

EFETIVIDADE E RAZÃO ÓTIMA DO HEDGE DE SOJA EM GRÃO COM O CONTRATO FUTURO DE SOJA FOB SANTOS: UMA ANÁLISE PARA SORRISO (MT) E RIO VERDE (GO)

EFFECTIVENESS AND OPTIMAL HEDGE RATIO OF SOYBEAN WITH FOB SANTOS SOYBEAN FUTURES CONTRACT: AN ANALYSIS FOR SORRISO (MT) AND RIO VERDE (GO)

Autor(es) Thaís de Lima Martins¹ e Anieli Fagundes Carrara²

Filiação: Departamento de Economia - UFSCar^{1, 2}

E-mail: thaismartins@estudante.ufscar.br¹ e anielacarrara@ufscar.br²

GT2. Governança e gestão do agronegócio

Resumo

A produção e comercialização de soja ocorrem em um ambiente em que os preços são moldados por um mercado internacional complexo e volátil, que sofre influência de diversos fatores para além dos puramente econômicos, como por exemplo, mudanças climáticas, o que torna o gerenciamento de risco imperativo para tais atividades. Neste contexto, o presente estudo explorou a efetividade e a razão ótima de hedge do preço do grão de soja, por meio do novo contrato futuro de soja *FOB Santos*, lançado pela B3 em novembro de 2021, para Sorriso (MT) e Rio Verde (GO), com o objetivo de verificar o desempenho de tal mecanismo de gestão de risco de preço em duas localidades que são destaque na produção de soja. Para contemplar tal objetivo as análises incluíram a verificação de estacionariedade e cointegração das séries e a estimação principal foi realizada por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) em cinco modelos empíricos. Obteve-se resultados semelhantes em termos de efetividade e proteção do hedge entre as duas localidades estudadas, porém, em níveis relativamente baixos, se comparados com os estudos realizados para outros contratos futuros.

Palavras-chave: Soja. Risco. Efetividade.

Classificação JEL: G13, Q02, Q14

Abstract

The production and commercialization of soybeans occur in an environment where prices are shaped by a complex and volatile international market, influenced by a variety of factors beyond purely economic ones, such as climate changes. This makes risk management imperative for such activities. In this context, the present study explored the effectiveness and optimal hedging ratio of soybean prices using the new FOB Santos soybean futures contract, launched by B3 in November 2021, for Sorriso (MT) and Rio Verde (GO). The aim was to evaluate the performance of this price risk management mechanism in two prominent soybean-producing regions. To achieve this objective, the analyses included stationarity and cointegration tests of the series, and the main estimation was conducted using Ordinary Least Squares (OLS) in five empirical models. The results indicated similar levels of hedge effectiveness and protection for the two localities studied, although at relatively low levels compared to studies conducted on other futures contracts.

Keywords: Soybeans. Risk. Effectiveness.

JEL classification: G13, Q02, Q14

1. Introdução

Nas últimas décadas, observou-se um grande avanço na produção e exportação da soja brasileira, o que colocou o Brasil entre os principais protagonistas mundiais desse mercado. Ilustrando a magnitude desse desempenho, a safra de 22/23 registrou uma produção expressiva de 120,7 milhões de toneladas, consolidando a soja como o principal produto exportado pelo Brasil, totalizando um valor de 46.533 milhões de dólares (IBGE, 2023; COMEX STAT, 2023).

A produção de soja no Brasil recebe uma contribuição crucial da região Centro-Oeste, especialmente de Mato Grosso e Goiás. O crescimento constante na quantidade de soja cultivada entre 1976 e 2022 destaca a consolidação de tal região como a principal força propulsora da produção nacional de soja. Em 2022, Mato Grosso se destacou com um volume exportado de 24.764,75 milhões de quilogramas, representando um valor FOB de 14.418,39

milhões de dólares, com uma produção total de 38,02 milhões de toneladas. O estado de Goiás, por sua vez, alcançou uma produção de 15,21 milhões de toneladas, com um total de 10.026,88 milhões de quilogramas exportados, representando um valor de exportações FOB de 5.994,42 milhões de dólares. Esses estados destacam-se devido as condições climáticas favoráveis, fertilidade do solo, adoção de tecnologias agrícolas modernas e investimentos em infraestrutura (IBGE, 2023; COMEX STAT, 2023).

Entretanto, um ponto crucial a ser considerado são os desafios inerentes à produção e comercialização de produtos agrícolas, que abrangem desde as características técnicas específicas de cada cultura (como solo, clima e produtividade), até aspectos como a qualidade da produção, logística, riscos de desempenho (pragas, doenças, mudanças climáticas etc.) (MATSENBACH, 2021). Dessa forma, frente a tais riscos, busca-se estratégias para a proteção, principalmente contra os riscos de variação nos preços, com vistas a garantir a segurança de um preço que proporcione um patamar de rentabilidade minimamente satisfatório (GUERRA et al., 2013).

Uma estratégia fundamental para assegurar proteção em relação ao preço do produto e reduzir os riscos inerentes ao mercado à vista é o hedge. Essa prática comum realizada nos mercados de derivativos visa mitigar as oscilações nos preços de produtos ou ativos, oferecendo aos agentes econômicos uma maneira de minimizar a probabilidade de enfrentar perdas financeiras futuras. O método envolve a utilização de contratos futuros e outros instrumentos de derivativos, desempenhando um papel crucial na gestão de riscos, permitindo que os participantes do mercado se resguardem contra volatilidades indesejadas e garantam uma maior estabilidade em suas operações (HULL, 2016 e TURRA, 2019).

