. The findings suggest that strengthening price protection mechanisms and developing adaptive public policies are essential for maintaining stability in the Brazilian livestock sector. Additionally, the study reinforces the strategic importance of risk management in modern agribusiness.

Sustainable Development Goals addressed in the research: This dissertation aligns with SDG 2 – Zero Hunger and Sustainable Agriculture, by promoting the resilience of food systems; SDG 12 – Responsible Consumption and Production, by supporting more efficient and informed management practices; and SDG 8 – Decent Work and Economic Growth, by contributing to economic stability and the sustainability of livestock farming.

Keywords: beef cattle, market, spot price, futures price, volatility, China, exports.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Total de cabeças de gado por estado	13
Tabela 2 Critérios de pesquisa	29
Tabela 3 Periódicos e número de artigos	30
Tabela 4 Temática dos artigos	31
Tabela 5 Ferramentas Estatísticas	33
Tabela 6 Estatísticas descritivas dos retornos diários (%) à vista do boi gordo (2015-2024).....	45
Tabela 7 Testes de estacionariedade das séries ($n = 2.487$).....	45
Tabela 8 Parâmetros do modelo t-ARMA (2, 2) - GARCH (2, 2) para série dos logs-retornos diários do boi gordo entre 2015 e 2024	50
Tabela 9 Parâmetros do modelo t-ARMA (2,2) – GARCH (2,2) com quebra estrutural (>2020) para série dos logs-retornos diários do boi gordo entre 2015 e 2024	51

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Maiores países exportadores de carne bovina	14
Figura 2 Total de cabeças abatidas por ano no Brasil.....	20
Figura 3 Valor médio trimestral da arroba do boi gordo jul/18 a dez/24	21
Figura 4 Representação do ciclo pecuário	22
Figura 5 Temática por ano	32
Figura 6 Preço diário à vista do boi gordo entre 2015 e 2024 (CEPEA/USP)	42
Figura 7 Log retornos à vista do boi gordo entre 2015 e 2024	43
Figura 8 Log retornos trimmed do boi gordo entre 2015 e 2024.....	44
Figura 9 Log-retornos ao quadrado (trimmed) do boi gordo entre 2015 e 2024	47
Figura 10 Volatilidade condicional calculada para o período 2015-2024 a partir do modelo t-ARMA (2,2) – GARCH (2, 2) com quebra estrutural e sem quebra estrutural	53

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Contextualização do tema de pesquisa	13
1.2 Objetivos gerais e específicos da pesquisa.....	15
1.3 Relevância do estudo	16
1.4 Estrutura do trabalho	16
2 MERCADO DA ARROBA DO BOI GORDO, VARIÁVIES, PREÇOS E VOLATILIDADE: Uma Revisão de Escopo	18
2.1 Mercado do boi gordo.....	18
2.2 Mercado Futuro do Boi Gordo	22
2.3 Revisão de Escopo.....	28
2.3.1 <i>Análise quantitativa das referências da revisão de escopo.....</i>	<i>30</i>
2.3.2 <i>Conclusões sobre a Revisão de Escopo</i>	<i>37</i>
3 ANÁLISE DA VOLATILIDADE DA ARROBA DO BOI GORDO NO PERÍODO DE 2015 A 2024	39
3.1 Metodologia.....	39
3.2 Resultados	41
3.2.1 <i>Diagnóstico da Série.....</i>	<i>41</i>
3.2.2 <i>Equação da Média.....</i>	<i>47</i>
3.2.3 <i>Equação da Variância.....</i>	<i>49</i>
3.2.4 <i>Quebra Estrutural</i>	<i>51</i>
3.2.5 <i>Efeito assimétrico e outras distribuições</i>	<i>53</i>
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	54
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
6 PRODUTO TECNOLÓGICO.....	58
REFERÊNCIAS.....	60
APÊNDICES	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do tema de pesquisa

Desde 2015, o Brasil tem se posicionado como o principal país produtor de alimentos no mundo, segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne (ABIEC, 2023), atuando como produtor e exportador das commodities mais consumidas pelo mercado: milho, soja, etanol, café arábica, açúcar e boi gordo, ocupando posição estratégica nesse mercado e com capacidade produtiva ainda em desenvolvimento ou expansão (Freitas e Safadi, 2015; Pontes, Maia, Moraes et al., 2017).

A Bovinocultura brasileira evoluiu bastante na última década, adquiriu inovação tecnológica, melhoramento genético, criação de novos polos de produção e de abate, e aumento de produtividade. Vários estados elevaram sua produção em bovinos nas regiões Norte e Centro-Oeste, com destaque para o Mato Grosso, que a partir de 2002 se tornou o maior produtor e faz o maior número de abates segundo IBGE - 2019, conforme Tabela 1 a seguir.

Tabela 1

Total de cabeças de gado por estado

Unidade da Federação	Qtde de Cabeças (mil)
Brasil	238.626
Mato Grosso	33.994
Pará	25.041
Goiás	23.730
Minas Gerais	22.498
Mato Grosso do Sul	18.892
Rondônia	18.163
Bahia	13.291
Rio Grande do Sul	12.012
Tocantins	11.313
São Paulo	10.768
Maranhão	10.129
Paraná	8.774
Demais Estados	30.021

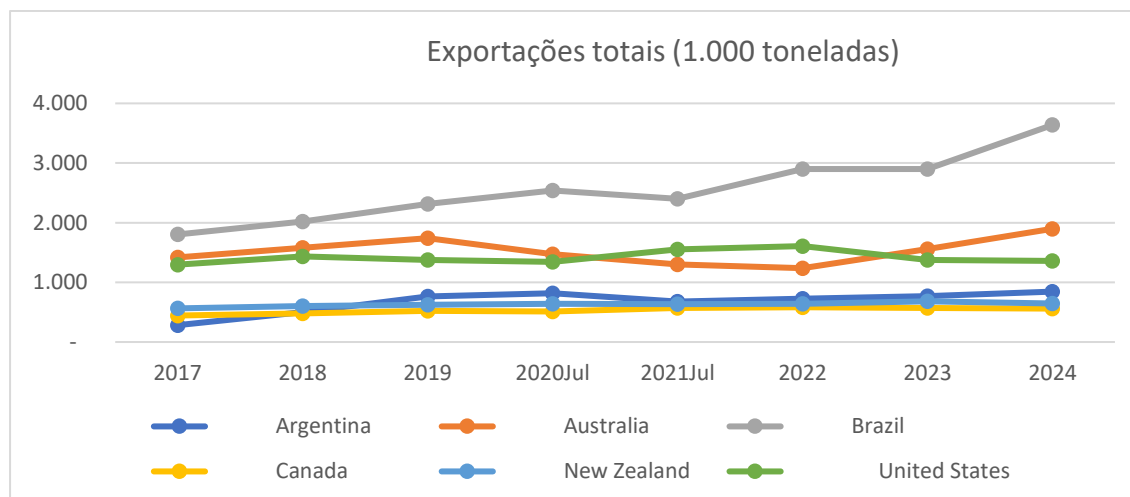
Fonte: IBGE - Pesquisa da Pecuária Municipal (2023).

Novos mercados foram conquistados no Oriente Médio, Rússia e China e, atualmente, o Brasil é o maior exportador de carne bovina do mundo conforme Figura 1. A oferta está direta e positivamente correlacionada com o preço, tendo em vista que as

regiões com maior número de abates são as formadoras de preço (Moraes et al., 2017; Pancera e Alves, 2020).

Figura 1

Maiores países exportadores de carne bovina



Fonte: USDA: United States Department of Agriculture (2025)

A pecuária também sofre influência da lei de oferta e procura, sendo que, em épocas de superofertas ou safra, as indústrias buscam preços mais baixos como consequência da maior disponibilidade de animais. O inverso também ocorre quando a oferta de animais fica menor e os pecuaristas retardam as vendas buscando valorização da arroba, o que pode ter relação direta com a volatilidade (Zanin e Nesi Filho, 2007; Pascoal et al., 2011; Baum e Soldara, 2018).

A partir do terceiro trimestre de 2019 foi observado no mercado brasileiro de commodities uma variação positiva de preços de seus principais produtos, em especial a commodity arroba do boi gordo, a qual obteve uma valorização de 100% de seu preço até o segundo trimestre de 2021 (CEPEA-USP), valorização ainda não documentada na história de acompanhamento dos preços realizado desde julho de 1997 pelo CEPEA-USP, para um mesmo período.

Observando essa variação de preços neste período, considera-se que se trata de um fenômeno que pode ser estudado e analisado e, a partir dos resultados, verificar se a volatilidade antes desse período é diferente da volatilidade depois. Com estes dados, identifica-se uma oportunidade de explorar quebras estruturais que possam ter relação com a variação de preços e até mesmo avaliar a intensidade da volatilidade, o que pode levar a um cenário de maior ou menor risco no mercado brasileiro da arroba do boi gordo.

1.2 Objetivos gerais e específicos da pesquisa

Considerando que houve uma valorização de cem por cento da arroba do boi entre o período de 2019 a 2021, que pode ser observada na figura 3, a dissertação buscou responder a seguinte pergunta de pesquisa: Como se comportou a volatilidade dos preços da arroba do boi gordo no Brasil entre 2015 e 2024, quais padrões podem ser identificados e se houveram eventos de quebra estrutural?

Dado este cenário, esse trabalho tem como objetivo geral:

- investigar a literatura sobre o mercado brasileiro dessa commodity, avaliar o comportamento da volatilidade de 2015 a 2024 e a ocorrência de quebra estrutural, utilizando as cotações diárias publicadas pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA.

Assim, identificam-se os seguintes objetivos específicos:

- identificar nível de mudança na volatilidade da arroba do boi, se houve mudança na intensidade e frequência da volatilidade;
- identificar quais quebras ocorreram no período e correlacioná-las com possíveis mudanças nas características verificadas na volatilidade;
- identificar se o mercado, após a alta relevante dos preços, se tornou mais ou menos arriscado, tendo como base as características verificadas na volatilidade.

O período de cotações diárias a ser pesquisado tem relação com o fato de a China ter entrado no grupo dos 10 (dez) maiores importadores de carne bovina do Brasil a partir de 2015, segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne – ABIEC.

Entender o comportamento da volatilidade pode ser fundamental para desenvolver estratégias de gestão de risco, definir políticas de hedge e orientar o planejamento de agentes econômicos inseridos na cadeia da carne bovina.

Nesse contexto, análises econométricas capazes de capturar a dinâmica da volatilidade nesse período tornam-se indispensáveis para aprofundar a compreensão sobre os mecanismos que governam a arroba do boi gordo.

Serão avaliadas a amplitude e a frequência das flutuações no preço, bem como o cenário que se desdobrou nesse período e buscar relações do mercado da arroba do boi gordo com acontecimentos que sugerem alguma influência nos preços caracterizando uma quebra estrutural.

A literatura sobre séries temporais financeiras e de commodities aponta os modelos da família ARCH (Autoregressive Conditional Heteroskedasticity) e, especialmente, os modelos GARCH (Generalized ARCH) como ferramentas robustas para analisar e prever o comportamento da volatilidade. O modelo GARCH (2,2), por sua vez, amplia a capacidade de captura de efeitos de segunda ordem, permitindo representar de maneira mais flexível choques persistentes e padrões de heterocedasticidade condicional presentes em séries de preços agrícolas. A escolha por esse modelo justifica-se pela necessidade de lidar com características típicas do mercado da arroba do boi gordo, como assimetrias, agrupamento da volatilidade e efeito da alavancagem, fenômenos frequentemente observados em commodities agropecuárias.

1.3 Relevância do estudo

Dado que o Brasil se posicionou como principal país exportador de carne bovina no mundo nos últimos 10 anos, conforme figura 1, pesquisar esse mercado contribuirá para que os participantes da cadeia produtiva possam ser cada vez mais eficientes e competitivos, encontrando oportunidades e se protegendo ao identificar e entender o comportamento da volatilidade da arroba do boi gordo. Com esse conhecimento, é possível traçar estratégias de precificação e proteção dos negócios neste mercado competitivo.

Este estudo pode auxiliar os participantes do mercado da arroba do boi gordo a entender melhor os possíveis impactos que uma quebra estrutural pode causar na volatilidade da arroba do boi e, de maneira mais segura, traçar estratégias e tomar decisões que favoreçam o resultado positivo nos negócios e reduzir os riscos, possibilitando melhor planejamento do ciclo produtivo, tendo em vista que o cenário mundial sinaliza um aumento gradativo do consumo de proteína e o Brasil apresenta condições de atender essa demanda.

1.4 Estrutura do trabalho

Esta dissertação está dividida em seis capítulos. Inicialmente, na introdução, procura-se contextualizar o tema e a importância de ser pesquisado. No segundo capítulo, é apresentada uma revisão de Escopo da Literatura sobre o mercado do boi gordo. No terceiro capítulo, aborda-se um estudo da volatilidade do preço da arroba do boi gordo. No quarto capítulo, apresenta-se o produto tecnológico desenvolvido. O quinto capítulo é

dedicado à conclusão e o sexto ao produto tecnológico, seguido das referências consultadas e apêndice.

2 MERCADO DA ARROBA DO BOI GORDO, VARIÁVIES, PREÇOS E VOLATILIDADE: Uma Revisão de Escopo

Neste capítulo, será avaliado o conteúdo produzido através de uma revisão de escopo da literatura no sentido de identificar as pesquisas realizadas sobre o mercado do boi gordo ao longo dos anos e o que pode afetar esse mercado, relacionando contribuições científicas a respeito de variáveis que podem interferir na volatilidade dessa commodity.

Cabe ainda ressaltar que não foram encontrados nas bases outros trabalhos de revisão de literatura semelhantes. É considerando este cenário que esta pesquisa tem o objetivo de revisar a literatura referente ao mercado do boi gordo e mais especificamente a volatilidade da arroba do boi.

Para melhor entendimento do conteúdo, além desta introdução, a seguir é apresentado o referencial teórico sobre o mercado do boi gordo; o mercado futuro, a revisão de escopo e as respectivas conclusões. Na terceira seção, os procedimentos metodológicos utilizados; na seção quatro, a discussão de resultados; e na última, as considerações finais apontando as limitações desse trabalho e sugestões para futuras pesquisas.

2.1 Mercado do boi gordo

Dentre as commodities comercializadas na B3, a arroba do boi gordo tem apresentado destaque com valorização de cem por cento comparando o preço médio de Out/2019 a Jul/2021 (Cepea-2020). Com cerca de 240 milhões de bovinos, o Brasil possui o maior rebanho comercial do mundo, segundo a Pesquisa Pecuária Municipal – IBGE 2023, conforme Tabela 1, razão pela qual esse mercado é importante economicamente, tanto para exportações como para o consumo interno.

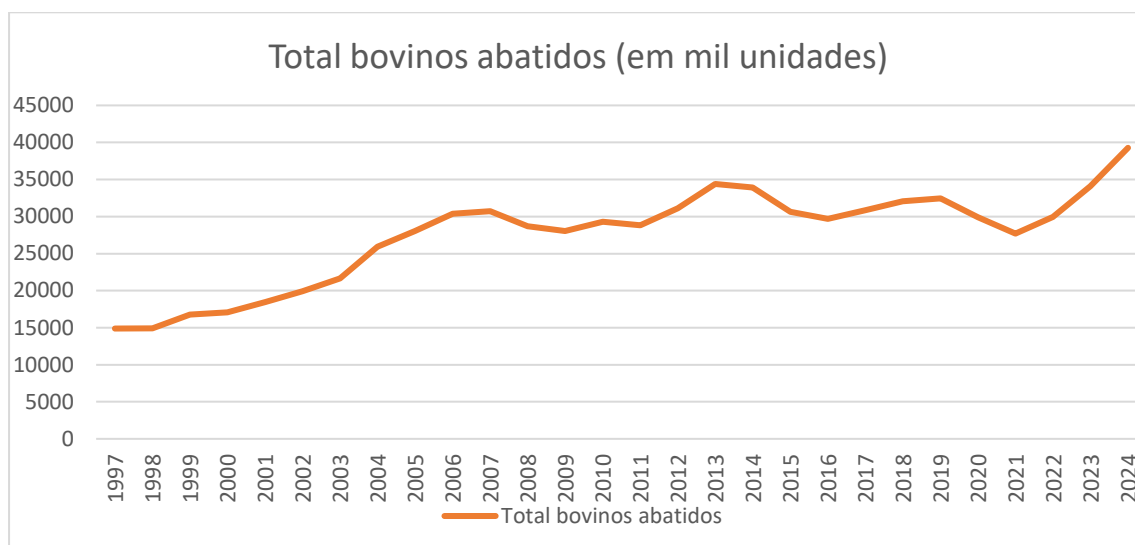
O preço da arroba do boi gordo é uma informação importante para a cadeia produtiva desta commodity, pois afeta o lucro dos agentes dessa cadeia, interfere na decisão de venda e compra da recria, no caso do pecuarista, como também afeta decisões de mercado em diferentes regiões do Brasil (Pancera e Alves, 2020). O boi gordo é uma das quatro commodities com negociação diária no Brasil Bolsa Balcão (B3), e a mais negociada ao lado do Café Arábica, Milho e Soja (Ribeiro et al., 2020).

A integração entre os mercados é um dos fatores que pode influenciar o preço do boi gordo e a assimetria nas informações entre os mercados pode provocar variação de preços e resultados ineficientes para os vendedores podendo, como consequência, afetar a volatilidade (Moraes et al., 2017; Ribeiro et al., 2020).

Para minimizar o risco de encontrar preços baixos da arroba do boi gordo no momento das negociações, os produtores buscam alternativas de proteção e projeção de ganhos maiores através de contratos de venda futura, caracterizando um relevante instrumento de *Hedge* (Pinho et al., 2017), negociando no presente o valor futuro da arroba do boi gordo e prevenindo contra a variação de preços da arroba (Lima e Faria, 2016), se protegendo em períodos de alta volatilidade.

Analisar os preços pode levar a uma conclusão sobre a eficiência dos mercados futuros, pois no futuro a tendência é que o preço físico se iguale àquele que foi projetado anteriormente, demonstrando cointegração entre o mercado futuro e *spot*, (Pancera e Alves, 2020). Além dos preços sinalizarem a demanda, também definem o patamar de lucro dos agentes da cadeia. Contudo, a análise de preços é atividade com certa complexidade, pois não é apenas uma função de oferta e demanda. Muitos são os fatores moderadores: estrutura do mercado, concorrência do setor, característica de consumo (preço e renda) e ocorrência de quebras estruturais (Pancera e Alves, 2020).

Conforme pode ser verificado na Figura 2, o volume de unidades abatidas vem crescendo anualmente chegando a atingir em 2013 o patamar de 2,3 vezes o volume anual da amostra de 1997 e em 2024 um recorde histórico, demonstrando que o Brasil está se estruturando para atender a demanda interna e externa, porém nos últimos 5 anos anteriores a 2024, o volume não seguiu a mesma rampa de tendência dos anos anteriores a 2013, explicando, em parte, porque no primeiro trimestre de 2021 a arroba superou R\$300,00 (CEPEA – ESALQ/USP), o que gerou um recorde histórico que foi alcançado em razão da maior demanda e de uma oferta insuficiente.

Figura 2*Total de cabeças abatidas por ano no Brasil*

Fonte: IBGE - Pesquisa Anualizada do Abate de Animais.

A integração de mercados evita a presença de assimetria de informações sobre a comercialização de produtos, formando um mercado mais eficiente e evitando a movimentação de produtos entre eles. Conhecer a integração e a comovimentação dos preços em vários locais é importante para entender a dinâmica desse mercado, auxiliando na elaboração de políticas (Moraes et al., 2017).

Segundo Moraes et al. (2017), regiões produtoras que não tem comércio entre si determinam os preços conforme a oferta e a demanda, mas quando existe comércio entre elas, o produto é transferido da região com menor preço para a de maior preço até os preços se igualarem, no caso do boi gordo os preços flutuam de acordo com os mercados doméstico e internacional, podendo intensificar a volatilidade.

Segundo Freitas e Sáfiadi (2015), as atividades agropecuárias estão sujeitas à flutuação de preços, à alteração de variáveis macroeconômicas como inflação, juros e câmbio; a fatores financeiros; de marketing; de tecnologia; de políticas econômicas específicas do setor; entre outros. Além disso, há riscos decorrentes de fatores edafoclimáticos, sazonalidade e perecibilidade dos produtos. Assim, a agropecuária opera em um ambiente de incerteza, por isso, a gestão de risco é relevante para a estabilidade e o retorno do agronegócio, embora sejam escassas as iniciativas de administração das incertezas (Pontes e Maia, 2017).

Eventos climáticos de alta intensidade no final de 2013 e a quebra estrutural resultante da fusão dos dois maiores frigoríficos JBS e Bertin em 2009 alteraram o

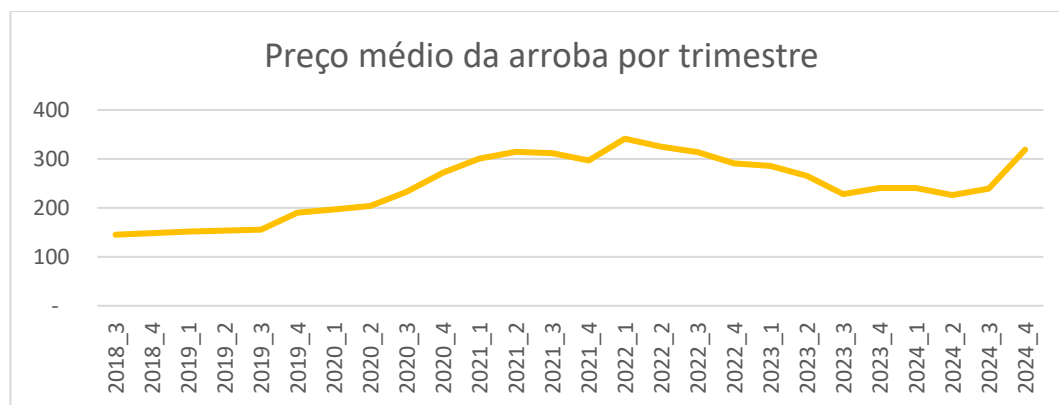
comportamento dos preços da arroba do boi segundo Pancera e Alves (2020), o que levou o mercado ao aumento da concentração do setor, reduzindo a concorrência e promovendo maior estabilidade dos preços com mercado mais concentrado, aumento de cointegração espacial e mudança do centro formador de preços. A quebra estrutural e os eventos climáticos são fatores exógenos interferindo na dinâmica de preços.

A integração de mercados pode ser entendida como a influência de preços de um mercado em outro, mesmo que cada mercado tenha sua própria maneira de determinar o preço, sejam estes mercados próximos ou não (Moraes et al., 2017). Existem os mercados locais e um mercado central, sendo o mercado central dominante na formação de preços do mercado local, sendo que os vendedores precificam seus produtos conforme seu concorrente mais próximo, mesmo em um mercado com produtores comercializando produtos homogêneos (Pancera e Alves, 2020).

No Brasil, o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA, publica diariamente a cotação da arroba do boi que é referência para a B3, conforme Figura 3 a seguir, onde pode-se identificar uma relevante variação positiva de preços entre Out/2019 a Jul/2021 e, mais recentemente, no ano de 2024.

Figura 3

Valor médio trimestral da arroba do boi gordo jul/18 a dez/24



Fonte: CEPEA (2021).

A determinação de preços para a arroba do boi gordo, principal commodity agropecuária de origem animal do Brasil, ainda é uma prática sem parâmetros formais do ponto de vista do produtor. Também não há conhecimento claro sobre os componentes que definem a forma como os preços são praticados pelos agentes compradores (Pascoal et al., 2011). Sendo assim, existem vários fatores que podem determinar ou influenciar a

formação do preço da arroba boi no Brasil, porque o ciclo pecuário possui momentos que favorecem a oscilação do preço ou a volatilidade conforme se verifica na Figura 4 a seguir.

Figura 4

Representação do ciclo pecuário



Fonte: Buainain, (2016).

Segundo Barbieri, Carvalho e Sabbag (2016), o custo da compra do animal e os elementos utilizados na dieta, em sistemas de produção semi-intensivo e intensivo, são os principais custos e o principal componente na formação do preço da arroba a ser vendida pelo produtor. Assim, o preço da reposição é um componente importante que influencia o preço da arroba do boi.

2.2 Mercado Futuro do Boi Gordo

As negociações no mercado futuro do boi gordo buscam a definição do preço entre vendedores e compradores para uma liquidação em uma data posterior. O comprador almeja proteger-se do risco de um preço alto enquanto o vendedor busca uma proteção para o risco de queda do preço. A Brasil Bolsa e Balcão (B3) negocia nesse mercado de contratos futuros do boi gordo cujo nome da *commodie* é BGI, despertando interesse em investidores institucionais e pessoas físicas, tanto pela possibilidade de especulação quanto pela proteção (Hedge) da volatilidade nos preços (Ribeiro et al., 2020). Além dos contratos futuros, há outros instrumentos como o mercado de derivativos e opções, o contrato futuro do boi gordo representou 47,61% do total de contratos de commodities negociadas na BM&F BOVESPA em 2011 (Pontes e Maia, 2017).

Considerando que existe especulação na atividade econômica do agronegócio, a flutuação de preços na cadeia produtiva do boi gordo representa um risco para esta atividade. Os animais vivos não são estocáveis e não tem a mesma estabilidade para preço à vista e preço futuro, não há expectativa certa de produção e distribuição constante, não há fornecedor fixo ou possibilidade de estocagem, além disso há um período entre comprar o gado e engordar, o que expõe a um cenário de alta volatilidade, previsão de preço difícil ou mesmo impraticável, o que imputa um risco inerente para a atividade. Os estudos mostram que há uma cointegração entre séries de preços à vista e futuro e causalidade bidirecional entre eles (Pinho et al., 2017).

Em 2015, de janeiro a março, os contratos de boi gordo foram em número o segundo mais negociado (29%) e o de maior volume financeiro (47,8%), dentre as commodities agrícolas, sendo uma das alternativas atrativas e seguras do hedge brasileiro se proteger contra perdas relativas ao boi gordo (de Lima e de Faria, 2016).

Uma fonte de incerteza dos agentes da agropecuária é o preço futuro, considerando que as séries de preços são cíclicas, os movimentos de baixa intensa promovem desestímulo à produção até mesmo inviabilizando-a. Considerando que os consumidores têm hábitos conservadores em períodos curtos de tempo, a oferta vai flutuar devido à alteração de variáveis, à incidência de pragas, à mudança tecnológica e às expectativas do produtor em relação ao preço futuro dos preços. Assim, a interdependência da oferta de longo prazo e a demanda de curto prazo podem resultar em acentuada volatilidade de preços.

Bressan apresentou dois estudos. O estudo 1995 já demonstrava a efetividade de Redes Neurais Artificiais (RNA) na previsão de valores mensais do boi gordo, resultados mais satisfatórios do que os obtidos pela BM&F.

Bressan (2004) estudou os modelos ARIMA, Redes Neurais Artificiais, e Modelos Lineares Dinâmicos, com dados de cotações semanais nos mercados físico e futuro, entre 1996 e 1999. Buscou calcular os retornos médios dos modelos em operações no mercado futuro de boi gordo, a fim de indicar o potencial ou limitação dos modelos, utilizando o índice Sharpe como parâmetro. Os resultados apresentaram retornos financeiros positivos na maioria dos contratos analisados, indicando o potencial desses modelos como ferramenta de decisão em negociações de contratos para datas próximas ao vencimento, com destaque para operações fundamentadas nas previsões nos MLD e ARIMA havendo, contudo, diferenças de desempenho preditivo.

Gaio et al. (2007) verificaram que a previsão na evolução do preço de uma commodity no futuro, continuavam sujeitas a níveis elevados de erros. Compararam

modelos de previsão de preço para o mercado de boi gordo na BM&F, utilizando modelos baseados em redes neurais e ferramentas estatísticas de modelagem de séries heterocedásticas, correspondentes aos fechamentos dos preços no período de 01 de agosto de 1997 a 27 de maio de 2005, com 1943 observações. Os resultados evidenciaram superioridade dos modelos baseados em redes neurais X modelo AR-EGARCH, uma vez que os valores de Erro Quadrático Médio e Raiz do Erro Quadrático Médio das previsões foram inferiores para as redes neurais.

O estudo de Pinheiro e Senna (2016) realizou comparações entre previsões dos preços de um grupo de commodities através do modelo espectral de análise multivariada com as obtidas por modelos clássicos de previsão e de redes neurais, em destaque na pauta de exportações no ano de 2013. O modelo espectral multivariado mostrou-se adequado, quando comparado com os demais, ao permitir melhores desempenhos preditivos. Os resultados obtidos no período fora da amostra, mediante o uso das medidas de erro e do teste estatístico, confirmam isso. A superioridade do modelo AESM foi comparada aos modelos HWa, HWm, SARIMA, ARIMA-GARCH e RNA, e permitiu maior número de melhores desempenhos das previsões.

Os estudos de Mattos et al. (2009) estimaram, através de um modelo de Correção de Erro Vetorial com Threshold (Modelo TVEC), prováveis efeitos dos custos de transação sobre a integração do mercado de boi gordo entre os Estados de Minas Gerais e São Paulo, através de dados mensais dos preços dessa commodity, no período de janeiro de 1972 a agosto de 2005. Os resultados indicam que os custos de transação nos mercados citados são significativos e diferenciados, considerando-se variáveis como infraestrutura de transporte e de comunicação, redução de taxas e despesas financeiras, e, por fim, barreiras técnicas que afetam na redução dos preços.

Moraes et al. (2017), abordaram o mesmo tema de integração na transmissão espacial de preços da arroba do boi gordo nos principais Estados produtores do Brasil entre 1995 e 2015, utilizando o Modelo Vetor de Correção de Erros (VEC). Os resultados indicaram transmissão bilateral e positiva entre o Estado do Paraná com Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e São Paulo, porém relações bilaterais negativas entre Mato Grosso do Sul e Santa Catarina, demonstrando a diferença de valores segundo a região.

Soares e Lopes (2015) estudaram os efeitos de quebras estruturais sobre integração de preços nos Estados da Região Sudeste e Centro-Oeste. Foram identificadas quebras importantes relacionadas ao período hiperinflacionário, e à crise internacional de 2007/2008 que influenciaram o entendimento da dinâmica conjunta das séries. Percebeu-

se, por exemplo, que os custos de transação foram maiores no período hiperinflacionário, mesmo com a cointegração nesta conjuntura. Houve instabilidade externa e a hipótese de relação estável em longo prazo foi rejeitada, ainda que com baixos custos de transação. Ressaltam os autores a necessidade de se considerar as possibilidades de quebras estruturais em análises de integração de preços da commodity em questão.

Pancera e Alves (2020), abordaram a dinâmica dos preços e as consequências de choques exógenos no mercado do boi gordo, e possíveis efeitos de mudanças estruturais da cadeia produtiva nos preços do boi gordo entre 2006 e 2017. Estudos recentes formadores de preços foram encontrados com abordagens defasadas, sem considerar os possíveis efeitos das quebras estruturais nas análises. Os autores usaram a proposta de Asche et al. (2012), para delimitar espacialmente o mercado do boi no Brasil pelo teste de cointegração de Johansen (1988, 1995) e identificar os centros formadores de preços pelo teste de exogeneidade fraca.

Resultados do teste: entre 2006 e 2008, a região de São Paulo apresentou maior influência nos preços de outras regiões. Entre 2009 e 2013 e 2014 a 2017, o Mato Grosso do Sul foi o Estado com maior influência nos preços. Desse modo, comprovou-se que as modificações verificadas no agronegócio do boi e os choques exógenos alteraram o mercado comum e o centro formador de preços no período analisado. Os resultados encontrados são de grande relevância para a sociedade.

Lazzarini et al. (1998) analisaram o mercado futuro de boi gordo na BM&F, com o objetivo de testar o efeito de inovações contratuais e outras variáveis exógenas, considerando o número de contratos em aberto e de negociação entre 1993 e 1996. A primeira alteração contratual buscou reduzir estes custos com entregas físicas em um único ponto; a segunda eliminou o processo de entregas físicas e passou a realizar a liquidação financeira por um índice de preços.

Os testes utilizaram regressões estruturais e de séries de tempo, especificando a primeira diferença do número de contratos em aberto como variável endógena. O efeito de ambas as inovações, na mensuração de variáveis *dummy*, foi positivo e significativo. Custos de impacto de mercado (parte dos custos de transação ex-ante) e a variabilidade de preços no mercado físico (mensurada pela variância condicional em processo GARCH) foram também significativos, apresentando efeitos negativos e positivos, respectivamente, o que é consistente com a teoria. A volatilidade de preços no mercado físico, mensurados pela variância condicional em processo GARCH, mostrou efeito positivo sobre a variação do número de contratos em aberto.

Oliveira et al. (2012) analisaram a margem de garantia e a volatilidade de volumes negociados que podem assegurar equilíbrio entre o custo de transação para os negociantes e uma margem de segurança de *clearing house*. Estimaram modelos generalizados de heterocedasticidade condicional (*GARCH-M*) univariados e verificaram a relação positiva nesse sentido, além do impacto negativo do volume defasado sobre a volatilidade de preços; por fim, identificaram uma relação positiva entre a margem de garantia e o volume negociado para o mercado futuro de boi gordo. Os resultados indicam aversão a risco dos negociantes em mercados futuros e a estimativa por modelo bivariado também foi recomendada.

Mól (2008) e Ribeiro et al. (2020) abordaram a volatilidade de retornos e o efeito de riscos de assimetria informacional em contratos futuros de commodities. Utilizaram o modelo de dados em painel (*com proxy para liquidez e spread*), verificando a presença de assimetria informacional nas negociações a *VPIN*, com variáveis de controle, de número de negócios, e de volume negociado. Por fim, foi verificado que o modelo ARCH apresentou bom desempenho, já que indicou que as variáveis consideradas são capazes de explicar 43,08% da variação do *spread* e uma relação positiva entre o risco de negócios com assimetria informacional e a liquidez de mercado, resultado diferente daquele apontado na literatura.

Para Pontes e Maia (2017), o modelo de Black (1976) subvaloriza os prêmios negociados no mercado, enquanto os modelos calculados com volatilidade EWMA e TARCH os supervalorizam. De modo geral, o modelo com volatilidade apresentou melhor desempenho nas análises realizadas.

Testes de volatilidade realizados por Freitas e Sáfiadi (2015) utilizaram o modelo de APARCH, e a volatilidade mais intensa foi observada para o boi gordo, com convergências às médias históricas.

Testes de segurança na oscilação de preços foram conduzidos por Carrer et al. (2012) e apresentam caráter inovador para esse segmento produtivo. Concluíram que produtores com maior receita na produção, intensidade em tecnologia no sistema de produção e menor alavancagem financeira possuem mais probabilidades de adotar contratos futuros. Os resultados deste estudo podem ser utilizados pelos agentes na gestão de risco para os produtores em São Paulo, como também pelo governo, incentivando a difusão de tais mecanismos.

O estudo de Silveira e Barros (2010) considerou posições compradas e vendidas em contratos de primeiro vencimento e de prazos superiores a seis meses. Com o uso da Teoria

do Portfólio, observaram-se expansões da fronteira eficiente na análise bianual e para os períodos 1994-1998 e 1999-2003, porém estas não foram estatisticamente significativas, conforme metodologia de Gibbons, Ross e Shanken (1989), resultado que não permite concluir ganho de desempenho do portfólio com a inclusão dos derivativos sobre commodities.

O objetivo de Bittencourt et al. (2006), Rosalem et al. (2008), Mól (2008), Cruz e Lima (2009), foi avaliar retornos para os produtores, exportadores e outros atores interessados em boi gordo, pelas estratégias de *hedge* com contratos futuros e gestão de riscos. Os dados primários sobre o valor da arroba do boi gordo no mercado local foram obtidos no Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA – ESALQ/USP), e o preço da arroba do boi no mercado futuro, junto à Bolsa de Mercadorias & Futuros (BM&F). A diferença de valores e da margem de risco dependem de características regionais (Rosalem et al. 2008). A estratégia de *hedge* de venda é melhor em abril, outubro e dezembro, e, para compra, maio e julho, ou seja, o sistema hedge tem dependência temporal (Bittencourt et al., 2006; Rosalem et al., 2008). Confirma-se a efetividade do modelo de Hedge (Cruz e Lima, 2009), que se mostra adequada para o mercado diante da volatilidade de commodities do boi gordo (Mól, 2008).