Diante do cenário apresentado, e considerando a grande relevância da produção de soja para os estados de Mato Grosso e Goiás, este estudo propõe-se a explorar a efetividade e a razão ótima de hedge do grão de soja, por meio do novo contrato futuro de soja FOB Santos, lançado pela B3 em novembro de 2021, para Sorriso (MT) e Rio Verde (GO), com o objetivo de verificar o desempenho de tal mecanismo de gestão de risco de preço em duas localidades que são destaque na produção de soja. A indagação que norteia a investigação é se tal contrato, lançado pela B3 visando ser mais aderente a realidade brasileira, se mostra um bom instrumento de proteção para duas localidades de grande relevância na produção de soja do país e se há discrepâncias ou similaridades no resultado da proteção para tais cidades. A hipótese é que uma efetividade mínima seja encontrada e os resultados sejam semelhantes para as regiões estudadas.

No Brasil, já foram realizados diversos estudos abordando a efetividade e razão ótima do hedge. Destaca-se a pesquisa conduzida por Souza, Filho e Marques (2012), que analisou a efetividade e a razão ótima para a soja em Rondonópolis (MT). Guerra et al. (2013) empreenderam uma investigação sobre a efetividade e a razão ótima de hedge para a soja na praça de Tupanciretã (RS). Adicionalmente, Souza (2020) calculou a efetividade da estratégia de hedge para o mercado de grãos, com foco especial na soja, nos municípios de Rio Verde, Jataí e Cristalina, situados em Goiás. Esses estudos contribuem significativamente para a compreensão dos métodos de hedge e suas implicações nos diferentes cenários agrícolas do país.

Logo, a contribuição do presente estudo para a vasta literatura existente sobre o tema, está no fato de propor a análise para um contrato lançado recentemente, para o qual o número de trabalhos é bastante reduzido, principalmente os de modalidade empírica, acrescido ao fato de comparar a efetividade e a razão ótima de hedge para duas regiões de grande relevância para a soja, que não costumam figurar juntas em um mesmo estudo.

Por fim, quanto à estrutura, o presente estudo está organizado em cinco seções, além da presente introdução. A seção de número dois trata da relevância de Sorriso (MT) e de Rio Verde (GO) na produção de soja do país. A terceira seção apresenta uma breve revisão da literatura

para estratégias de hedge de preços agrícolas, com especial atenção ao preço da soja. A quarta seção detalha a metodologia adotada para o tratamento e análise dos dados, explicando os modelos empíricos usados. A quinta seção expõe e discute os resultados obtidos, contextualizando-os com outros resultados presentes na literatura. Finalmente, na última seção, são expostas as considerações finais do estudo.

2. A produção de soja em Mato – Grosso e em Goiás

A presente seção expõe um breve retrospecto sobre a produção de soja nos estados que abrangem as localidades de interesse do estudo, bem como apresenta informações que justificam a escolha destas localidades como foco da análise.

2.1 A soja no estado de Mato – Grosso

No estado de Mato Grosso, a introdução da soja remonta às décadas de 1960 e 1970, quando a região, especialmente o Cerrado, foi alvo de políticas de ocupação e desenvolvimento agrícola. Sob a influência de incentivos governamentais, como a Operação Amazônia Legal, e o estímulo à agricultura, grandes extensões de terras foram desbravadas para a produção agrícola. A adaptação da soja ao solo e ao clima específicos do Mato Grosso, aliada ao desenvolvimento de variedades mais produtivas, impulsionou sua expansão. Ademais, investimentos em infraestrutura facilitaram o escoamento da produção contribuindo para o sucesso da cultura. A rápida expansão da fronteira agrícola, com a conversão de áreas naturais em terras agricultáveis, solidificou o Mato Grosso como um dos principais produtores de soja do Brasil (FERNANDEZ, 2008).

Outros elementos impulsionadores na cultura da soja nos planaltos, incluindo o Planalto dos Parecis, região do oeste do estado do Mato Grosso, foram as condições propícias relacionadas à temperatura, distribuição pluviométrica e luminosidade. A topografia e extensão das áreas desempenharam um papel fundamental, pois trata-se das maiores extensões planas contínuas no Brasil. Tanto a escala quanto o tamanho dessas regiões possibilita variações na produção e nos níveis de eficiência, viabilizando a aplicação das mais avançadas técnicas agrícolas. Isso inclui a implementação e utilização intensiva de maquinaria, equipamentos, implementos e insumos agrícolas específicos, adaptados às condições locais de manejo, clima e solo (SCHWENK, 2013).

Ao longo das décadas, a produção de soja em grãos no Mato Grosso experimentou uma importante evolução, marcada por diferentes fases e tendências, como pode ser observado por meio do Gráfico 1. Nos primeiros anos, de 1974 a 1979, a produção teve um início modesto, com flutuações moderadas, atingindo seu ponto mais baixo em 1979 com 0,027 milhões de toneladas. Já a década de 1980 foi caracterizada por um crescimento exponencial, culminando em picos expressivos em 1984, quando a produção alcançou 1,05 milhões de toneladas, e em 1989, atingindo 3,79 milhões de toneladas. Durante os anos 1990, a produção manteve-se relativamente estável, com um novo pico registrado em 1999, totalizando 7,47 milhões de toneladas. A partir dos anos 2000 a tendência foi de crescimento exponencial na maior parte dos anos, com raros períodos de redução da produção motivados por questões climáticas.