Viana et al. (2009) analisaram o comportamento histórico dos preços pagos ao produtor de bovinos de corte (obtidos junto à EMATER/RS) e os preços pagos pelos consumidores por diferentes cortes de carne bovina no Rio Grande do Sul nas últimas décadas (cortes alcatra, coxão de dentro, coxão de fora, patinho, chuleta, filé mignon, costela e paleta, obtidos junto ao IEPE/UFRGS). Os preços nominais foram deflacionados para dezembro de 2006 pelo IGP-DI/FGV, os preços reais pagos ao produtor foram ajustados por retas de regressão entre 1977 e 2006, pelo método dos mínimos quadrados. Os preços pagos por quilograma de peso vivo do boi gordo no Rio Grande do Sul apresentaram tendência declinante significativa de 1977 a 1994, havendo estabilidade entre 1995 e 2006, sem quedas no período, devido à estabilidade econômica e aumento do poder aquisitivo populacional. Os preços pagos pelo consumidor não acompanharam a queda dos preços pagos ao produtor, obtendo menor desvalorização no período analisado, ou seja, o setor jusante da cadeia, nas últimas décadas, tendeu a apropriar-se da maior parte do valor pago pelos consumidores. O filé-mignon teve aumento maior devido a exportações.

O estudo de Moita e Golon (2014) analisou a cadeia de carne bovina de corte no Brasil observando se há poder de mercado na relação comercial entre produtores rurais e

frigoríficos, em duas etapas: primeiro, fez-se uma caracterização da estrutura da indústria, concluindo-se que, de fato, a estrutura se aproxima de um oligopólio, com potencial para exercício de poder de mercado.

Continuando, na linha da Nova Organização Industrial Empírica (NOIE), o estudo dos autores desenvolveu um novo método econométrico para auferir poder de mercado em indústrias oligopsônicas, superando as limitações tradicionais da literatura. Utilizando a maximização de lucro dos frigoríficos e dados mensais por um período de 14 anos para o Estado de São Paulo, encontrou-se evidência de poder de mercado fraco no setor, o que permite descartar a hipótese criação de cartel.

Por fim, foi analisado que o poder de mercado não aumentou em anos recentes, mesmo com o aumento da concentração no setor. Os autores concluíram que o contingente de produtores rurais é grande e distribuído entre os principais estados produtores, enquanto os frigoríficos são poucos e grandes, concentrados nesses estados e especialmente em São Paulo, maior centro consumidor. Isso confirma a hipótese de que a indústria tem a estrutura de um oligopsônio e, portanto, tem potencial para exercer poder de mercado sobre os pecuaristas.

Como pode ser observado, existem vários fatores que dão causa à variação de preço da arroba do boi gordo: oferta e demanda, estrutura do mercado, concorrência do setor, característica de consumo (preço e renda), ocorrência de quebras estruturais, falta de integração dos mercados, presença de assimetria de informações, inflação, juros, câmbio, políticas econômicas, fatores edafoclimáticos, cadeia de custo (bezerro, transporte, dieta alimentar), sazonalidade e perecibilidade.

Portanto, há nesse contexto um campo amplo para pesquisas que direcionam esforços na tentativa de identificar modelos econométricos capazes de analisar múltiplas variáveis e trazer cenários com bom nível de previsibilidade do preço da arroba do boi e até da volatilidade.

2.3 Revisão de Escopo

A revisão de escopo da literatura realizada nesta dissertação envolve 50 artigos selecionados sobre o mercado do boi gordo. Essa revisão é apresentada segundo as variáveis de cada estudo na precificação em relação a volatilidade, contratos futuros, previsão de valores, integração entre Estados dentre outros fatores e transações que

envolvem as negociações do boi gordo no Brasil, cujas conclusões apontadas são dos próprios autores dos artigos.

Posteriormente, este estudo exploratório e analítico demonstra o foco das pesquisas realizadas e contribui para que novos trabalhos repetidos não sejam realizados, além de proporcionar uma melhor compreensão deste mercado, Galvão e Ricarte (2019).

Para o levantamento dos artigos utilizados na revisão, foram realizadas 4 consultas sobre publicações relacionadas ao mercado do boi gordo nas bases Scielo, SCOPUS, Spell e Periódicos Capes, utilizando os critérios de seleção a seguir indicados, resultando em 98 artigos, conforme Tabela 2 a seguir.

Tabela 2
Critérios de pesquisa

Filtro	Critério	Publicações em Bases de Dados				Total
		Scielo	SCOPUS	Spell	Periódicos Capes	
Palavras chaves	(ab:(boi gordo) or ab:(arroba boi gordo)) and (ab:mercado vista or ab:mercado futuro) or (ab:Brasil)	22	3	21	53	99
Ano	Sem Restrição					
Filtro de idioma	Português					
Tipo de documento	Artigos					
Outros	Revisado por pares	-	-	-	-	
Análise conteúdo	Temas fora do escopo de pesquisa	5	0	0	26	31
	Repetidos	0	3	3	12	19
Total utilizado		17	0	18	15	= 50

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Foram retirados da relação de documentos encontrados pela busca no site Scielo os artigos cujo conteúdo não tem relação com o mercado do boi gordo, eles apresentaram temas como: Governança, Confinamento de bovinos, Desflorestamento da Amazônia e Plantio de Eucalipto, restando 17 documentos adequados ao objetivo da revisão.

Na busca realizada no site Scopus com acesso CAFE, foram encontrados três documentos repetidos que já haviam sido catalogados na busca realizada na base Scielo.

O resultado da busca na plataforma Spell retornou 18 novos documentos e 3 repetidos com a pesquisa na base Scielo.

A pesquisa na base de Periódicos Capes com acesso CAFE retornou 53 documentos com 26 documentos não relacionados aos temas de pesquisa citando custos determinantes de preços, alimentação e confinamento de bovinos, fraudes no setor, governança e outros, 12 documentos já identificados nas pesquisas feitas nas bases anteriores e 15 novos documentos.

Os 50 artigos foram relacionados e organizados no software JabRef e posteriormente exportados para o Excel para que mais detalhes fossem adicionados e a correlação das informações fossem feitas através de tabelas dinâmicas.

Por delimitação do foco de pesquisa em artigos escritos em língua portuguesa não foram pesquisados artigos escritos em língua inglesa nas bases citadas, podendo ser objeto de trabalho futuro uma revisão dos artigos em língua inglesa escritos por autores brasileiros e de outras nacionalidades.

2.3.1 Análise quantitativa das referências da revisão de escopo

A base de artigos relacionada está agrupada em 32 fontes de publicação distintas, conforme Tabela 3 a seguir, classificadas de acordo com a quantidade de publicações. É possível identificar que 2 revistas concentram quase um terço das publicações sobre o tema de pesquisa da revisão, somando 14 artigos.

Tabela 3

Periódicos e número de artigos

Revista/Periódico	Núm. de Artigos
Revista de Economia e Sociologia Rural	10
Organizações Rurais & Agroindustriais	4
Brazilian Journal of Business	3
Economia Aplicada	2
Revista Brasileira de Economia	2
Revista Ciências Administrativas	2
Revista de Economia e Administração	2
Revista Enfoque	1
Revista Latinoamericana de Administración	1
Brazilian Business Review	1
Ciência e Agrotecnologia	1
Ciência Rural	1

Contabilidade Vista & Revista	1
Interface - Revista do Centro de Ciências Sociais Aplicadas	1
RAC - Revista de Administração Contemporânea	1
RAE eletrônica	1
Reuna	1
Revista Brasileira de Finanças	1
Revista de Administração Contemporânea	1
Revista de Administração da UFSM	1
Revista de Administração Mackenzie	1
Revista Gestão & Planejamento	1
Revista iPecege	1
Revista UNEMAT de Contabilidade	1
Nativa	1
Gestão e Desenvolvimento em Revista	1
Revista de Gestão e Secretariado	1
Revista de Micro e Pequenas Empresas	1
Desafio Online	1
Revista Evidenciação Contábil e Finanças	1
Revista Observatório de la Economía Latinoamericana	1
MDPI	1
Total	50

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ao ler os artigos foi possível identificar alguns constructos para agrupamento que formam uma temática principal e secundária, conforme classificado na Tabela 4 a seguir. É possível verificar que quase 73% dos artigos relacionam-se com o mercado futuro do boi gordo combinando fatores relacionados ao risco, à influência nos preços futuros e aos contratos futuros como forma de proteção, esses constructos sugerem um cenário de incerteza e volatilidade nos preços.

Tabela 4

Temática dos artigos

Temática Principal	Temática Secundária	Publicações	Percentual
Assimetria Informacional	Liquidez	1	2%
Cointegração	Contrato futuro	3	6%
	Determinação de preços	7	14%
	Poder de mercado	3	6%
Comportamento de preços	Volatilidade	5	10%
	Contrato futuro	8	16%
Integração de mercados	Transmissão de preços	3	6%
Mercado futuro	Contrato futuro – Hedge	18	36%
Quebras estruturais	Integração de mercados	2	4%

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Avaliando a distribuição dos artigos ao longo dos anos, já sabendo que a maioria trata de mercado futuro, podemos observar que a partir de 2013 houveram mais publicações que em anos anteriores, revelando que o mercado crescente passou a chamar a atenção, conforme Figura 5.

Figura 5
Temática por ano

Temática	98	99	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Total
Assimetria Informacional																				1					1
Cointegração								1	1	1															3
Comportamento de preços	1						1	1	1	1				2	1					1		1	4	1	15
Gestão de Risco		1										2				1		1			3				8
Integração de mercados					1				1								1								3
Mercado Futuro	1		1	1		1		2	1		1	1	1	1		2	1		1		3				18
Quebras Estruturais															1					1					2
Total	2	1	1	1	1	1	1	4	4	2	1	3	1	3	2	3	2	1	1	3	6	1	4	1	50

Fonte: Elaborado pelos autores (período 1998 a 2024).

Além da classificação dos temas, utilizando o software VOSviewer versão 1.6.15, foram identificadas 171 palavras chaves nos artigos, sendo possível verificar, através do tamanho das esferas, a ocorrência recorrente de boi gordo, volatilidade, cointegração, hedge, commodities, mercados futuros, business e outras. Além da recorrência, pôde-se perceber a relação entre essas palavras, que se apresentam relacionadas a partir do artigo em que foram citadas, representando um cluster de artigos, demonstrado através das linhas que ligam as palavras.

Os artigos também foram agrupados utilizando o software VOSviewer versão 1.6.15, sendo identificada a existência de agrupamentos que refletem a influência de um artigo sobre outro e até revelando redes de pesquisa entre os autores. O resultado mostrou que há grandes clusters ou agrupamentos formados por citações. Em geral o tema da revisão é abordado por pequenos clusters de 2 a 3 autores ao longo dos anos, revelando que há oportunidade de grupos se organizarem para sistematicamente produzirem mais conteúdos sobre o mercado do boi gordo.

A revisão demonstra que há uma concentração maior de artigos sobre comportamento de preços e mercado futuro, o que sugere uma grande preocupação com a incerteza no mercado desta *commodity*, logo, conhecer as variáveis que podem influenciar a volatilidade, que medeiam ou moderam o preço da arroba no mercado do boi gordo,

podem trazer melhor compreensão sobre este mercado e reduzir riscos para estes agentes, conforme verificado nos capítulos anteriores.

Conforme pode ser verificado na Tabela 5 a seguir, há um grande conjunto de ferramentas estatísticas que foram utilizadas nos artigos relacionados por essa revisão de escopo, inclusive é possível identificar que quando no título está relacionado volatilidade a ferramenta estatística utilizada quase sempre é o modelo GARCH incluindo testes estatísticos.

Tabela 5
Ferramentas Estatísticas

Autores	Título	Ferramentas estatísticas	Objeto de estudo
Arruda et al. (1998)	Considerações sobre a formação de preços na pecuária de corte	Custeio variável, Custeio por absorção	Comportamento de preços
Lazzarini et al. (1998)	Inovações contratuais em mercados futuros: o caso do boi gordo na BM&F	GARCH	Mercado Futuro
Bressan (1999)	Previsão de preços com um modelo de redes neurais artificiais	Redes Neurais Artificiais	Gestão de risco
Silveira e Ferreira Filho (2003)	Análise das operações de cross hedge do bezerro e do hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F	MMQO, ADF, AIC, SIC, AR	Mercado Futuro
Bressan (2004)	Tomada de decisão em futuros agropecuários com modelos de previsão de séries temporais	ARIMA, Redes Neurais Artificiais, e Modelos Lineares Dinâmicos	Mercado Futuro
Gaio et al. (2005)	Causalidade e elasticidade na transmissão de preço do boi gordo entre regiões do Brasil e a bolsa de mercadorias & futuros (BM&F)	Dickey-Fuller aumentado (ADF), VAR, VEC, ARCH-LM, causalidade de Granger	Integração de Mercados
Bitencourt et al. (2006)	Hedge dinâmicos: uma evidência para os contratos futuros brasileiros	GARCH BEKK bivariado	Mercado Futuro
Gaio et al. (2007)	Previsão de preço futuro do boi gordo na BM&F: uma comparação entre modelos de séries temporais e redes neurais	Redes neurais e AR-EGARCH	Comportamento de preços
Abitante (2008)	Cointegração entre os mercados spot e futuro: evidências dos mercados de boi gordo e soja	Dickey-Fuller Aumentado (ADF)	Cointegração

Autores	Título	Ferramentas estatísticas	Objeto de estudo
Mol (2008)	Séries de tempo com erros não lineares: uma avaliação da persistência e assimetria na volatilidade de derivativos de café e boi gordo na BM&F	Modelos assimétricos EGARCH, TARCH e GJR.	Comportamento de preços
Oliveira et al. (2008)	Análise das operações de hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o estado de Goiás	Dickey-Fuller aumentado (ADF), Durbin-Watson (DW), CIA e CSZ	Mercado Futuro
Rosalem et al. (2008)	Estratégia de comercialização em mercados derivativos: cálculo de base e risco de base do boi gordo em diversas localidades do Brasil	Comparação dos preços à vista e futuro, e o preço futuro atingido com o contrato.	Mercado Futuro
Da Cruz et al. (2009)	Efetividade nas operações de hedge com contratos de boi gordo da BM&F BOVESPA	Dickey-Fuller aumentado (ADF)	Mercado Futuro
Mattos et al. (2009)	Integração espacial de mercados na presença de custos de transação: um estudo para o mercado de boi gordo em Minas Gerais e São Paulo	TVEC	Integração de mercados
Moraes et al. (2009)	Análise da eficiência do mercado futuro brasileiro de boi gordo usando cointegração	ADF, AIC, SBC, LM, LB	Cointegração
Viana et al. (2009)	Evolução dos preços históricos da bovinocultura de corte do Rio Grande do Sul: tendência e comportamento dos preços em nível de produtor e consumidor	Regressão	Comportamento de preços
Bragança e Bueno (2010)	O ciclo pecuário no Brasil: Uma análise usando a metodologia da dinâmica de sistemas	VENSIM	Cointegração
Silveira e Barros (2010)	Uma análise da alocação de contratos futuros sobre commodities em portfólios diversificados	Teoria da Média e variância	Comportamento de preços
de Moraes (2011)	Descoberta de preço e cointegração entre preços físicos e mercados futuros para boi gordo: o caso de Itapetinga/BA	Causalidade de Granger	Mercado Futuro
Canguçu Oliveira et al. (2012)	Exame de margem de garantia e volatilidade sobre volume negociado: evidências para o mercado de futuros	GARCH-M, Dickey-Fuller Aumentado (ADF), LM de Breusch-Godfrey, efeito ARCH	Gestão de risco

Autores	Título	Ferramentas estatísticas	Objeto de estudo
	agropecuários da BM&F BOVESPA		
Carrer et al. (2012)	Fatores determinantes do uso de instrumentos de gestão de risco de preço por pecuaristas de corte do Estado de São Paulo	Logit	Gestão de risco
Leão (2012)	Comparativo entre mercados futuros agropecuários internacionais	Volume de contratos	Mercado Futuro
de Oliveira et al. (2013)	Eficiência do mercado futuro do boi gordo Brasileiro	VEC e VAR	Mercado Futuro
Marquezin e Mattos (2014)	Custo de liquidez do contrato futuro de boi gordo da bm&fbovespa	Modelo de ROLL, CDP, TWM, CFTC	Mercado Futuro
Moita e Golon (2014)	Oligopsônio dos frigoríficos: uma análise empírica de poder de mercado	ADF, 2SLS, OLS	Comportamento de preços
Silveira et al. (2014)	Derivativos sobre commodities influenciam a volatilidade dos preços à vista? Uma análise nos mercados de boi gordo e café arábica no Brasil	Testes de causalidade de Granger/decomposição da variância do erro de previsão, considerando modelos VAR/GARCH (1,1)	Comportamento de preços
Freitas e Sáfyadi (2015)	Volatilidade dos retornos de commodities agropecuárias Brasileiras:um teste utilizando o modelo APARCH	APARCH	Comportamento de preços
Soares e Lopes (2015)	Quebras estruturais sistêmicas e efeito threshold na dinâmica dos preços do boi gordo: o caso das regiões Sudeste e Centro-Oeste	M-TAR, VEC, VAR	Quebras estruturais
de Lima Silva e Faria (2016)	Estatística como ferramenta para mitigar o risco de preço sobre o hedge de boi gordo	Coeficiente de correlação de Pearson	Gestão de risco
Pinheiro e Senna (2016)	Previsão de preços através da análise espectral multivariada: evidências para commodities da BM&F bovespa	SARIMA, ARIMA-GARCH e RNA, AESM	Mercado Futuro
Rodrigues (2016)	Eficiência adaptativa nos mercados futuros agropecuários Brasileiros	Testes de dependências lineares,	Mercado Futuro
Moraes et al. (2017)	Integração espacial dos preços do boi gordo no mercado brasileiro (1995 – 2015)	VAR, VEC, ADF	Integração de mercados

Autores	Título	Ferramentas estatísticas	Objeto de estudo
Pontes e Maia (2017)	Precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&FBOVESPA	EWMA e TARCH, modelo de Black (1976)	Mercado Futuro
Castro e Neto (2018)	Risco na variação de preços agropecuários: Evidências empíricas para os mercados de soja, milho e boi gordo.	VAR, EGARCH, IGARCH, ADF, ARACH-LM	Gestão de risco
Gaio e Capitani (2019)	O desempenho do Hedge para contratos futuros de boi gordo: uma análise a partir das principais praças produtoras brasileiras	VEC, BEKK	Mercado Futuro
da Silva (2020)	A persistência dos choques sobre a volatilidade dos preços do boi gordo no estado de São Paulo	EGARCH, TARCH, APARCH, ADF, MQO, PP, KPSS, JB	Comportamento de preços
Pancera e Alves (2020)	Testando a hipótese do mercado central: uma análise dos preços do boi gordo na presença de quebras estruturais	Chow, ADF	Quebras estruturais
Ribeiro et al. (2020)	O risco de informação assimétrica sobre a liquidez dos contratos futuros de commodities agrícolas	VPIN, regressão multivariada	Assimetria informacional
Carvalho e Felema (2021)	Projeção do preço da arroba do boi gordo no estado de São Paulo utilizando modelos lineares dinâmicos	MLD	Mercado Futuro
de Jesus et al. (2021)	Avaliação da razão ótima e efetividade do hedge das commodities agrícolas negociadas na B3 com o uso do modelo GARCH-BEKK	GARCH-BEKK	Mercado Futuro
de Oliveira et al. (2021)	Qual a melhor estratégia de proteção contra o risco de preços do boi gordo para horizontes de planejamento de recria e engorda?	VM, GMT, VEC, VEC, CCC, BEKK	Gestão de risco
de Oliveira et al. (2021)	Gestão do risco de preços do boi gordo Paraguaio no mercado futuro do boi gordo Brasileiro	FH, VM, VEC, VEC, CCC, BEKK	Gestão de risco
Figueiredo e de Oliveira (2021)	Transmissão de risco entre os mercados do boi gordo Sul Mato Grossense e Paraguaio	BEKK, ARCH-LM, ARMA, ADF, KPSS	Gestão de risco
Zaparolli et al. (2021)	Hedge estático e dinâmico para contratos futuros do boi gordo na B3: uma análise comparativa	VEC, GARCH, BEKK	Mercado Futuro

Autores	Título	Ferramentas estatísticas	Objeto de estudo
Lucca et al. (2022)	Modelagem probabilística de preços máximos da commodity boi gordo para o estado de São Paulo	GVE, AIC	Comportamento de preços
da Silva e Carrer (2023)	Comportamento dos preços do boi gordo em São Paulo e as exportações de carne bovina brasileira entre os anos de 2015 e 2019	Análise quantitativa	Comportamento de preços
Pinheiro e Senna (2023)	Previsão de preços de commodities agrícolas através do modelo de análise espectral singular multivariada	AESM, AD, SW, DHO, DFA, KPSS, HW, SARIMA, EQM, EQA,	Comportamento de preços
Schroeder et al. (2023)	Os impactos da pandemia do Covid-19 para commodities brasileiras	EBITDA	Comportamento de preços
Teixeira et al. (2023)	Análise dos preços do boi e da carne nos diferentes elos da cadeia produtiva	ANOVA	Comportamento de preços
de Oliveira et al. (2024)	Eficácia dos candlesticks na sinalização dos preços futuros do boi gordo, café arábica e milho	Candlesticks	Comportamento de preços

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Foi possível identificar lacunas teóricas nos artigos relacionados à revisão do escopo relativas aos pequenos produtores, políticas públicas para o setor, segurança alimentar e seguro contra quebra de produção. Esses temas não apareceram ligados aos constructos utilizados na revisão do escopo, revelando que há oportunidade para pesquisas e artigos futuros complementares.

2.3.2 Conclusões sobre a Revisão de Escopo

O levantamento e análise dos artigos revelam que não houve um foco muito intenso ao longo dos anos em publicações sobre o mercado do boi gordo, citando como os preços da arroba são afetados por variáveis de mercado e como as variáveis de mercado afetam a volatilidade ou até estudos mais detalhados sobre a volatilidade da arroba na perspectiva univariada. Em geral, não há um grupo de pesquisadores na área trabalhando com o tema,

tendo em vista que foram identificados vários artigos isolados, sem conexão com outros grupos de pesquisa.

Os dados encontrados e analisados mostram que se trata de um setor em expansão e estratégico para os negócios internos e externos do Brasil, o mercado apresentou forte valorização desde 2019 e variação diária nos preços da arroba em relação à média diária, o que sugere que novos artigos devem abordar este fenômeno e logo serem publicados, justificando ainda mais esta revisão no sentido de publicar o conteúdo disponível nas bases utilizadas.

3 ANÁLISE DA VOLATILIDADE DA ARROBA DO BOI GORDO NO PERÍODO DE 2015 A 2024

Conforme já verificado nesta pesquisa, o contexto do mercado da arroba do boi gordo é influenciado por uma série de variáveis e fatores que podem afetar os preços da arroba e consequentemente provocar oscilações para maior ou para menor em relação a uma média no tempo.

A seguir, será demonstrada a investigação realizada a respeito da volatilidade da arroba do boi gordo no período de 2015 a 2024 sob as influências citadas anteriormente, e verificar-se-á se, neste período, a volatilidade foi afetada. Trata-se de um período em que a China se projeta como um dos dez maiores importadores de carne bovina brasileira, segundo a ABIEC.

3.1 Metodologia

A modelagem da volatilidade é essencial para a análise de risco financeiro. Diferentemente dos preços e retornos, a volatilidade não pode ser observada diretamente e precisa ser estimada através de modelos. Existem duas abordagens principais para essa modelagem: a volatilidade implícita, derivada dos preços de opções, e a volatilidade estatística, baseada em modelos aplicados a dados históricos de retornos (Poon & Granger, 2005).

A volatilidade implícita apresenta seus resultados previstos considerando os preços ao longo da vida de uma opção derivada do ativo estudado, incorporando assim um sentimento do mercado, cuja a tendência é que os preços de mercado se igualem aos preços estimados para as opções (Alexander, 2001).

Dentro da volatilidade estatística, há uma distinção entre modelos de volatilidade constante (não condicional) e modelos de volatilidade variável no tempo (condicional). Os modelos não condicionais, como média histórica e média móvel, assumem que a volatilidade é constante ao longo do tempo. No entanto, evidências empíricas sugerem que essa abordagem não é muito eficaz, especialmente em horizontes de curto prazo, e não captura a variação da volatilidade ao longo do tempo (Poon & Granger, 2005).

Os modelos de volatilidade condicional, por outro lado, permitem que a volatilidade varie no tempo e incorporem características observadas históricas nos mercados financeiros, como o agrupamento da volatilidade (períodos de alta volatilidade tendem a

ser seguidos por mais períodos de alta volatilidade, e vice-versa) e o efeito alavancagem (a volatilidade tende a aumentar mais após retornos negativos do que após retornos positivos de mesma magnitude). Esses modelos se baseiam na ideia de que a volatilidade atual depende de informações passadas.

A família de modelos ARCH (Autoregressive Conditional Heteroscedasticity), introduzida por Engle (1982), representou um avanço significativo na modelagem da volatilidade condicional. Um modelo ARCH assume que a variância condicional (a volatilidade ao quadrado) em um determinado período depende dos quadrados dos erros (ou inovações) nos períodos anteriores.

Bollerslev (1986) generalizou o modelo ARCH, permitindo que a variância condicional também dependesse de suas próprias defasagens. Esse modelo é conhecido como GARCH (Generalized ARCH). O modelo GARCH (1,1), que considera uma defasagem para os erros quadráticos e uma defasagem para a variância condicional, é a especificação mais comum devido à sua relativa simplicidade e robustez.

No modelo GARCH (1,1), o parâmetro alfa (α) mede a reatividade da volatilidade aos choques de mercado. Um alfa maior indica que a volatilidade reage de forma mais intensa a novas informações. O parâmetro beta (β) indica a persistência da volatilidade. Um beta maior sugere que os choques na volatilidade levam mais tempo para se dissiparem. A soma de alfa e beta indica a velocidade de convergência da volatilidade para o seu nível de longo prazo. Nos mercados financeiros, é comum observar coeficientes de persistência (beta) elevados e coeficientes de reação (alfa) relativamente baixos.

Os modelos ARCH e GARCH básicos tratam os retornos positivos e negativos de forma simétrica, pois a volatilidade é modelada em função do quadrado dos retornos. No entanto, observa-se o efeito alavancagem, onde retornos negativos tendem a causar um aumento maior na volatilidade do que retornos positivos de mesma magnitude.

Para capturar essa assimetria, foram desenvolvidas extensões dos modelos ARCH e GARCH. O modelo TARCH (Threshold ARCH) é uma dessas extensões. No TARCH (1,1), um parâmetro adicional, chamado gama (γ) ou "dummy", é introduzido para capturar o impacto assimétrico das notícias boas e ruins. Espera-se que gama seja positivo, indicando que retornos negativos ("bad news") têm um impacto maior na volatilidade do que retornos positivos ("good news").

Embora existam outros modelos mais sofisticados na família GARCH, como EGARCH (Exponential GARCH) e A-GARCH (Asymmetric GARCH), os modelos

GARCH e TARCH básicos são frequentemente utilizados devido à sua parcimônia, praticidade e facilidade na interpretação da estrutura a termo da volatilidade.

Os modelos da família ARCH, incluindo GARCH e TARCH, são ferramentas cruciais na modelagem e previsão da volatilidade nos mercados financeiros. Eles são amplamente aplicados em diversas áreas, como precificação de derivativos, gerenciamento de risco (incluindo o cálculo do Value at Risk - VAR), e em análises de política monetária (Alexander, 2001). A capacidade desses modelos de capturar características importantes da volatilidade, como a persistência, a reatividade a choques e o efeito alavancagem, os torna mais adequados do que modelos de volatilidade constante para muitas aplicações financeiras.

3.2 Resultados

3.2.1 *Diagnóstico da Série*

Conforme discutido na metodologia, as análises subsequentes concentram-se em avaliar a série diária do preço/retorno à vista do boi gordo entre o período 2015-2024 e modelar a volatilidade a partir de modelos parcimoniosos da família ARCH (aqueles mais utilizados na prática e pesquisa empírica). Depois de ajustar uma gama de modelos e escolher aqueles mais adequados para o período de 10 anos, será incluída uma variável dummy na equação da variância, identificando o período após 2020 como 1, a fim de avaliar se essa variável exógena ajuda a melhorar o ajuste do modelo e/ou muda a estrutura/regime da volatilidade do boi gordo à vista.

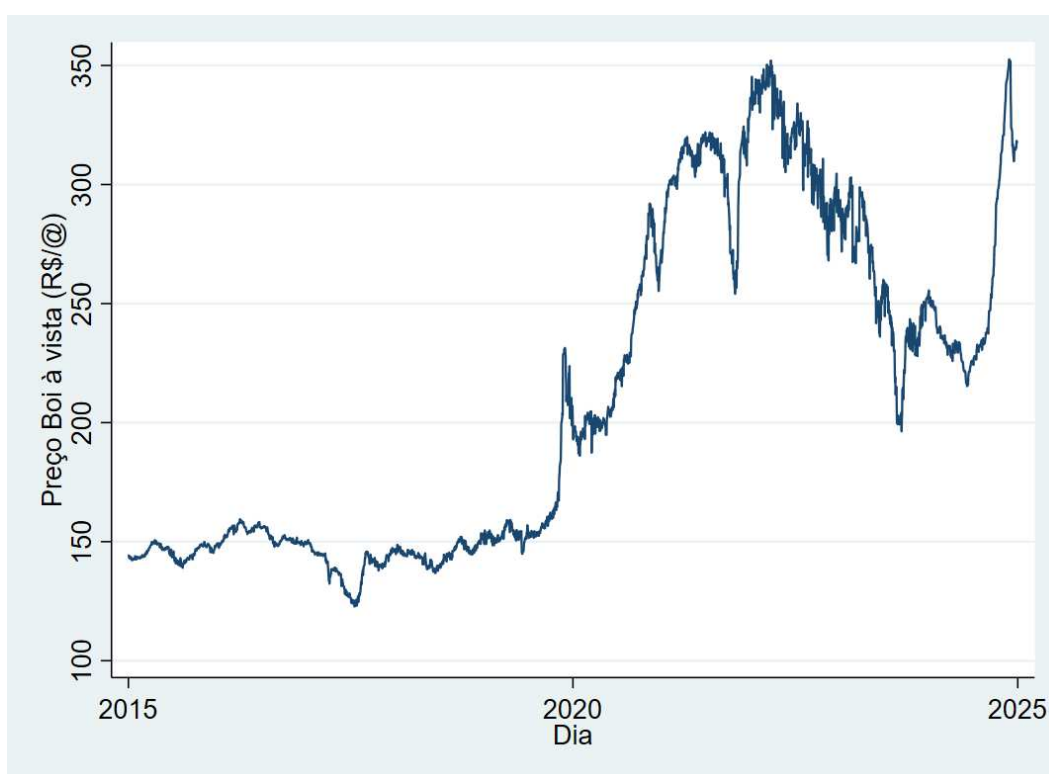
A Figura 6 apresenta a série do preço à vista do boi gordo no período analisado. Chama a atenção o aumento abrupto dos preços após 2020 e a característica nitidamente não estacionária dos preços. Na Figura 7 temos a série dos retornos, calculados de forma contínua (log retornos), para a série diária do boi gordo à vista no mesmo período. A figura indica que os retornos do boi gordo parecem ser estacionários e deixa latente três fatos importantes para os propósitos desta pesquisa:

1. Agrupamento da volatilidade: as flutuações dos retornos diários do boi gordo parecem ocorrer em aglomerados, com períodos de alta volatilidade seguidos por períodos de baixa volatilidade, e períodos de baixa volatilidade persistentes;

2. Aumento da volatilidade pós 2020: após 2020 os agrupamentos e picos de volatilidade parecem ter ficado mais salientes. Antes de 2020 a amplitude da variabilidade dos retornos diários do boi gordo se apresenta menor do que após 2020;
3. Outliers na série dos retornos: os picos dos retornos diários do boi gordo, acima de 5% ao dia, por exemplo, parecem acontecer de forma significativamente mais pronunciada após 2020.

Figura 6

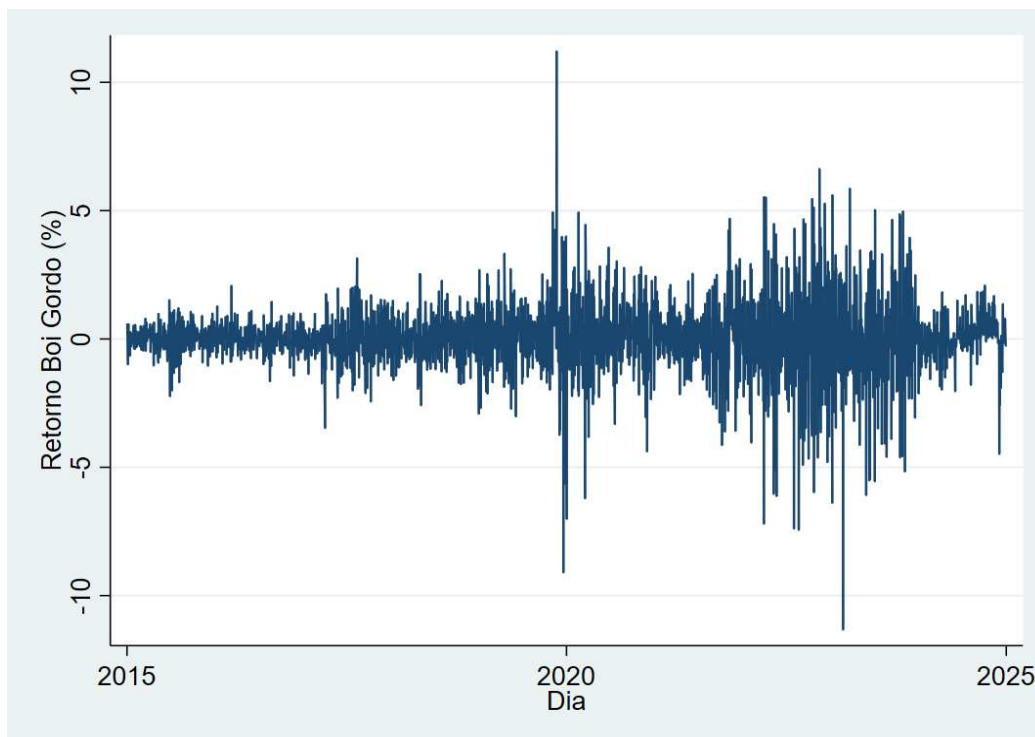
Preço diário à vista do boi gordo entre 2015 e 2024 (CEPEA/USP)



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Figura 7

Log retornos à vista do boi gordo entre 2015 e 2024



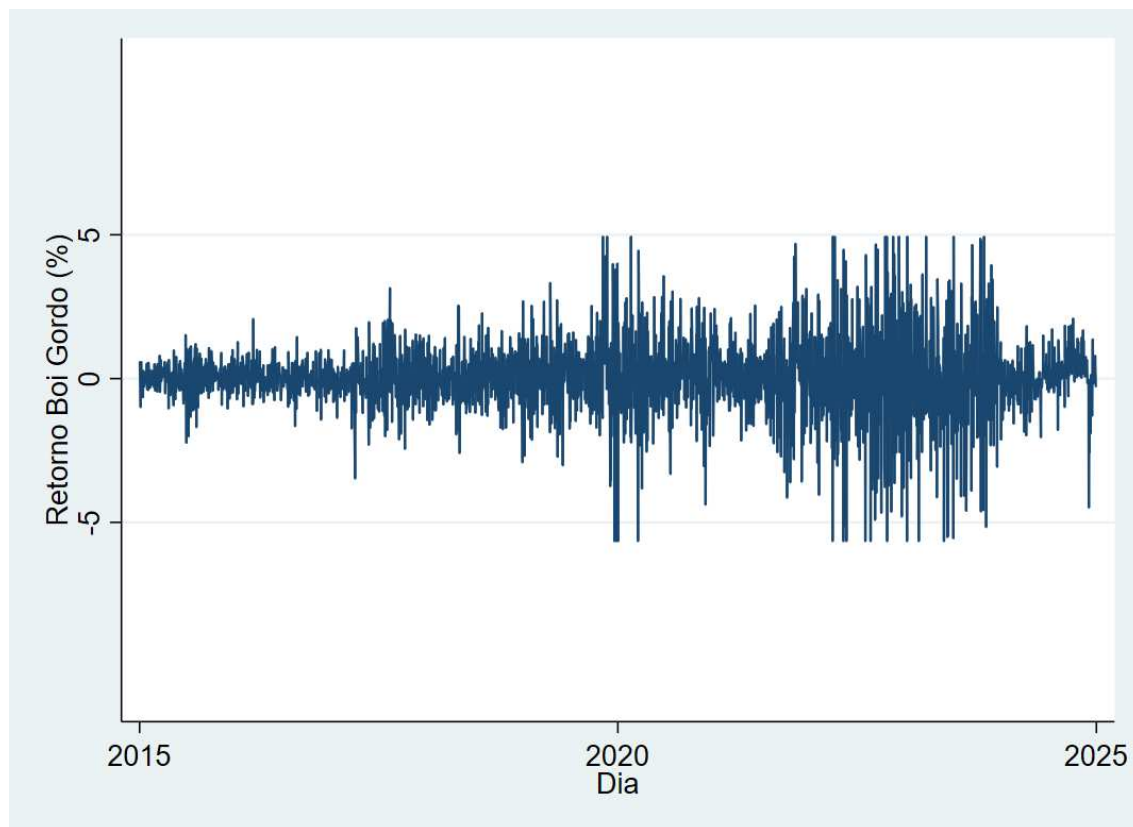
Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Sobre esse último ponto, é apresentada a Figura 8 com a mesma série de retornos, no entanto, com a substituição dos 0,5% valores da cauda inferior e superior pelos maiores/menores valores mais próximos. Esse processo de winsorização (trimming) a 1% para tratar os outliers é recomendado por Poon e Granger (2005) nessas condições.