Gráfico 1 - Evolução da quantidade produzida de soja em grãos (em milhões de toneladas) no Mato Grosso de 1974 a 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (2023)

Em complemento a Tabela 1 apresenta os principais municípios produtores de soja em grãos do estado do Mato Grosso no ano de 2022.

Tabela 1 - Principais municípios produtores de soja em grãos do estado do Mato Grosso em 2022

Município	Quantidade produzida (milhões de toneladas)
Sorriso (MT)	2,11
Campo Novo do Parecis (MT)	1,39
Nova Ubiratã (MT)	1,35
Diamantino (MT)	1,28
Nova Mutum (MT)	1,27
Sapezal (MT)	1,27
Querência (MT)	1,26
Primavera do Leste (MT)	1,04
Canarana (MT)	1,01
Brasnorte (MT)	0,96

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (2023).

A produção de soja no estado de Mato Grosso em 2022 revela um cenário marcado pelo desempenho relevante de diversos municípios, conforme apresentado na Tabela 1. Porém, é perceptível a liderança do município de Sorriso em comparação aos demais e considerando a localização dos municípios acima apresentados, tem-se uma maior produção situada ao norte do estado. Embora não estejam incluídos nesta tabela de produção de 2022, é importante ressaltar que Sinop e Lucas do Rio Verde foram municípios importantes para a produção de soja no Mato Grosso em anos anteriores.

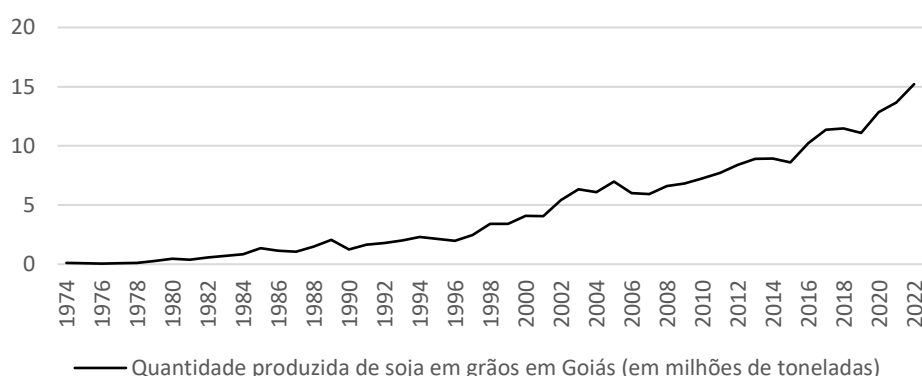
Em resumo, o Mato Grosso, desde as décadas de 1960 e 1970, vem se destacando como uma peça fundamental na expansão da cultura da soja no Brasil. Impulsionado por políticas de ocupação e desenvolvimento agrícola. A rápida expansão da fronteira agrícola no Mato Grosso não apenas consolidou o estado como um dos principais produtores de soja no país, mas também contribuiu de maneira expressiva para a economia agrícola brasileira. A introdução de mão de obra especializada e o deslocamento da força de trabalho local evidenciaram a importância do Mato Grosso na consolidação das culturas voltadas para exportação.

2.2 A soja no estado de Goiás

A chegada da soja em Goiás marcou um ponto crucial na história agrícola do estado, tendo começado em meados do século XX. Esse evento foi fundamental para transformar a paisagem econômica e social, destacando Goiás como um importante produtor de soja no cenário nacional. A adaptação bem-sucedida da soja ao clima tropical, aliada a práticas agrícolas modernas e ao uso de tecnologias avançadas, impulsionou a produtividade e o crescimento econômico. A soja não apenas se tornou uma fonte crucial de renda para os agricultores locais, mas também catalisou o crescimento do setor agroindustrial, contribuindo significativamente para a economia do estado (SOUZA, 2020).

O Gráfico 2 ilustra a trajetória da produção de soja em grãos em Goiás desde 1974 até 2022.

Gráfico 2 - Evolução da quantidade produzida de soja em grãos (em milhões de toneladas), em Goiás de 1974 a 2022



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (2023)

Conforme exposto no Gráfico 2, a produção de soja em grãos em Goiás demonstrou crescimento ao longo das décadas, com picos em diferentes períodos. A década de 1980 foi marcada por um sólido crescimento, enquanto os anos 1990 apresentaram flutuações até atingir o ápice em 1998. Já o período de 2000 a 2009 foi caracterizado por um crescimento consistente, seguido por uma pequena queda em 2009. De 2010 a 2019, houve um crescimento sustentado, ultrapassando 10 milhões de toneladas a partir de 2016. O ápice foi alcançado em 2020, consolidando Goiás como o segundo maior produtor nacional de soja em grãos. De 2020 a 2022, a produção continuou a crescer. Esse desempenho solidificou Goiás como um *player* significativo na produção agrícola nacional, representando cerca de 12,61% da produção nacional de soja em grãos em 2022, atrás apenas do Mato Grosso.

A Tabela 2 evidencia os municípios de maior destaque na produção de soja em grãos no estado de Goiás no ano de 2022.