A Figura 7 indica que os valores extremos não são pontos isolados, mas por precaução, mesmo que eles se repitam no futuro, optou-se por tratá-los no período em análise. Observa-se que tais valores ocorrem praticamente, apenas após 2020, e nesse sentido, mantê-los seria favorável para os propósitos deste estudo. Outliers que ocorrem com mais frequência podem indicar que o mercado entrou em um regime de volatilidade diferente (Poon, 2005).

Figura 8

Log retornos trimmed do boi gordo entre 2015 e 2024



Nota: Para o *trimming* dos outliers adotou-se o processo de winsorização a 1% (0,5% em cada uma das caudas da distribuição). As escalas desse gráfico são as mesmas do gráfico da Figura 7 (para comparabilidade).

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A Tabela 6 apresenta algumas estatísticas descritivas importantes e o teste de normalidade de Jarque-Bera para a série diária de retornos originais e sem os outliers (trimmed). Como esperado, os retornos são fortemente anormais (estatística Jarque-Bera altamente significativa), com assimetria levemente negativa (à esquerda) e leptocúrtica. Esse último ponto também pode ser visto nos histogramas dos retornos no Apêndice 1.1: pico mais acentuado (mais estreito e alto) em torno da média e caudas mais pesadas (mais “gordas”) em comparação à distribuição normal.

Tabela 6*Estatísticas descritivas dos retornos diários (%) à vista do boi gordo (2015-2024)*

Estatística	Original	Trimmed
Média	0,032	0,034
Mínimo	-11,319	-5,646
Máximo	11,203	4,926
Desvio-padrão	1,395	1,331
Assimetria	-0,431	-0,295
Curtose	10,894	6,764
Jarque-Bera	6.536*	1.505*

* Estatística $\chi^2_{(2)}$ de teste (p-valor < 0,000).

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

A winsorização (a 1%) dos retornos do boi gordo não alterou significativamente a média, o desvio-padrão e a assimetria da distribuição, mas alterou substancialmente a amplitude (máximo e mínimo) dos dados, com redução substancial do excesso de curtose. No entanto, mesmo após o tratamento dos outliers, o excesso de curtose permanece e nos direciona para um ajuste de modelos com outras distribuições além da normal (t de Student ou GED). A partir desse momento foi utilizada a série dos retornos diários (%) à vista do boi gordo sem outliers.

Apesar das fortes evidências visuais oriundas das Figura 7-9, para certificar, são apresentados os resultados dos testes de estacionariedade da série dos preços e retornos para o período em análise (tabela 7). É rejeitado fortemente a estacionariedade na série dos preços e não se rejeita a estacionariedade na série dos retornos diários sem outliers a partir de ambos os testes de estacionariedade (ADF e PP). O teste PP é mais confiável para os presentes fins, pois há suspeita da presença de quebra estrutural.

Tabela 7*Testes de estacionariedade das séries (n = 2.487)*

Série	Teste	Configuração	Estatística do Teste	Valores críticos		
				1%	5%	10%
Preços	ADF	(1)	0,774	-2,580	-1,950	-1,620
		(2)	-0,845	-3,430	-2,860	-2,570
		(3)	-1,908	-3,960	-3,410	-3,120
	PP	(1)	0,971	-2,580	-1,950	-1,620
		(2)	-0,648	-3,430	-2,860	-2,570
		(3)	-1,706	-3,960	-3,410	-3,120
Retornos	ADF	(1)	-13,457	-2,580	-1,950	-1,620
		(2)	-13,527	-3,430	-2,860	-2,570
		(3)	-13,533	-3,960	-3,410	-3,120
	PP	(1)	-67,481	-2,580	-1,950	-1,620
		(2)	-67,589	-3,430	-2,860	-2,570
		(3)	-67,592	-3,960	-3,410	-3,120

ADF = *Augmented Dickey-Fuller*; PP = *Phillips-Perron*; (1) Sem constante e tendência; (2) Com constante e sem tendência; (3) Com constante e tendência. Os retornos são a série de retornos diários do boi gordo à vista sem *outliers* (winsorizados a 1%). Testes executados com lags = 8, conforme proposta de Newey-West [inteiro $\{4 \times (n/100)^{(2/9)}\}$]. Para série diária do preço à vista do boi gordo não rejeitamos a presença de raiz unitária em todas as configurações dos testes e para a série dos retornos diários do boi gordo rejeitamos fortemente (p-valor < 0,001) a hipótese de raiz unitária: há fortes indícios que a série dos retornos sejam estacionárias.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Os correlogramas apresentados no Apêndice 1.2 também ratificam as suspeitas iniciais dos fatos estilizados visualizados na Figura 8:

1. Os retornos são fortemente auto correlacionados, principalmente na primeira defasagem ($\rho = -0,314$; p-valor < 0,000) e 11ª ($\rho = 0,084$; p-valor < 0,000), como apontam o correlograma das autocorrelações e autocorrelações parciais dos retornos;
2. Os retornos ao quadrado são fortemente auto correlacionados (p-valor da estatística Q de Yule-Walker < 0,000) até a 40ª defasagem, com as autocorrelações decaindo com o tempo. Adicionalmente, o teste ARCH-LM rejeita fortemente a ausência de efeito ARCH ($\chi^2(8) = 319,118$; p-valor < 0,000);

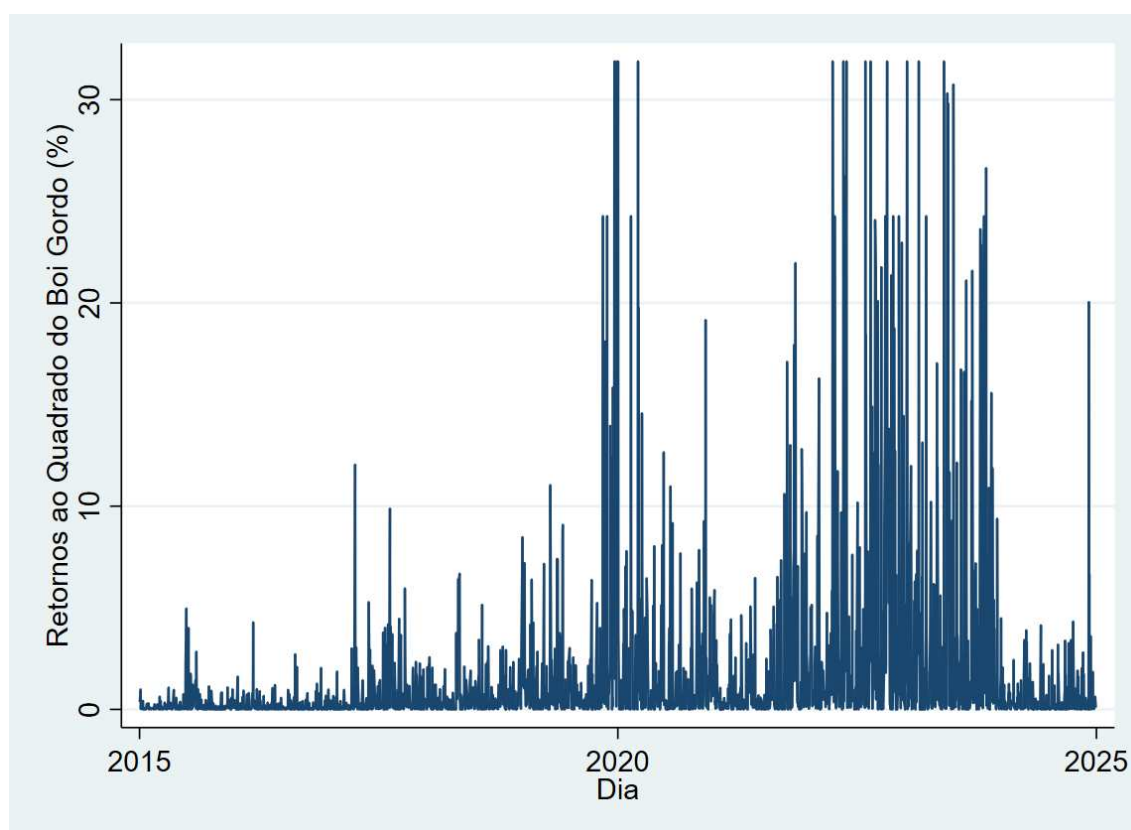
Além disso existe uma correlação de -0,053 (p-valor = 0,007) entre os retornos defasados e os retornos correntes ao quadrado, indicando potencialmente a presença de efeitos assimétricos na volatilidade. Inclusive, a série dos retornos ao quadrado do boi gordo, visualizados na Figura 9, lançam indícios que a estrutura da volatilidade possa ser diferente antes de 2020. Após 2020 observam-se picos recorrentes acima de 20% em diversos períodos, sendo que recentemente esses picos superaram 30%, no entanto, antes de 2020 houveram apenas dois picos um pouco acima de 10%. Ressalta-se que esses valores não estão considerando os eventos extremos (retornos trimmed ao quadrado), que poderiam deixar essa evidência muito mais pronunciada.

De fato, quando são utilizados os retornos ao quadrado como proxy para a volatilidade incondicional, esse valor é de $\sigma \approx 0,89$ antes de 2020 e $\sigma \approx 1,66$ após 2020 em média. Por essa ótica, a volatilidade incondicional depois de 2020 seria aproximadamente 87% maior do que antes de 2020.

Os diagnósticos discutidos nessa seção direcionam que os retornos diários do boi gordo (à vista) são estacionários e auto correlacionados, apresentam clusters de volatilidade e, potencialmente, sofrem de efeitos assimétricos. Além disso, os gráficos ilustrados nessa seção também lançam indícios que talvez o regime de volatilidade seja diferente antes e após 2020, carecendo assim, de maiores investigações.

Figura 9

Log-retornos ao quadrado (trimmed) do boi gordo entre 2015 e 2024



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

3.2.2 Equação da Média

Para o ajuste da equação da média dos modelos da família ARCH, com intuito de avaliar a quebra estrutural na volatilidade a partir de 2020, buscou-se a solução mais parcimoniosa disponível. A abordagem recomendada é primeiro modelar a equação da média de forma mais parcimoniosa, incluindo os termos necessários para remover qualquer estrutura previsível nos retornos, como autocorrelação serial (Alexander, 2001).

Nesse sentido, foi utilizado um processo automático de seleção de modelos ARIMA (pacote arimasel do Stata 17) para a série dos retornos diários (sem outliers) do boi gordo, a partir do Bayesian Information Criterion (BIC). Geralmente, esse critério de informação seleciona modelos mais parcimoniosos, em comparação aos outros critérios de informação disponíveis (AIC e LLR). Se um modelo ARMA simples resolver o problema de autocorrelação serial dos retornos, ele pode ser selecionado para avançar na modelagem da equação da variância, principalmente, quando o foco da análise é volatilidade e não o retorno. Em muitas situações basta uma equação da média com apenas uma constante e sem termos AR ou MA (Alexander, 2001).

Considerando apenas 11 defasagens dos termos AR e MA, foram avaliados 143 modelos concorrentes, e os menores valores de BIC indicaram um processo ARMA (3,4), ARMA (1,2) e ARMA (2, 2) como os três melhores modelos, nessa ordem, para explicar o processo gerador dos retornos diários do boi gordo. Os dois primeiros modelos, apesar de todos os termos AR e MA significativos, ainda apresentaram resquícios de autocorrelação serial nos resíduos nas defasagens 23, 29 e 31. Apesar de não ser um problema grave a permanência de autocorrelação serial em defasagens tão distantes, optou-se por reter o modelo ARMA (2, 2), que apresentou resíduos livres de autocorrelação serial até a ordem 40, conforme pode ser visualizado no Apêndice 1.3.

O modelo ARMA (2, 2) foi o terceiro em ordem de prioridade pelo BIC, pois o termo AR (2) foi somente marginalmente significativo ($p\text{-valor} = 0,075$). No entanto, o teste conjunto dos termos AR (1) e AR (2) nesse modelo retornou uma estatística altamente significativa ($\chi^2(2) = 435,94$; $p\text{-valor} < 0,000$). Como o foco não é a equação da média, optou-se por apresentar os coeficientes estimados em conjunto com a equação da variância na próxima seção.

Cabe ressaltar que nenhum modelo estimado para equação da média eliminou o problema do efeito ARCH, conforme pode ser verificado no Apêndice 1.3 para o modelo ARMA (2, 2), com o diagnóstico dos resíduos ao quadrado. A autocorrelação entre os resíduos ao quadrado, se mostra alta, fortemente significativa e persistente, corroborando a necessidade de modelar os agrupamentos de volatilidade por meio da equação da variância.

3.2.3 *Equação da Variância*

Para o ajuste dos modelos, foi considerado o comando arch do Stata 17 com distribuição t de Student, tendo em vista o diagnóstico inicial de picos altos e caudas longas da distribuição dos retornos diários do boi gordo. Esse comando ajusta modelos da família ARCH, a partir de uma função de máxima verossimilhança, com emprego de um misto de algoritmos de maximização no processo (BHHH, BFGS, DFP e NR).

Inicialmente, modelou-se a equação da variância com um modelo GARCH (1, 1), já que a literatura (Alexander, 2001; Poon e Granger, 2003) indica que esse modelo é o mais “genérico” e considerado suficiente para capturar muitos dos fatos estilizados da volatilidade nos mercados de capitais e financeiro, é o modelo mais popular para muitas séries temporais financeiras e é relativamente fácil de ser estimado, além de apresentar coeficientes robustos que são fáceis de serem interpretados em termos da estrutura da volatilidade (Alexander, 2001).

No entanto, um modelo GARCH (1, 1) não foi suficiente para eliminar o problema do efeito ARCH nos resíduos. A autocorrelação entre os resíduos ao quadrado foi significativa ($p\text{-valor} < 0,05$) até a sexta defasagem. Nesse sentido, buscou-se estimar modelos de ordem superior, porém parcimoniosos, e ajustou-se um modelo GARCH (2, 2) que se mostrou promissor. Esse modelo não apresentou autocorrelação serial nos resíduos e autocorrelação serial nos resíduos ao quadrado até a ordem 40, conforme identificado no Apêndice 1.4, indicando que com a equação da média ARMA (2, 2), adicionada à equação da variância GARCH (2, 2), conseguiu-se eliminar eventuais problemas relacionados às inferências. Os parâmetros desse modelo encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8

Parâmetros do modelo t-ARMA (2, 2) - GARCH (2, 2) para série dos logs-retornos diários do boi gordo entre 2015 e 2024

	Coefficiente	EP	Z	p-valor	[IC95%]	
					2.5%	97.5%
Eq. Média						
Constante	0.033	0.018	1.830	0.067	-0.002	0.069
AR(1)	0.992	0.055	17.950	0.000	0.883	1.100
AR(2)	-0.081	0.057	-1.430	0.153	-0.193	0.030
MA(1)	-1.332	0.050	-26.750	0.000	-1.429	-1.234
MA(2)	0.447	0.050	8.920	0.000	0.349	0.546
Eq. Variância						
Constante	0.002	0.002	1.460	0.144	-0.001	0.006
ARCH(1)	0.267	0.044	6.120	0.000	0.181	0.352
ARCH(2)	-0.220	0.048	-4.600	0.000	-0.314	-0.126
GARCH(1)	1.292	0.129	10.010	0.000	1.039	1.545
GARCH(2)	-0.334	0.115	-2.910	0.004	-0.560	-0.109
n =	2488		LLR =	-3.422		
χ^2 Wald test =	2942***		AIC =	6867		
df dist t =	5.45		BIC =	6931		

Nota: *** p-valor < 0,01; EP = erro-padrão; Z = Coeficiente/EP; LLR = log likelihood ratio; AIC = Akaike Information Criterion; BIC = *Bayesian Information Criterion*. O valor do grau de liberdade da distribuição t de Student (df dist t) > 2 indica uma decisão correta de se utilizar essa distribuição em detrimento da normal. De qualquer forma, a mesma especificação de modelo, exceto com distribuição normal, retorna critérios de informação piores.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Nota-se que a soma dos coeficientes (ARCH e GARCH) da equação da variância do modelo da Tabela 8 é igual a 1. Essa característica indica que o modelo GARCH estimado é altamente persistente em sua volatilidade, comportando-se de maneira idêntica a um modelo GARCH integrado (I-GARCH). Isso indica que choques passados na volatilidade tem efeito permanente na trajetória futura da volatilidade e praticamente não se dissipam. Nesse sentido, poder-se-ia considerar a estimação de um modelo integrado mais simples, tal como um EWMA (modelo de média móvel exponencial), no entanto, essa implicação afeta principalmente a previsão da volatilidade.

Em modelos integrados, o nível da volatilidade prevista não converge para uma média de longo prazo constante, mas sim para o nível vigente no momento da previsão, ajustado por novos choques. Nesse sentido, a capacidade de capturar características importantes da volatilidade, como a persistência, a reatividade a choques e o efeito de alavancagem, deixa de ser uma vantagem na modelagem proposta, quando comparada a modelos mais simples de volatilidade constante.