Tabela 2 - Principais municípios produtores de soja em grãos do estado de Goiás, em 2022

Município	Quantidade produzida (milhões de toneladas)
Rio Verde (GO)	1,63
Jataí (GO)	1,17
Cristalina (GO)	1,00
Paraúna (GO)	0,59
Montividiu (GO)	0,55
Catalão (GO)	0,47
Ipameri (GO)	0,40

Mineiros (GO)	0,38
Chapadão do Céu (GO)	0,34
Silvânia (GO)	0,31

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IBGE (2023).

No ano de 2022, a produção de soja no estado de Goiás apresentou um panorama em que diversos municípios se destacam, conforme evidenciado na Tabela 2. No entanto, é notável a liderança do município de Rio Verde em relação aos demais. Ao observar a localização geográfica desses municípios, percebe-se que a maior produção está concentrada na parte sul do estado.

Em síntese, a ascensão da produção de soja em Goiás desempenhou um papel transformador na história agrícola do estado, consolidando sua posição como um importante produtor nacional desse grão. Os números evidenciados ao longo das décadas, refletem a trajetória de crescimento que levou Goiás a se tornar o segundo maior produtor de soja em grãos no país. Especificamente, municípios como Rio Verde, Jataí e Cristalina emergem como polos essenciais nesse cenário, liderando a produção e destacando a importância agrícola e econômica dessas localidades.

3. Efetividade e razão ótima do hedge: Panorama da literatura

Dada a natureza dinâmica do mercado agrícola, é evidente um aumento significativo do interesse por parte de pesquisadores e profissionais do mercado financeiro em investigar a efetividade e as estratégias ótimas de hedge. Sendo relevante ressaltar que hedge é uma estratégia de proteção para riscos de preço, conforme Turra (2019).

A preocupação com a mitigação dos riscos associados aos preços, principalmente os agrícolas é crescente, por isso ter um instrumento que seja efetivo na proteção em relação às oscilações de preço é importante. Logo, diversos são os estudos que buscam mensurar a efetividade e a razão ótima do hedge, que pode ser aplicado a uma ampla variedade de produtos e ativos, no entanto os trabalhos que serão apresentados a seguir têm como foco de análise, especificamente, a esfera agrícola, uma vez que essa constitui a ênfase principal deste estudo.

O Quadro 1 traz um panorama da literatura nacional, ou seja, da verificação da efetividade e razão ótima do hedge para o Brasil.

Quadro 1 - Trabalhos nacionais sobre a efetividade do hedge

Autor(es)	Objetivo	Período de Análise	Localidade	Metodologia(s)	Conclusão
Silva, Aguiar e Lima (2003)	Analisar a efetividade do hedge de óleo de soja brasileiro, farelo de soja e soja na Bolsa de Mercadorias de Chicago (CBOT) e na Bolsa de Mercadorias e Futuros do Brasil (BM&F) para reduzir o risco de perda financeira devido a flutuações nos preços das commodities.	Dados diários (05/08/1998 – 15/09/2000).	Bahia (Barreiras), Paraná (Cascavel, Campo Mourão, Maringá e Ponta Grossa), Mato Grosso (Cuiabá e Rondonópolis), Rio Grande do Sul (Passo Fundo), Santa Catarina (Chapecó), Minas Gerais (Uberlândia),	A metodologia emprega modelos teóricos e analíticos para estimar a proporção ótima de hedge e avaliar sua efetividade, utilizando dados de séries temporais e testes de raiz unitária para análise empírica.	Os resultados mostram que o hedge cruzado com contratos futuros de soja da BM&F tem baixa eficácia para gerenciar o risco de preço do óleo e farelo de soja. Porém, o uso de contratos futuros de farelo de soja da CBOT é vantajoso em comparação com o hedge cruzado usando contratos de soja da BM&F, enquanto o hedge com contratos futuros de óleo de soja na CBOT é mais eficaz do que com contratos de soja na BM&F, exceto em

			Goiás (Rio Verde), Mato Grosso do Sul (Dourados) e São Paulo (Orlândia).		algumas situações específicas.
Maia e Aguiar (2010)	Estuda os riscos e os retornos de estratégias de hedge para as dez principais regiões que produzem soja do Brasil com o uso de contratos futuros de soja da Chicago Board of Trade (CBOT).	Dados originalmente diários transformados em anuais (2001 – 2004)	Balsas (MA), Barreiras (BA), Sorriso (MT), Rio Verde (GO), Uberlândia (MG), Dourados (MS) Cândido Mota (SP), São Paulo; Cascavel (PR), Passo Fundo (RS) e Chapecó (SC).	A metodologia analisa operações de hedge de venda e compra. Destaca movimentos de fortalecimento e enfraquecimento da base e avalia o risco utilizando o coeficiente de variação.	Os autores concluem que as bases tem um padrão definido: se fortalecem no período de maio a novembro e se enfraquecem nos seis meses que se seguem. Assim, a conclusão é que os contratos de soja da CBOT possibilitam diferentes retornos brutos a depender do tipo de hedge, bem como do hedgeado e do contrato usado.
Oliveira Neto e Figueiredo (2010)	Avaliar a efetividade das operações de hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o Estado de Goiás.	Dados originalmente diários que foram transformados em mensais (01/1997-10/2007).	Goiânia (GO)	Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).	Concluiu-se que as operações de hedge apresentam uma significativa redução de, aproximadamente, 90% no risco.
Souza, Martines-Filho e Marques (2012)	Avaliar a estratégia de hedge simultâneo para a produção de soja no Centro-Oeste, empregando contratos futuros de preço e taxa de câmbio da BOVESPA/BM&F, por meio de um modelo que controla riscos cambiais e de preços.	Dados originalmente diários transformados em mensais (03/2004 – 03/2009).	Rondonópolis (MT)	Modelo de Heterocedasticidad e Condicional Autorregressiva Generalizado (GARCH).	As conclusões indicaram que a utilização simultânea de hedge para os riscos de preços e taxa de câmbio resulta em uma redução significativa do risco associado à receita total, em comparação com estratégias de hedge focadas apenas nos preços.
Monteiro et al. (2013)	Estimar a efetividade e razão ótima do hedge do boi gordo brasileiro nas localidades selecionadas.	Dados diários (02/01/2002 - 24/06/2008).	Praças de Araçatuba (SP), Campo Grande (MS), Três Lagoas (MS), Cuiabá (MT), Goiânia (GO) e Noroeste do Paraná (PR)	Modelo de Heterocedasticidad e Condicional Autorregressiva Generalizado (GARCH).	Os resultados indicam que não existem condições propícias para a implementação de um hedge eficaz ao considerar os retornos em logaritmo em vez dos preços em nível. Isso se deve à estacionariedade alcançada na primeira diferença. Consequentemente, o contrato futuro de boi gordo não atende ao seu propósito de redução de risco para os hedgers.
Guerra et al. (2013)	Verificar se operações de “hedge” no mercado futuro da Bolsa de Mercadorias e Futuros (BM&F) realmente produz resultados eficazes para mitigar os	Dados semanais (09/2004 – 09/2010).	Praça de Tupanciretã (RS)	Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).	Foi observado que as séries analisadas resultaram em índices relativamente baixos para a razão ótima e a efetividade do “hedge”, indicando que esta pode não ser uma ferramenta

	riscos decorrentes das flutuações nos preços do referido produto oleaginoso na região em questão.				adequada de gerenciamento de riscos para os agricultores de Tupanciretã.
Silva e Oliveira (2017)	Examinar a efetividade das estratégias de hedge para o milho na localidade em foco.	Dados originalmente diários que foram transformados em mensais (01/2010-12/2016).	Ponta Grossa (PR)	Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).	Foi observado que, para os produtores de milho de Ponta Grossa, é vantajoso proteger uma parcela maior de sua produção nos mercados futuros, uma vez que sua produção é menor, apesar dos preços mais elevados. Além disso, a conclusão apontou que o mercado futuro supera o mercado físico, devido à disponibilidade da ferramenta de hedge.
Souza (2020)	Introduzir e calcular a efetividade da estratégia de hedge para o mercado de grãos, em especial a soja.	Dados originalmente diários transformados em mensais (04/2014-06/2019).	Rio Verde, Jataí, Cristalina (GO)	Mínimos Quadrados Ordinários (MQO).	Em todas as localidades analisadas, a efetividade do hedge se mostrou alta.

Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado por meio dos estudos apresentados no Quadro 1, tem-se que os trabalhos encontraram resultados semelhantes no que tange à capacidade das estratégias de hedge em mitigar os riscos associados a ativos financeiros. É possível verificar que um componente essencial em todos os estudos apresentados é a comparação do risco de preços entre operações de hedge e exposições não protegidas ao mercado. Os pesquisadores buscaram avaliar se as estratégias de hedge eram capazes de efetivamente mitigar o risco de flutuações de preços. A coleta e análise de dados históricos desempenharam um papel crucial em todas as pesquisas.

A metodologia comumente aplicada nos estudos, conforme pode ser verificado no Quadro 1, inclui modelos de regressão, destacando-se a aplicação de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), para investigar as relações entre as variáveis e avaliar a efetividade das estratégias de hedge. Alguns pesquisadores recorreram ao Modelo de Heterocedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizado (GARCH). A determinação da razão ótima de hedge, que indica a proporção de ativos que devem ser protegidos pelo hedge, é outro ponto comum em muitos desses estudos, ajudando a determinar o grau de proteção necessário em cada mercado.

Ademais, cada pesquisa se concentrou em uma localidade e mercado específicos, como Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo, o que resultou em distintas condições e características de mercado que influenciaram significativamente os resultados e as estratégias de hedge recomendadas. Além disso, o período de análise variou consideravelmente, abrangendo desde alguns anos até décadas, o que contribuiu para diferentes conclusões, uma vez que as condições de mercado podem experimentar mudanças substanciais ao longo do tempo e tal fato pode evidenciar a efetividade do hedge, conforme exposto pelos trabalhos.

Outra distinção relevante entre os trabalhos expostos no Quadro 1 diz respeito ao tipo de ativo analisado em cada pesquisa. Os estudos investigaram ativos como boi gordo, milho e

soja, cada um com suas características peculiares e riscos associados. Essa variação impactou a escolha das estratégias de hedge mais apropriadas a serem adotadas.

Por fim, as conclusões das pesquisas apresentam semelhanças. No estudo em Ponta Grossa (PR), conduzido por Silva e Oliveira (2017), observou-se que foi vantajoso proteger uma parcela maior da produção de milho nos mercados futuros, devido à proteção contra flutuações de preço. No Mato Grosso, Souza, Martines-Filho e Marques (2012) concluíram que a adoção simultânea de hedge para os riscos de preços e taxa de câmbio resulta em uma considerável redução do risco associado à receita total, em comparação com estratégias de hedge focalizadas exclusivamente nos preços. A atenuação conjunta dos riscos de taxa de câmbio e preços revelou-se crucial para uma gestão estratégica eficiente por parte dos exportadores de *commodities*.