Como o objetivo desta pesquisa é avaliar o comportamento da volatilidade no passado, acredita-se que o modelo adotado é compatível com os fins propostos. Moedas e commodities tendem a apresentar volatilidades que não são reversíveis à média com a mesma intensidade observada em outros ativos financeiros. Na verdade, esses ativos podem não reverter à média de forma alguma (Alexander, 2001).

3.2.4 Quebra Estrutural

Com o modelo t -ARMA (2,2) – GARCH (2,2) ajustado, foi testada a inclusão de uma quebra estrutural (variável dummy indicando a data após 2020 = 1) para avaliar se haveria mudança na estrutura da volatilidade. Esse modelo encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9

Parâmetros do modelo t -ARMA (2,2) – GARCH (2,2) com quebra estrutural (>2020) para série dos logs-retornos diários do boi gordo entre 2015 e 2024

	Coefficiente	EP	Z	p-valor	[IC95%]	
					2.5%	97.5%
Eq. Média						
constante	0.033	0.018	1.830	0.067	-0.002	0.068
AR(1)	0.990	0.055	17.980	0.000	0.882	1.098
AR(2)	-0.081	0.056	-1.430	0.153	-0.191	0.030
MA(1)	-1.332	0.050	-26.800	0.000	-1.430	-1.235
MA(2)	0.448	0.050	9.000	0.000	0.350	0.546
Eq. Variância						
ARCH(1)	0.257	0.042	6.110	0.000	0.174	0.339
ARCH(2)	-0.204	0.046	-4.410	0.000	-0.295	-0.113
GARCH(1)	1.258	0.130	9.660	0.000	1.003	1.513
GARCH(2)	-0.309	0.115	-2.690	0.007	-0.534	-0.084
Eq. Multiplicação						
>2020	1.005	0.439	2.290	0.022	0.145	1.866
constante	-5.746	0.598	-9.610	0.000	-6.918	-4.574
n =	2488		LLR =	-3421		
χ^2 Wald test =	2949***		AIC =	6866		
df dist t =	5.59		BIC =	6936		

Nota: *** p-valor < 0,01; EP = erro-padrão; Z = Coeficiente/EP; LLR = log likelihood ratio; AIC = Akaike Information Criterion; BIC = Bayesian Information Criterion. O valor do grau de liberdade da distribuição t de Student (df dist t) > 2 indica uma decisão correta de se utilizar essa distribuição em detrimento da normal. De qualquer forma, a mesma especificação de modelo, exceto com distribuição normal, retorna critérios de informação piores.

Fonte: elaborado pelo autor (2024).

O modelo com quebra estrutural (Tabela 9) apresentou critério de ajuste melhores do que sem quebra estrutural (Tabela 8). Note que, quando comparado o termo de reação [ARCH(1) + ARCH(2)] da volatilidade no modelo sem quebra estrutural (Tabela 8) e com quebra estrutural (Tabela 9), esses valores são praticamente iguais (0,046 versus 0,053). Esses valores indicam que a volatilidade condicional do boi gordo reage de forma menos intensa aos movimentos de mercado e dependem mais do seu próprio histórico. Um valor ao redor de 0,05 é considerado baixo em comparação com os valores típicos de coeficientes estimados para dados diários em mercados financeiros (Alexander, 2001).

Da mesma forma, a persistência da volatilidade parece não alterar com a introdução da quebra estrutural. A soma dos termos GARCH(1) + GARCH(2), que estimam o fenômeno da persistência, indicam que a volatilidade do boi gordo é altamente persistente antes da quebra estrutural (= 0,958) como também após a quebra estrutural (= 0.949). Esses valores indicam que choques na volatilidade condicional do boi gordo levam um longo tempo para se dissipar (altamente inercial): se volatilidade estava alta ontem, é provável que ela permaneça alta hoje, independentemente dos eventos de mercado.

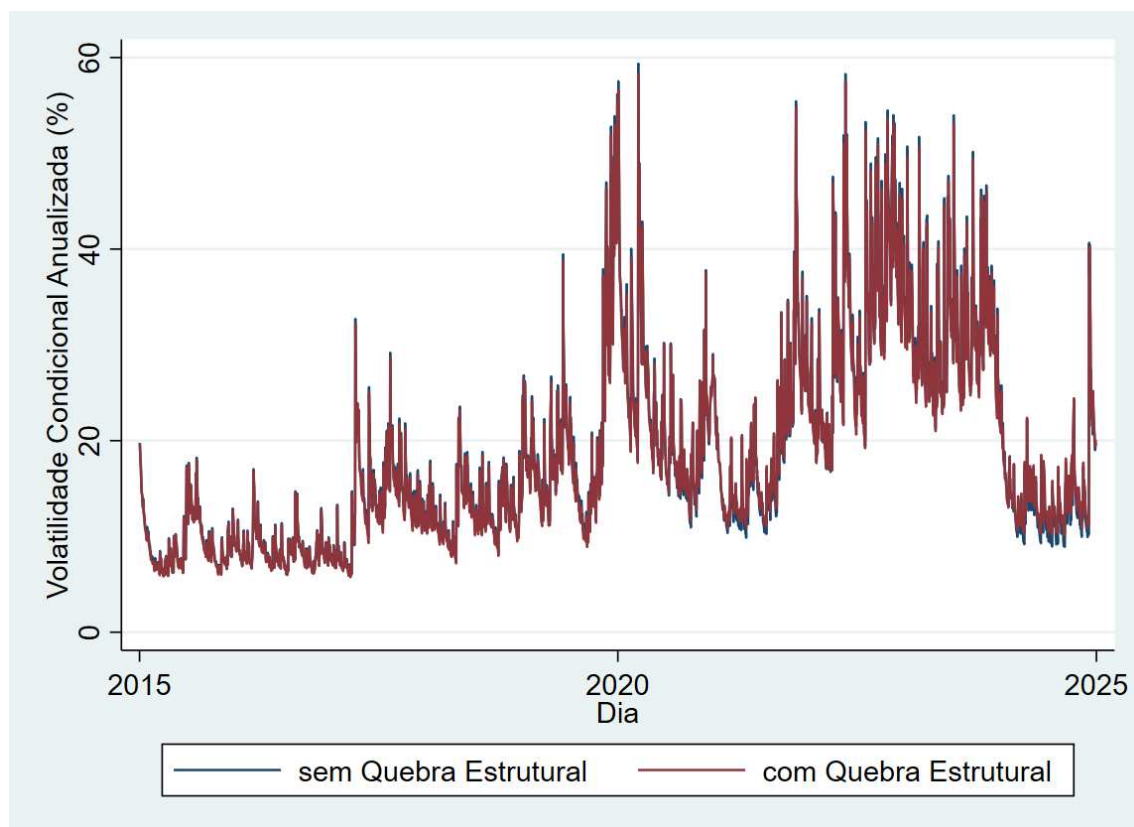
No entanto, é possível averiguar que o nível da volatilidade condicional alterou substancialmente após 2020, como se pode constatar pelo valor do coeficiente >2020 na equação da heterocedasticidade multiplicativa significativo a 5% (>2020 = 1.005; p-valor = 0.022). Esse valor indica que a volatilidade condicional após 2020 foi 65,26% maior do que antes de 2020¹, condizente com o valor estimado para a volatilidade incondicional na seção 3.2.1 que foi 87% maior após 2020.

A volatilidade condicional a partir dos modelos da Tabela 8 e Tabela 9 são plotados na Figura 10. Nota-se que as estimativas são praticamente as mesmas, tornando saliente apenas, que o modelo sem quebra estrutural subestima, levemente, a volatilidade condicional após 2020, como esperado, pois no modelo não se prevê uma mudança de nível. De uma forma geral, a figura também deixa evidente uma volatilidade maior após 2020.

¹ A variância condicional (estimada pelo modelo) é $\exp(1,005) = 2,731$ vezes maior durante o período da quebra estrutural, no entanto, para a volatilidade (desvio-padrão) esse valor é $(2,731)^{(1/2)} = 1.6526$ vezes maior, ou 65,26% $[(1-1.6526) \times 100]$ maior após 2020.

Figura 10

Volatilidade condicional calculada para o período 2015-2024 a partir do modelo t -ARMA (2,2) – GARCH (2, 2) com quebra estrutural e sem quebra estrutural



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

3.2.5 Efeito assimétrico e outras distribuições

Também foi estimado o efeito assimétrico dos retornos negativos na estrutura da volatilidade a partir de modelos TARCH e EGARCH. Os primeiros retornaram coeficientes de efeitos assimétricos não significativos². E sobre os segundos, quase nunca convergiram. Também foram estimados os mesmos modelos a partir da distribuição

² Isso de certa forma era esperado, pois o valor do coeficiente de autocorrelação entre os retornos defasados e retornos correntes ao quadrado na seção 3.2.1, apesar de significativo, foi baixo (= -0,053).

normal, que consistentemente indicaram piores critérios de informação. As estimativas a partir da distribuição GED não convergiram³.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apesar de alguns fatores como:

1. Incremento no preço da arroba do boi de Outubro/2019 a Julho/2021 de cem por cento passando de R\$160,00 para R\$320,00.
2. Identificação da Peste Suína Africana na China no terceiro trimestre de 2018 ao primeiro trimestre de 2021, provocando incremento de importação de carne bovina brasileira, segundo relatório Estatística da Produção Pecuária do IBGE out-dez 2019, promovendo aumento de em 20,8% do volume e 47,3% em valor de faturamento, comparado com out-dez de 2018.
3. Instalação da pandemia de Covid 19 a partir de Fevereiro/2020 até maio de 2023 anunciado pela OMS.
4. Embargo da China devido a suspeita de dois casos de encefalopatia espongiforme bovina atípica (vaca louca) no terceiro trimestre de 2021 segundo relatório de Estatística da Produção Pecuária do IBGE out-dez 2021;

Não é possível atribuir a alteração do nível da volatilidade condicional a uma das quebras estruturais citadas sendo que a volatilidade alterou substancialmente após 2020, como pode-se constatar pelo valor do coeficiente >2020 na equação da heterocedasticidade multiplicativa significativo a 5% ($>2020 = 1.005$; $p\text{-valor} = 0.022$). Esse valor indica que a volatilidade condicional após 2020 foi 65,26% maior do que antes de 2020, condizente com o valor estimado para a volatilidade incondicional na seção 3.2.1 que foi 87% maior após 2020.

Ainda é possível constatar que os efeitos da Peste Suína Africana e da Pandemia persistiram em 2021 e após, porém a partir de 2019 a China se posiciona como o principal importador de carne bovina brasileira, importando 6 vezes mais que os EUA, segundo

³ A literatura (Alexander, 2001) relata uma maior dificuldade e complexidade de se estimar modelos assimétricos (EGARCH) e com distribuição GED.

colocado em 2024, conforme a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes.

Respondendo ao problema de pesquisa item 1, pode ser identificado que houve quebra estrutural que antecede 2020, momento em que foi identificado o aumento da volatilidade, ainda neste período foi estabelecida a pandemia Covid 19.

Em 2020, a China se consolida como principal compradora de carne bovina brasileira, importando três vezes mais que o segundo colocado Hong Kong, segundo dados da ABIEC. Esse volume foi seis vezes maior em 2024, tendo como segundo país importador os Estados Unidos.

Respondendo ao problema de pesquisa item 2, pode ser afirmado que a característica da volatilidade também foi alterada, sendo que a volatilidade condicional após 2020 foi 65,26% maior do que antes de 2020, identificando alterações na intensidade e frequência.

Logo, conclui-se que, pela mudança nas características da volatilidade, o mercado da arroba do boi ficou mais arriscado desde 2020, cenário que sugere mais cautela e busca por ferramentas que possibilitem a proteção dos negócios dos pecuaristas nos contratos de venda. Conforme Cruz e Lima (2009) e Silveira et al. (2014), e os mercados físicos e futuros são cointegrados, causando bidirecionalidade entre preços spot e futuro, evidenciando que a volatilidade presente pode influenciar os preços dos contratos futuros, logo os contratos de hedge futuros podem ser uma ferramenta de proteção e sinalizar um cenário volatilidade no presente.

A posição de destaque Chinesa de principal importador, superando muito em volume o segundo lugar em 2024, expõe o Brasil a uma dependência forte das exportações para um único país, o que pode levar no futuro a uma mudança no comportamento dos preços da arroba do boi gordo caso essa situação seja alterada, o que remete a novos estudos sobre a volatilidade desta commodity.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ciclo de preços do boi gordo provoca intenso entusiasmo nos pecuaristas que procuram cada vez mais ofertar produto ao mercado quando a arroba está com preço elevado, inclusive sacrificando matrizes aptas ao abate, bem como desânimo em períodos de preço baixo, que motivam a saída da atividade, cedendo espaço na utilização das terras para outras commodities agropecuárias, com o caso da soja.

Neste período de observações, objeto desse estudo, é possível verificar uma mudança no nível da volatilidade condicional substancial após 2020, sugerindo que o cenário de negócios dessa commodity ficou mais arriscado. Através da pesquisa foi possível identificar um aumento expressivo de exportações para a China, tendo esta variável influência positiva sobre a volatilidade do preço da arroba do boi gordo.

A inovação tecnológica, o melhoramento genético, o aumento de produtividade, a modernização de sua indústria frigorífica e a capacidade do Brasil em desenvolver negócios posicionou o país como o maior exportador mundial de carne bovina, com capacidade de atender uma demanda exterior crescente devido a maior parte de sua produção, cerca de 80%, e ainda atender a demanda interna.

Os artigos trouxeram pouco conteúdo sobre políticas públicas aplicadas ao setor, sugerindo que há campo de pesquisa e desenvolvimento governamental, embora seja possível observar como exemplo a Portaria Ministério da Agricultura e Pecuária-MAPA nº 678 de 30 de abril de 2024 que classifica o Brasil como livre da febre aftosa sem vacinação, habilitando o Brasil a exportar para o Japão. Trabalhos futuros podem fazer uma investigação mais profunda e relacionar as políticas implementadas e suas consequências.

Uma das limitações desse estudo está relacionada à utilização de artigos de 4 bases, sendo sugerida a utilização outras bases e de teses e dissertações do mesmo período.

Esta pesquisa abre espaço para o desenvolvimento de diversos estudos futuros, aplicando esta mesma metodologia, como verificar a volatilidade de outras variáveis em relação ao processo produtivo do boi gordo.

Seria possível também verificar a volatilidade da arroba do boi gordo em outros países como os Estados Unidos e Austrália no mesmo período desta pesquisa, sendo estes países os principais concorrentes no mercado internacional de proteína bovina.

O estudo do conteúdo dos artigos permitiu perceber que alguns temas não foram abordados, como aqueles relacionados ao pequeno produtor neste mercado, abrindo boas

frentes de pesquisa, que inclusive podem verificar o cenário da agricultura familiar como agente deste mercado.

Foi possível constatar ainda que a literatura estudada não apresentou informações sobre a participação de investidores nesse mercado, certamente essa lacuna pode ser explorada em pesquisas futuras a fim de identificar se há participação desses agentes e de que forma eles atuam e influenciam esse mercado.

6 PRODUTO TECNOLÓGICO

Esta dissertação buscou explorar a volatilidade, as variáveis que interferem no preço da arroba do boi, as quebras estruturais e os outros fatores relacionados ao risco deste mercado.

Foi identificado que houve alteração na intensidade da volatilidade, sugerindo que o mercado oferece um ambiente de maior risco.

O objetivo do produto tecnológico é disponibilizar uma ferramenta de capacitação para os atores do mercado da arroba do boi gordo para que o conhecimento científico publicado através de artigos seja distribuído.

Além do conhecimento formal, será possível incorporar o conteúdo publicado em relatórios de órgãos governamentais como o IBGE na ementa do produto tecnológico. Adicionalmente, relatórios de entidades de mercado como a ABIEC devem ser considerados em seu conteúdo complementar, com uma visão mais informal os achados em repositórios acadêmicos e institucionais.

Este produto também incorpora a possibilidade de desenvolver um canal de comunicação da UFU com a comunidade do setor do agronegócio brasileiro, mais especificamente na pecuária de corte.

Além da abordagem acadêmica sobre a volatilidade do preço da arroba do boi e outras variáveis de mercado, este produto visa proporcionar um momento para discussão profissional sobre a temática e proporcionar a cooperação entre os participantes no sentido de propiciar conhecimento do negócio e assim viabilizar a proteção financeira do negócio através de contratos futuros.

PROPOSTA DE MINICURSO PARA PECUARISTAS DA BOVINOCULTURA DE CORTE

01 – Identificação do Minicurso: Avaliação das variáveis do mercado da bovinocultura de corte

02 – Objetivos de aprendizagem: Capacitar o aluno a entender as principais variáveis de mercado, como o mercado está estruturado no ano corrente e perspectivas para o próximo ano, avaliar o contexto de preços e volatilidade da arroba do boi gordo e debater sobre alternativas de proteção disponíveis como contratos futuros e seguros. Trazer à tona as inovações do setor.

03 – Modalidade de oferta: remota com carga horária de 8 horas

04 – Duração: 1 dia

05 – Número de vagas por turma: 500

06 – Frequência da oferta: anual, no primeiro trimestre, após fechamento dos principais relatórios de mercado do ano anterior.

07 – Periodicidade das aulas: ao longo de 2 dias

08 – Turno das aulas: manhã ou tarde

09 – Será utilizado conteúdo descrito em telas de power point que devem seguir a explanação pelo instrutor, espaço para perguntas e respostas e interações via chat.

10 – Realizar avaliação de impacto com objetivo de capturar pontos de melhoria e sugestão para temas ou tópicos de interesse desse público.

11 – Ementa: Avaliação da capacidade produtiva. Perspectivas sobre os principais importadores de carne bovina brasileira. Histórico dos preços do último ano. O ciclo pecuário em relação ao ano corrente. Principais artigos e conclusões científicas publicadas no ano anterior. Debate sobre cenário de riscos e quebras estruturais. Perspectivas para o próximo ano.

12 - Justificativa: O Brasil é o principal exportador mundial de carne bovina, com possibilidade de crescimento devido a investimentos acontecendo em melhoria genética bovina e em processos produtivos. Esse status pode se manter por muito tempo, no entanto, foi verificado nesta dissertação que há carência de pesquisas acadêmicas sobre este mercado, considerando a quantidade de artigos publicados. Insta salientar que quanto mais conhecimento for compartilhado, maior será a busca por melhoria, por isso, capacitar os atores deste mercado é necessário para preparar o Brasil para manter em posição de destaque.