No contexto dos municípios de Goiás, o estudo de Oliveira Neto e Figueiredo (2010) mostrou que as operações de hedge para o boi gordo demonstraram uma redução significativa de cerca de 90% no risco, destacando a importância das estratégias de hedge no mercado futuro para Goiás. Enquanto isso, Souza (2020) evidenciou uma redução considerável nos riscos de preço associados à produção de soja, variando de 51% a 54%, com diferentes razões ótimas de hedge em cada município.

Já os trabalhos de Monteiro et al. (2013) e Guerra et al. (2013) concluíram que a estratégia de hedge para a soja foi menos eficaz nos municípios selecionados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Paraná e São Paulo.

Outrossim, os estudos de Silva, Aguiar e Lima (2003) e Maia e Aguiar (2010) concentraram-se na avaliação da efetividade de diferentes estratégias de hedge para gerenciar o risco de preço no mercado de *commodities* agrícolas, especialmente relacionadas à soja. Eles analisaram a efetividade de contratos futuros negociados em diferentes bolsas, como a *Chicago Board of Trade* (CBOT) e a Bolsa de Mercadorias e Futuros do Brasil (BM&F), em reduzir o risco financeiro associado às flutuações nos preços das *commodities* agrícolas, como óleo de soja, farelo de soja e soja em grão.

Dessa forma, pode-se observar que cada estudo trouxe uma perspectiva única sobre a efetividade das estratégias de hedge, refletindo a diversidade dos mercados e das condições locais. Em suma, os trabalhos expostos ressaltam a complexidade da efetividade das estratégias de hedge e a necessidade de se levar em consideração o contexto específico de implementação dessa estratégia de proteção. Cada estudo oferece percepções valiosas para investidores e pesquisadores, adaptadas às peculiaridades dos mercados e ativos específicos em análise, bem como o período avaliado.

As conclusões demonstram que a efetividade e a razão ótima do hedge é sensível ao contexto local, às condições do mercado e aos ativos envolvidos. Portanto, ao considerar estratégias de hedge, é essencial levar em conta não apenas as lições gerais da literatura, mas também as particularidades do mercado e da localidade em questão. Os estudos ressaltam a importância de adaptar as estratégias de hedge às circunstâncias específicas para otimizar a gestão de riscos em diversos cenários econômicos.

4. Metodologia e dados utilizados

A presente seção tem como objetivo principal apresentar os dados e a metodologia empregados na estimação da análise da razão ótima e da efetividade do hedge da soja em Sorriso (MT) e em Rio Verde (GO).

4.1 Metodologia utilizada

Como a análise utiliza séries de tempo, que serão apresentadas na subseção seguinte, inicialmente foram aplicados o teste de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e o Teste

Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) para a identificação da estacionariedade ou não das séries, conforme Morettin (2011).

Também foi verificada a presença de cointegração entre os preços físicos e futuros da soja para cada localidade de interesse do estudo. Segundo Matsenbach (2021), do ponto de vista econômico, duas variáveis são consideradas cointegradas quando apresentam uma relação de equilíbrio de longo prazo ou uma combinação linear. Para viabilizar tal verificação foi realizado o teste de Johansen, que é uma metodologia que permite verificar a existência de múltiplos vetores de cointegração em apenas um passo, conforme Johansen (1995). Após tais testes os modelos foram especificados.

4.1.1 Modelos

A determinação da razão ótima de hedge (ROH) e a avaliação da efetividade do hedge foram realizadas por meio da aplicação de cinco modelos empíricos, seguindo a metodologia proposta por Guerra et al. (2013). A técnica empregada para realizar essas estimativas foi a de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Esses modelos são baseados nos estudos seminais de Ederington (1979) e Myers e Thompson (1989) e têm como objetivo principal reduzir a variância da carteira protegida, estes são amplamente utilizados na literatura, como exposto na seção 3 do presente estudo.

4.1.1.1 Modelo 1

O modelo 1, chamado de convencional, realiza uma regressão linear simples, onde o preço à vista no tempo "t" é a variável dependente, e o preço futuro no mesmo período é a variável independente (CHEIN, 2019). A ROH é determinada pela inclinação da reta resultante da estimativa da equação 1.

$$S_t = \beta_0 + \beta_1 F_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

Em que S_t representa o preço no mercado físico no tempo "t"; β_0 , o intercepto; F_t , o preço no mercado futuro no tempo "t"; β_1 , a razão ótima de hedge (ROH) e ε_t , o termo de erro.

De acordo com Carvalho et al. (2007), ao empregar os preços em nível na regressão por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e caso esses preços não sejam estacionários e não cointegrados, a estimação da ROH pode ser considerada espúria. Nessa situação, a análise dos resultados fica comprometida e se torna inválida devido a problemas relacionados à autocorrelação serial e à heterocedasticidade.

4.1.1.2 Modelo 2

Para lidar com a questão da regressão espúria, que surge por conta dos problemas que podem se manifestar no modelo 1, adota-se uma técnica descrita como a regressão linear da variação nos preços à vista em relação às variações nos preços futuros, conforme mencionado por Tonin, Tonin e Tonin (2008) e definido na equação (2) a seguir

$$\Delta S_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta F_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Em que ΔS_t representa o retorno do preço no mercado físico no tempo "t"; β_0 , o intercepto; ΔF_t , o retorno do preço no mercado futuro no tempo "t"; β_1 , a razão ótima de hedge (ROH) e ε_t , o termo de erro.

4.1.1.3 Modelo 3

O terceiro modelo adota a estrutura proposta por Myers e Thompson (1989), os quais argumentaram que a utilização do Modelo 2 para estimar a Razão Ótima de Hedge (ROH) não é apropriada. Isso se deve ao fato de o Modelo 2 empregar momentos de amostras não condicionais, o que significa que ele utiliza informações históricas sem levar em consideração os dados disponíveis no momento. Como solução, os autores acima citados propõem a inclusão

de parâmetros de preços defasados na equação, originando assim o Modelo 3, conforme equação (3). Essa abordagem, ao incorporar a mudança nos preços à vista defasados, visa corrigir o viés associado ao Modelo 2 e melhorar a precisão na estimação da ROH.

$$\Delta S_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta F_t + \sum_{i=2}^p \beta_i \Delta S_{t-i} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Em que ΔS_t representa o retorno do preço no mercado físico no tempo “t”; β_0 , o intercepto; ΔF_t , o retorno do preço no mercado futuro no tempo “t”; ΔS_{t-1} , o retorno do preço no mercado físico defasado; β_1 , a razão ótima de hedge (ROH) e ε_t , o termo de erro.

4.1.1.4 Modelo 4

O Modelo 4 também pode ser chamado de modelo de correção de erros, já que introduz o mecanismo de correção de erro ao Modelo 2, conforme Guerra et al. (2013). Isso pode ser observado na formulação apresentada na Equação (4).

$$\Delta S_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta F_t - \beta_2 U_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Em que ΔS_t representa o retorno do preço no mercado físico no tempo “t”; β_0 , o intercepto; ΔF_t , o retorno do preço no mercado futuro no tempo “t”; β_1 , a razão ótima de hedge (ROH), u_{t-1} , os resíduos defasados gerados pelo Modelo 2 e ε_t , o termo de erro.

4.1.1.5 Modelo 5

Finalmente, o Modelo 5 é um último adendo do modelo proposto por Myers e Thompson (1989), em que é feita a adição do retorno do preço no mercado futuro defasado, dado pela equação (5).

$$\Delta S_t = \beta_0 + \beta_1 \Delta F_t + \sum_{i=2}^p \beta_2 \Delta S_{t-i} + \beta_3 \Delta F_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Em que ΔS_t representa o retorno do preço no mercado físico no tempo “t”; β_0 , o intercepto; ΔF_t , o retorno do preço no mercado futuro no tempo “t”; ΔS_t , o retorno do preço no mercado físico defasado; ΔF_{t-1} , o retorno do preço no mercado futuro no momento t-1; β_1 , a razão ótima de hedge (ROH) e ε_t , o termo de erro.

4.1.2 Testes de Durbin-Watson e de Breush-Pagan

Com o propósito de diagnosticar os modelos estimados e que foram acima descritos, foi empregado o teste *d* de Durbin-Watson (DW) para verificar a presença de autocorrelação nos resíduos dos modelos (SARTORIS, 2013).

Já para examinar a heterocedasticidade, situação em que a variabilidade dos erros de um modelo estatístico não é constante em todas as observações, podendo aumentar ou diminuir conforme os valores da variável independente, utilizou-se o teste de Breush-Pagan, conforme proposto por Matsenbach (2021). A hipótese nula testada é de que a variância dos resíduos segue uma distribuição homocedástica, enquanto a hipótese alternativa sugere desigualdade de variâncias. Caso a hipótese nula seja rejeitada, indicando assim a presença de heterocedasticidade nos erros da regressão, o caminho será a estimativa robusta dos desvios padrão, que ajusta os desvios padrão de forma a tornar as estatísticas estimadas válidas mediante a heterocedasticidade, conforme Wooldridge (2008).

4.2 Dados utilizados

Para a realização da presente pesquisa, foram escolhidas as localidades de Sorriso (MT) e Rio Verde (GO), destacadas por sua relevância na produção de soja no cenário brasileiro atual,

conforme apresentado na seção 2 do trabalho. Ademais, o contrato utilizado como referência para preço futuro foi o mais recente contrato lançado pelo B3 para soja, que é o contrato futuro de soja *FOB Santos* com liquidação financeira, segundo B3 (2021), tal contrato foi estruturado em parceria com a bolsa de Chicago e visa ser um instrumento de proteção com maior aderência ao contexto brasileiro, tal contrato tem como base o preço de exportação no porto de Santos e a liquidação financeira é definida em dólares por tonelada, o que de acordo com a B3 (2021) torna tal contrato uma boa ferramenta para gestão de risco daqueles produtores que tem foco na exportação.

O período de análise corresponde ao período de 29/11/2021 a 07/12/2023, considerando apenas os dias úteis. A escolha desse intervalo justifica-se pelo início das negociações do contrato de soja *FOB Santos* ao qual se refere o preço futuro coletado em 29/11/2021. A escolha por dados diários se deu devido ao fato o contrato de soja *FOB Santos* ter sido lançado recentemente pela B3.