REFERÊNCIAS

- Abitante, K. G. (2008). Cointegração entre os mercados spot e futuro: Evidências dos mercados de boi gordo e soja. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 46(1), 75-96. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000100004>
- Alan Bojanic, A. B. (2017). Representante da FAO Brasil apresenta cenário da demanda por alimentos. *Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura – FAO*. <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/pt/c/901168/>
- Alexander, C. (2001). *Market models: A guide to financial data analysis*. John Wiley & Sons.
- Arruda, A. G. S., Lanari, C. S., & de Souza, A. A. (1998). Considerações sobre a formação de preços na pecuária de corte. *Contabilidade Vista & Revista*, 9(4), 3-11.
- Barbieri, R. S., Carvalho, J. B. D., & Sabbag, O. J. (2016). Análise de viabilidade econômica de um confinamento de bovinos de corte. *Interações (Campo Grande)*, 17, 357-369. [https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.3\(01\)](https://doi.org/10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.3(01))
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3), 307–327. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(86\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(86)90063-1)
- Bragança, R. C., & Bueno, N. P. (2010). O ciclo pecuário no Brasil: Uma análise usando a metodologia da dinâmica de sistemas. *Revista de Economia e Agronegócio*, 8(2). <https://doi.org/10.25070/rea.v8i2.166>
- Buainain, A. M., & Santos, M. C. dos. (2016). Influência do cenário macroeconômico na bovinocultura de corte brasileira. *XI Jornada NESPRO*, 8-23.
- Bitencourt, W. A., Silva, W. S., & Sáfadi, T. (2006). Hedge dinâmicos: Uma evidência para os contratos futuros brasileiros. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, 8(1), 71-78.
- Bressan, A. A. (1999). Previsão de preços com um modelo de redes neurais artificiais. *Revista Reuna*, 1(10). <https://doi.org/10.1590/S1676-56482004000100005>
- Bressan, A. A. (2004). Tomada de decisão em futuros agropecuários com modelos de previsão de séries temporais. *RAE eletrônica*, 3(1), 0-0.
- Canguçu Oliveira, H. N., Mattos, L. B., & da Costa Silva, M. M. (2012). Exame de margem de garantia e volatilidade sobre volume negociado: Evidências para o mercado de futuros agropecuários da BM&FBOVESPA. *Revista de Economia e Administração*, 11(4). <https://doi.org/10.11132/rea.2012.663>
- Carrer, M. J., Silveira, R. L. F. D., Souza Filho, H. M. D., & Vinholis, M. D. M. B. (2013). Fatores determinantes do uso de instrumentos de gestão de risco de preço por pecuaristas de corte do Estado de São Paulo. *Ciência Rural*, 43(2), 370-376. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782013000200030>
- Carvalho, M. L. P. D., & Felema, J. (2021). Projeção do preço da arroba do boi gordo no estado de São Paulo utilizando modelos lineares dinâmicos. *Revista de Economia e*

Sociologia Rural, 60(spe), e249166. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.249166>

- Castro, M. C., & Neto, W. A. D. S. (2018). Risco na variação de preços agropecuários: Evidências empíricas para os mercados de soja, milho e boi gordo. *Revista Econômica do Nordeste*, 49(1), 83-97. <https://doi.org/10.61673/ren.2018.437>
- da Cruz, A. C., & de Lima, J. E. (2009). Efetividade nas operações de hedge com contratos de boi gordo da BM&FBOVESPA. *Revista de Economia e Administração*, 8(1). <https://doi.org/10.11132/rea.2002.281>
- da Silva, C. A. G. (2020). A persistência dos choques sobre a volatilidade dos preços do boi gordo no estado de São Paulo. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 25017-25037. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-089>
- da Silva, C. M., & da Costa Carrer, C. (2023). Comportamento dos preços do boi gordo em São Paulo e as exportações de carne bovina brasileira entre os anos de 2015 e 2019. *Revista de Gestão e Secretariado*, 14(10), 18209-18214. <https://doi.org/10.7769/gesec.v14i10.3040>
- de Jesus, D. P., de Oliveira, F. A., & Maia, S. F. (2021). Avaliação da Razão Ótima e Efetividade do Hedge das Commodities Agrícolas Negociadas na B3 com o Uso do Modelo Garch-Bekk. *Revista Evidenciação Contábil & Finanças*, 9(2), 61-81. <https://doi.org/10.22478/ufpb.2318-1001.2021v9n2.50483>
- de Lima Silva, T., & de Faria, A. F. G. (2016). Estatística como ferramenta para mitigar o risco de preço sobre o hedge de boi gordo. *Revista iPecege*, 2(1), 40-56. <https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2016.1.40>
- de Moraes, G. I. (2011). Descoberta de preço e cointegração entre preços físicos e mercados futuros para boi gordo: O caso de Itapetinga/BA. *Revista Ciências Administrativas*, 17(2), 514-542.
- de Oliveira Neto, O. J., & Garcia, F. G. (2013). Eficiência do mercado futuro do boi gordo brasileiro. *Revista Latinoamericana de Administración*, 26(2), 199-229. <https://doi.org/10.1108/ARLA-06-2013-0065>
- de Oliveira Neto, O. J., Figueiredo, R. S., & Machado, W. B. (2021). Gestão do risco de preços do boi gordo Paraguaio no mercado futuro do boi gordo Brasileiro. *Brazilian Journal of Business*, 3(1), 553-578. <https://doi.org/10.34140/bjbv3n1-034>
- de Oliveira Neto, O. J., Rezende, S. O., & Machado, W. B. (2021). Qual a melhor estratégia de proteção contra o risco de preços do boi gordo para horizontes de planejamento de recria e engorda?. *Brazilian Journal of Business*, 3(1), 428-455. <https://doi.org/10.34140/bjbv3n1-027>
- de Oliveira Neto, O. J., de Melo, M. V. B., & da Silva Barbosa, J. (2024). Eficácia dos candlesticks na sinalização dos preços futuros do boi gordo, café arábica e milho. *Enfoque: Reflexão Contábil*, 43(2), 57-77. <https://doi.org/10.4025/enfoque.v43i2.62167>

- Eduardo Ribeiro, J., Artur de Souza, A., & de Abreu Moraes, E. (2020). O risco de informação assimétrica sobre a liquidez dos contratos futuros de commodities agrícolas. *Revista Brasileira de Finanças*, 18(2). <https://doi.org/10.12660/rbfin.v18n2.2020.81072>
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50(4), 987. <https://doi.org/10.2307/1912773>
- Fávero, L. P. L., & Belfiore, P. P. (2017). *Manual de análise de dados: Estatística e modelagem multivariada com Excel, SPSS e Stata*. [S.l.: s.n.]
- Figueiredo, R. S., & de Oliveira Neto, O. J. (2021). Transmissão de risco entre os mercados do boi gordo sul-mato-grossense e paraguaio. *Desafio Online*, 9(1). <https://doi.org/10.55028/don.v9i1.7300>
- Freitas, C. A. D., & Sáfiadi, T. (2015). Volatilidade dos retornos de commodities agropecuárias brasileiras: Um teste utilizando o modelo APARCH. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(2), 211-228. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005302002>
- Gaio, L. E., Castro Junior, L. G. D., & Oliveira, A. R. D. (2005). Causalidade e elasticidade na transmissão de preço do boi gordo entre regiões do Brasil e a bolsa de mercadorias & futuros (BM&F). *Organizações Rurais e Agroindustriais*, 7(3), 1-16.
- Gaio, L. E., & de Castro Júnior, L. G. (2007). Previsão de preço futuro do boi gordo na BM&F: Uma comparação entre modelos de séries temporais e redes neurais. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, 9(2).
- Gaio, L. E., & Capitani, D. H. D. (2019). O desempenho do hedge para contratos futuros de boi gordo: uma análise a partir das principais praças produtoras brasileiras. *Organizações Rurais & Agroindustriais*, 21(1-3), 65-78. <https://doi.org/10.48142/2238-68902019v21n1-3p6578>
- Galvão, M. C. B., & Ricarte, I. L. M. (2019). Revisão sistemática da literatura: Conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da Informação*, 6(1), 57-73. <https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>
- Lazzarini, S. G., Zylbersztajn, D., & Takaki, F. S. (1998). Inovações contratuais em mercados futuros: O caso do boi gordo na BM&F. *Revista de Administração Contemporânea*, 2(3), 7-26. <https://doi.org/10.1590/S1415-65551998000300002>
- Leão, I. A. (2012). Comparativo entre mercados futuros agropecuários internacionais. [Sem dados adicionais].
- Lucca, E. F., Liska, G. R., Santos, J. A., & Matiussi, A. C. (2022). Modelagem probabilística de preços máximos da commodity boi gordo para o estado de São Paulo. *Nativa*, 10(1). <https://doi.org/10.31413/nativa.v10i1.13291>
- Marquezin, C. L., & Mattos, L. B. D. (2014). Custo de liquidez do contrato futuro de boi gordo da BM&FBOVESPA. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 15(4), 164-192. <https://doi.org/10.1590/1678-69712014/administracao.v15n4p164-192>

- Mattos, L. B. D., Lima, J. E. D., & Lirio, V. S. (2009). Integração espacial de mercados na presença de custos de transação: Um estudo para o mercado de boi gordo em Minas Gerais e São Paulo. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 47(1), 249-274. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032009000100009>
- Moita, R. M., & Golon, L. A. (2014). Oligopsônio dos frigoríficos: Uma análise empírica de poder de mercado. *Revista de Administração Contemporânea*, 18(6), 772-794. <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac20141196>
- Mól, A. L. R. (2008). Séries de tempo com erros não lineares: Uma avaliação da persistência e assimetria na volatilidade de derivativos de café e boi gordo na BM&F. *Revista Interface-UFRN/CCSA*, 5(2). ISSN Eletrônico 2237-7506.
- Moraes, B. M. M., de Medeiros, A. P., de Oliveira, G. X., & Bender Filho, R. (2017). Integração espacial dos preços do boi gordo no mercado brasileiro (1995–2015). *Revista UNEMAT de Contabilidade*, 6(11). <https://doi.org/10.30681/ruc.v6i11.2141>
- Moraes, A. S., Lima, R. C., & Melo, A. D. S. (2009). Análise da eficiência do mercado futuro brasileiro de boi gordo usando cointegração. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 47(3), 601-614. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032009000300003>
- Pancera, A. D. Q. A. A., & Alves, A. F. (2020). Testando a hipótese do mercado central: Uma análise dos preços do boi gordo na presença de quebras estruturais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 58(4). <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2020.206751>
- Pascoal, L. L., et al. (2011). Relações comerciais entre produtor, indústria e varejo e as implicações na diferenciação e precificação de carne e produtos bovinos não-carcaça. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(Supl. Especial).
- Pinheiro, C. A. O., & de Senna, V. (2023). Previsão de preços de commodities agrícolas através do modelo de análise espectral singular multivariada: Agricultural commodity price forecasting through the multivariate singular spectrum analysis model. *Brazilian Journal of Business*, 5(1), 677-692. <https://doi.org/10.34140/bjbv5n1-044>
- Pinho, F. M., Junior, A. F. A., & Camargos, M. A. D. (2017). A comparative study on different statistical models for calculating the optimal hedge ratio in the live cattle market. *Organizações Rurais e Agroindustriais*, 19, 160-176. <https://doi.org/10.21714/2238-68902017v19n3p160>
- Pontes, T., & Maia, S. (2017). Precificação de opções sobre contratos futuros de boi gordo na BM&FBOVESPA. *Economia Aplicada*, 21(4), 737-760.
- Poon, S.-H. (2005). *A practical guide for forecasting financial market volatility*. John Wiley & Sons Ltd.
- Poon, S.-H., & Granger, C. (2005). Practical issues in forecasting volatility. *Financial Analysts Journal*, 61(1). <https://doi.org/10.2469/faj.v61.n1.2683>

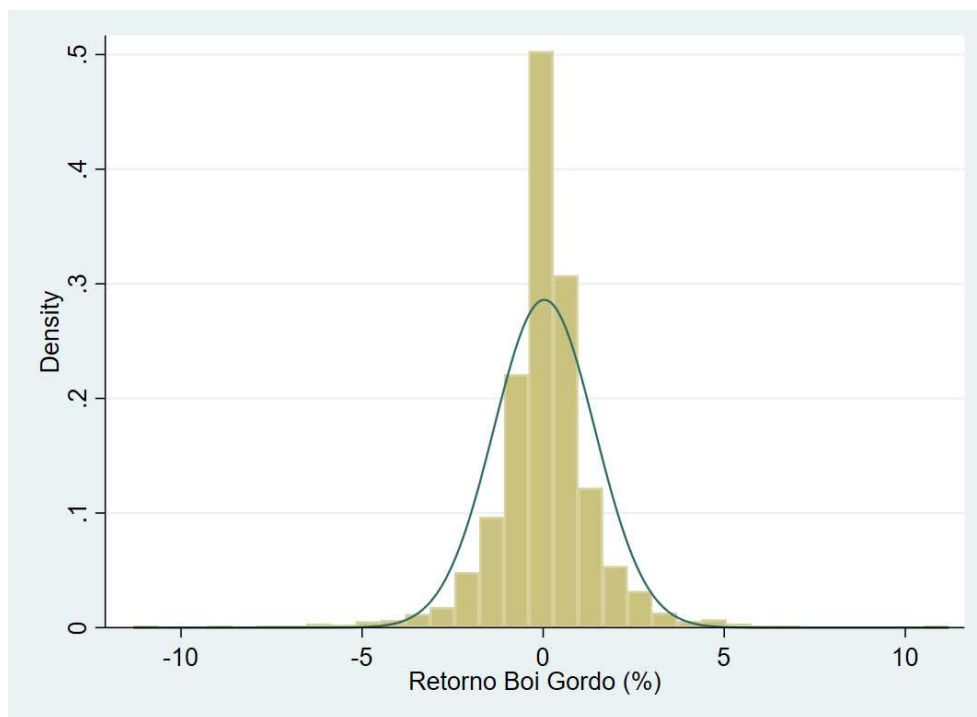
- Poon, S.-H., & Granger, C. W. J. (2003). Forecasting volatility in financial markets: A review. *Journal of Economic Literature*, 41(2), 478–539. <https://doi.org/10.1257/002205103765762743>
- Oliveira Neto, O. J. D., & Figueiredo, R. S. (2008). Análise das operações de hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o estado de Goiás. [Sem dados de publicação].
- Pinheiro, C. A. O., & de Senna, V. (2016). Previsão de preços através da análise espectral multivariada: Evidências para commodities da BM&Fbovespa. *Brazilian Business Review*, 13(5), 133. <https://doi.org/10.15728/bbr.2016.13.5.6>
- Rochelle, T. C. P., & Ferreira Filho, J. B. D. S. (2000). Cash settlement impact on fed cattle futures contract basis risk in Brazil. *Revista Brasileira de Economia*, 54(2), 141-163.
- Rodrigues, M. A. (2016). Eficiência adaptativa nos mercados futuros agropecuários brasileiros. *Revista Brasileira de Economia*, 70(2), 245-267. <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20160012>
- Rodrigues, M. A., & Martines Filho, J. G. (2015). Eficiência nos mercados futuros agropecuários brasileiros. *Economia Aplicada*, 19(2), 349-368. <https://doi.org/10.1590/1413-8050/ea91170>
- Rosalem, V., Gomes, C. S., & de Oliveira, M. F. (2008). Estratégia de comercialização em mercados derivativos: Cálculo de base e risco de base do boi gordo em diversas localidades do Brasil. *Revista de Administração da UFSM*, 1(3). <https://doi.org/10.5902/19834659626>
- Schroeder, G., Carraro, N. C., de Sousa, M. A. B., & Ribeiro, S. P. (2023). Os impactos da pandemia do COVID-19 para as commodities brasileiras. *Revista Concilium*, 23(1).
- Silva, W. S. da, Safadi, T., & Castro Junior, L. G. (2005). Uma análise empírica da volatilidade do retorno de commodities agrícolas utilizando modelos ARCH: Os casos do café e da soja. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 43, 119-134. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032005000100007>
- Silveira, R. L. F. D., & Ferreira Filho, J. B. D. S. (2003). Análise das operações de cross hedge do bezerro e do hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 41(4), 881-899. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032003000400008>
- Silveira, R. L. F. D., & Barros, G. S. A. D. C. (2010). Uma análise da alocação de contratos futuros sobre commodities em portfólios diversificados. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 48(1), 195-222. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032010000100009>
- Silveira, R. L. F. D., Maciel, L., & Ballini, R. (2014). Derivativos sobre commodities influenciam a volatilidade dos preços à vista? Uma análise nos mercados de boi gordo e café arábica no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 52(3), 417-436. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032014000300001>

- Soares, T. C., & Lopes, L. S. (2015). Quebras estruturais sistêmicas e efeito threshold na dinâmica dos preços do boi gordo: O caso das regiões Sudeste e Centro-Oeste. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53(2), 343-360. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-9479005302009>
- Teixeira, C. T., Pascoal, L. L., Vaz, F. N., Pacheco, P. S., Vaz, R. Z., Maysonnave, G. S., & Dallanora, M. E. C. (2023). Análise dos preços do boi e da carne nos diferentes elos da cadeia produtiva. *Observatorio de la Economía Latianomerica*, 21(6), 5751-5766. <https://doi.org/10.55905/oelv21n6-134>
- United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service. (2020). Production, supply, and distribution (PS&D). <http://www.fas.usda.gov/psdonline/>
- Viana, J. G. A., Souza, R. S. D., & Silveira, V. C. P. (2009). Evolução dos preços históricos da bovinocultura de corte do Rio Grande do Sul: Tendência e comportamento dos preços em nível de produtor e consumidor. *Ciência e Agrotecnologia*, 33(4), 1109-1117. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000400023>
- Zaparolli, M. J. S., da Silva, L. G. S., Vieira, M. C., & Tonin, J. M. (2021). Hedge estático e dinâmico para contratos futuros do boi gordo na B3: uma análise comparativa. *Gestão e Desenvolvimento em Revista*, 7(2), 04-21. <https://doi.org/10.48075/gdemrevista.v8i2.28355>

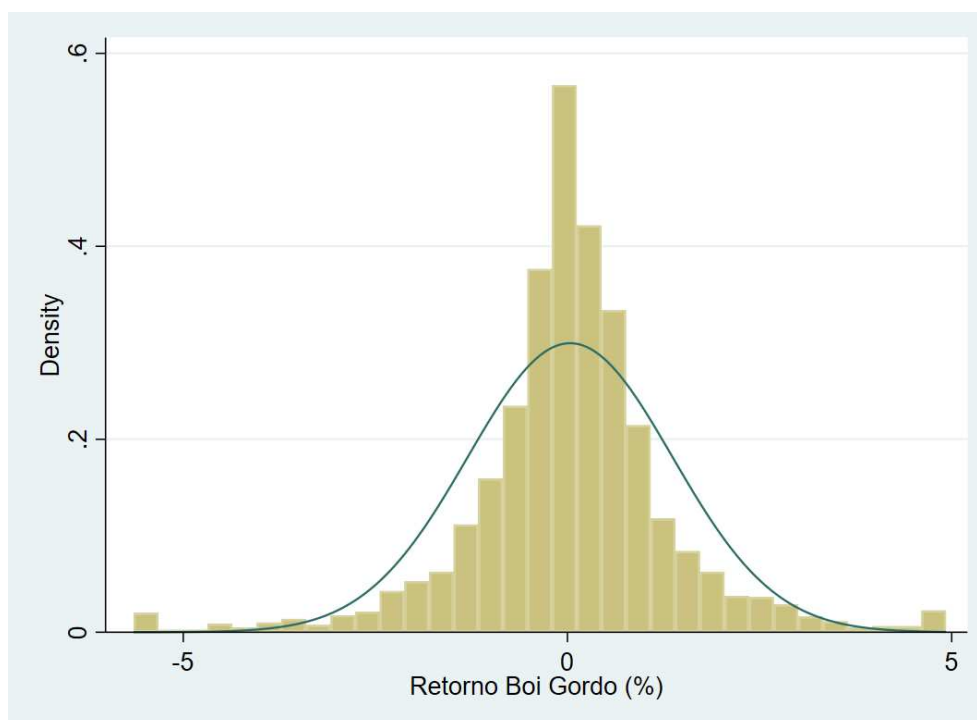
APÊNDICES

1.1 Histogramas dos Retornos

1.1.1 Retornos originais

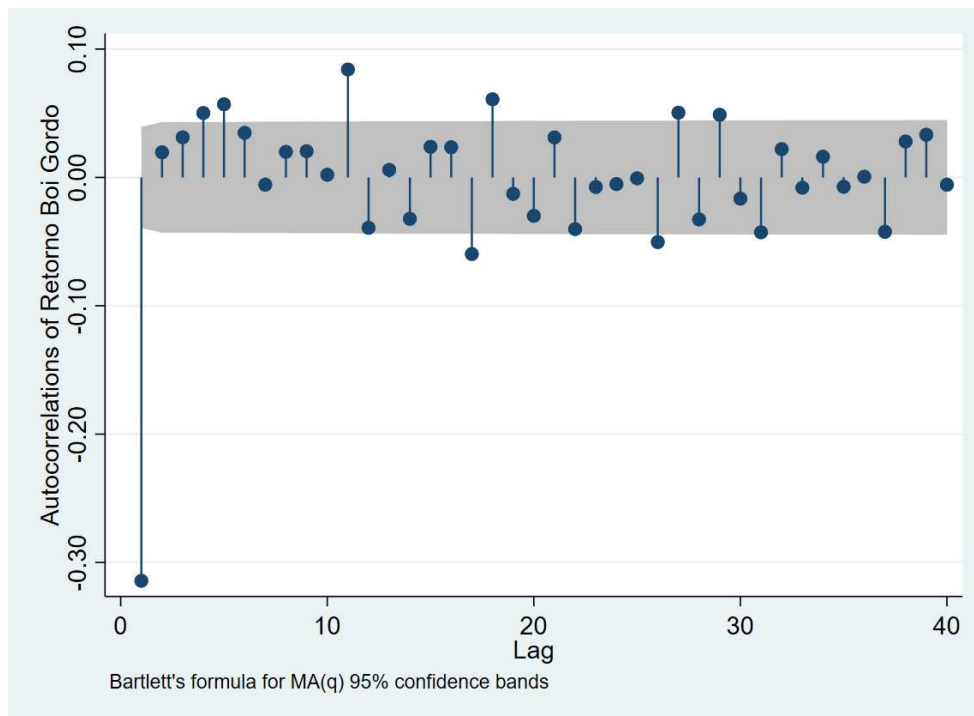


1.1.2 Retornos sem outliers

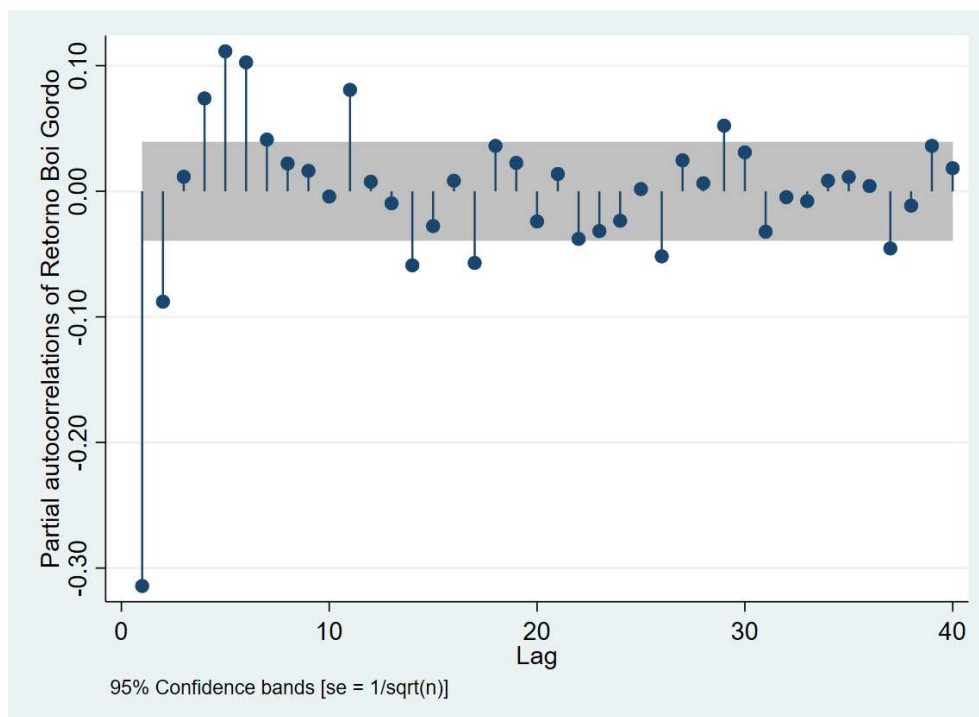


1.2 Correlogramas preliminares

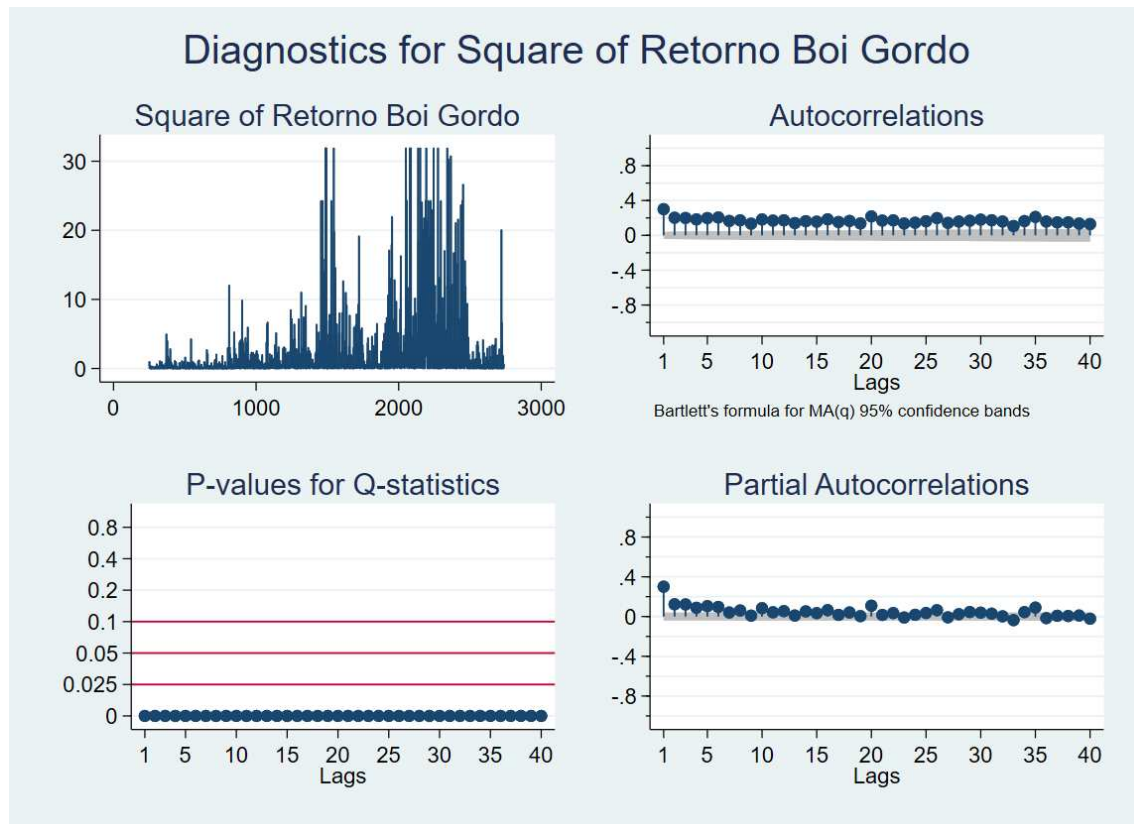
1.2.1 Autocorrelação dos Retornos



1.2.2 Autocorrelação Parcial dos Retornos



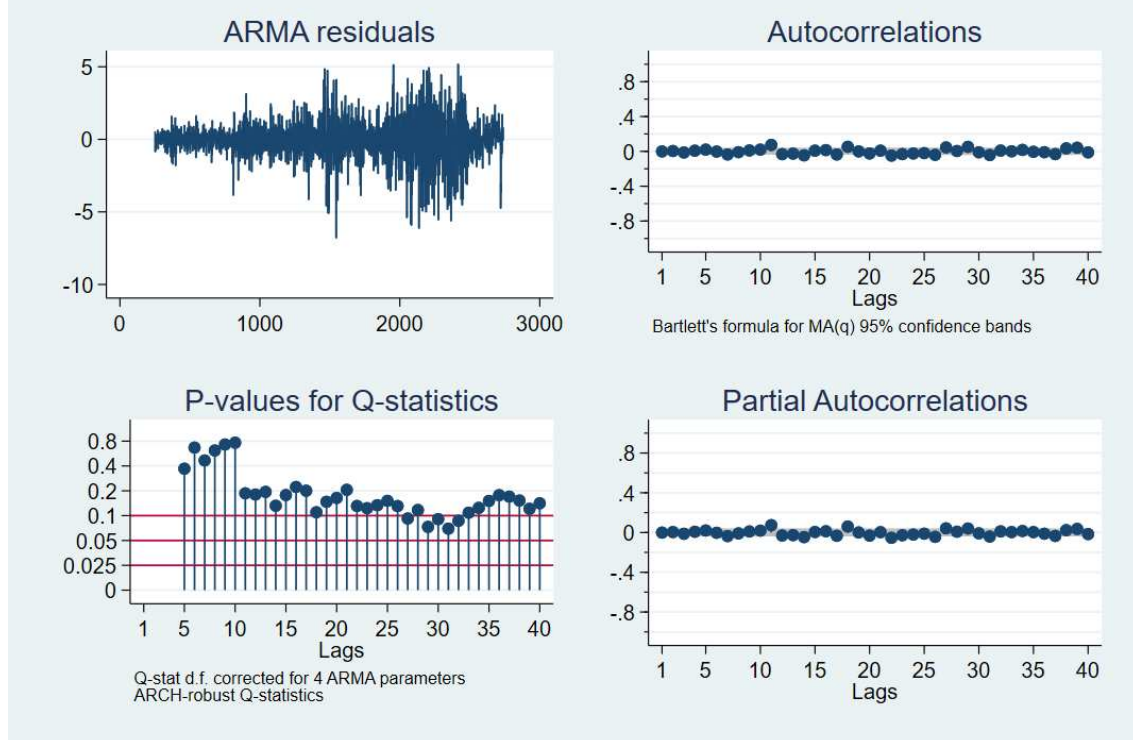
1.2.3 Diagnóstico dos retornos ao quadrado



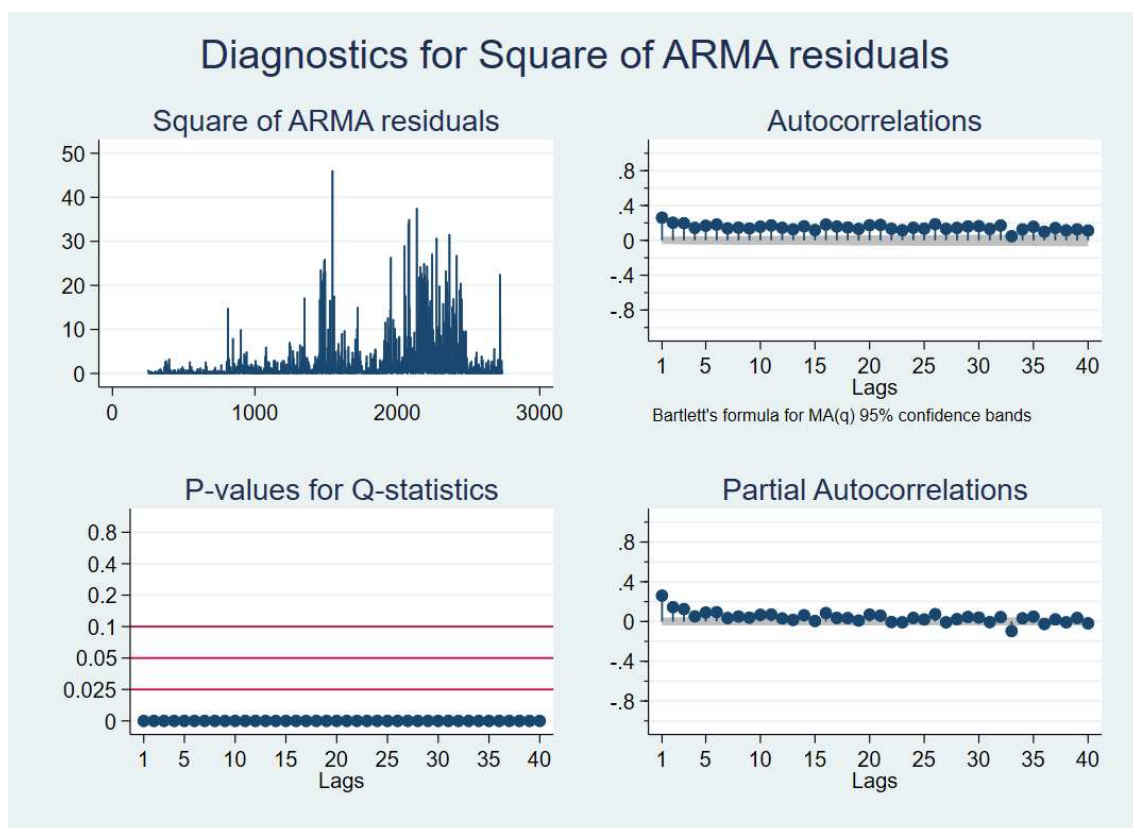
1.3 Equação da Média: ARMA (2,2)

1.3.1 Diagnóstico dos resíduos

Diagnostics for ARMA residuals



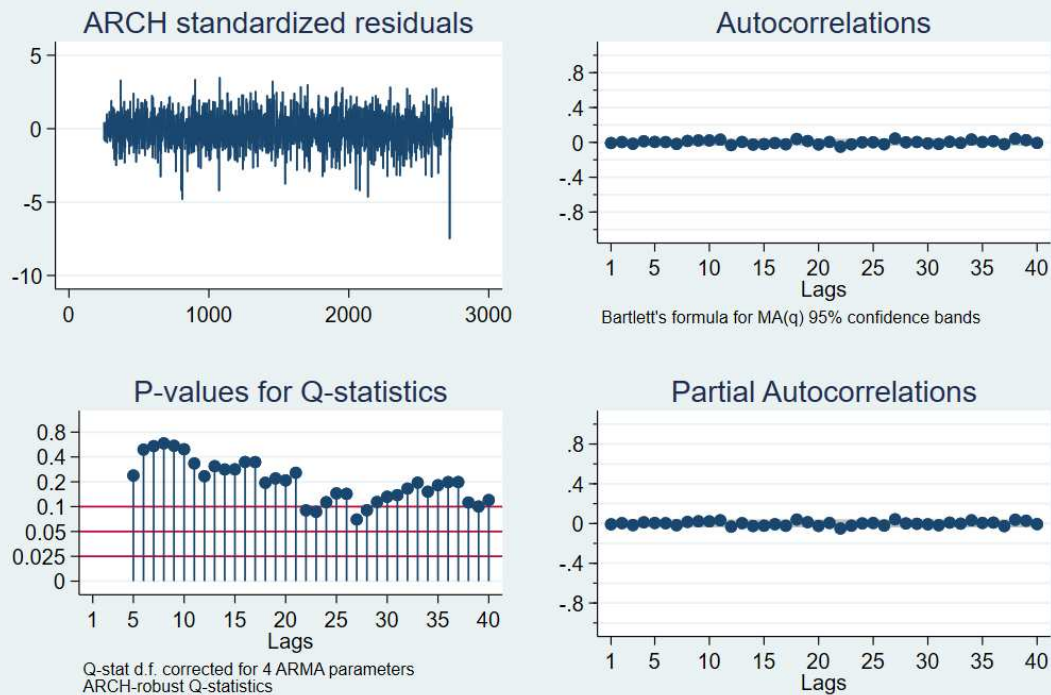
1.3.2 Diagnóstico dos resíduos ao quadrado



1.4 Equação da variância:t-ARMA (2,2)-GARCH (2,2)

1.4.1 Diagnóstico dos resíduos

Diagnostics for ARCH standardized residuals



1.4.2 Diagnóstico dos resíduos ao quadrado

Diagnostics for Square of ARCH standardized residuals