Os dados sobre a comercialização de soja no mercado físico em Sorriso (MT) foram obtidos por meio da análise histórica dos preços praticados. O Indicador de Soja do IMEA (Instituto Mato-Grossense de Economia Agropecuária) é responsável pelo cálculo e divulgação desse indicador, recebendo os registros das transações locais em Sorriso, expressos em Reais por saca de 60 kg, e proporcionando a divulgação diária desses dados.

No caso de Rio Verde (GO), as informações foram adquiridas através do estudo da série histórica de preços da soja. O Indicador de Soja do IFAG (Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás) realiza o cálculo e a divulgação desse indicador, recebendo os registros das transações em Rio Verde, expressos em Reais por saca de 60 kg, e assegurando a divulgação diária dessas informações.

Os dados relativos aos valores dos contratos futuros de soja foram obtidos através do preço de ajuste diário do contrato de vencimento mais próximo, disponíveis no site da B3 (2023). A cotação dos contratos futuros de soja é apresentada em dólares norte-americanos por tonelada, conforme exposto acima, requerendo, assim, a conversão para sacas em reais, utilizando a taxa de referência PTAX, que é divulgada diariamente pelo Banco Central do Brasil (Bacen) (2023).

As informações correspondentes as variáveis utilizadas são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Variáveis, descrição e fonte

Variáveis	Descrição	Fonte
Ps	Preço à vista em Sorriso – MT	IMEA
Pr	Preço à vista em Rio Verde – GO	IFAG
Pa	Preço futuro de ajuste diário	B3

Fonte: Elaboração própria.

O Quadro 2 fornece informações sobre três variáveis cruciais para a pesquisa. A variável "ps" representa o preço à vista em Sorriso (MT) A variável "pr" indica o preço à vista em Rio Verde (GO). Por fim, a variável "pa" representa o preço futuro de ajuste diário dos contratos futuros de soja negociados na B3 (Brasil, Bolsa e Balcão). Esses dados são essenciais para analisar os preços no mercado físico e futuro da soja utilizados na pesquisa.

5. Resultados e discussões

Esta seção tem o objetivo de apresentar e discutir os resultados obtidos a partir da aplicação dos procedimentos propostos na metodologia.

5.1 Resultados dos testes de estacionariedade

Os primeiros testes realizados, dizem respeito a análise da estacionariedade das séries temporais, etapa crucial antes de adentrar na estimação dos modelos propostos. A Tabela 3 apresenta os resultados dos testes realizados, considerando 5% de significância, tem-se que as variáveis são não estacionárias em nível.

Tabela 3 - Resultados dos testes ADF e KPSS das séries de preços em nível

Variável		Teste ADF (em nível)		Teste KPSS (em nível)	
		Valor do teste	Resultado	Valor do teste	Resultado
<i>ps</i>	Constante	-0,4636	N.E.	0,7937	N.E.
	Constante + Tendência	-1,0042	N.E.	6,1453	N.E.
<i>pr</i>	Constante	-0,4173	N.E.	0,8042	N.E.
	Constante + Tendência	-1,1675	N.E.	6,1987	N.E.
<i>pa</i>	Constante	-1,3833	N.E.	0,7899	N.E.
	Constante + Tendência	-1,5126	N.E.	4,9302	N.E.

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IMEA (2023), IFAG (2023) e B3 (2023).

Notas: *ps*: Preço à vista em Sorriso; *pr*: Preço à vista em Rio Verde; *pa*: Preço de ajuste; N.E.: Não estacionário; E: estacionário.

Diante dos resultados acima expostos, foi conduzido o teste de raiz unitária nas primeiras diferenças das séries, que passam a ser estacionárias a 5% de significância.

Em seguida, considerando a suposição de que as séries de preços em Sorriso (MT) e Rio Verde são de mesma ordem de integração, neste caso, $I(1)$, a análise avançou para a realização do teste de cointegração. Esse teste não apenas certifica a presença de um vetor de cointegração no modelo, mas também avalia a relação de longo prazo entre as variáveis (OLIVEIRA NETO, 2016).

Para realizar essa análise, foi adotado o teste de cointegração de Johansen, com as variáveis em nível. Os resultados dos critérios de informação de Hannan-Quinn (HQ) e Schwarz (SC) indicaram a necessidade de duas defasagens para a realização dos testes. Os resultados obtidos estão expostos nas Tabela 4 e 5.

Tabela 4 - Teste de cointegração de Johansen baseado no Teste do Traço para Sorriso (MT)

Hipótese nula (H_0)	Estatística traço	Valores críticos a 5%*
$r = 0$	20,18	19,96
$r \leq 1$	0,75	9,24

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IMEA (2023) e B3 (2023).

De acordo com a Tabela 4, considerando 5% de significância, há a rejeição da hipótese nula de inexistência de vetor de cointegração, evidenciando, assim, a presença de pelo menos um vetor de cointegração. Assim, torna-se possível estabelecer um nível de conexão de longo prazo entre as variáveis de preço à vista da soja em Sorriso (MT) e do preço futuro de tal grão.

A mesma condição verificada em Sorriso (MT) se repete em Rio Verde (GO), conforme evidenciado na Tabela 5. Em outras palavras, a hipótese nula de ausência de vetor de cointegração é rejeitada, a 5% de significância, sinalizando a presença de pelo menos um vetor de cointegração. Dessa forma, também há um nível de conexão de longo prazo entre os preços à vista da soja em Rio Verde (GO) e os preços futuros considerados.

Tabela 5 - Teste de cointegração de Johansen baseado no Teste do Traço para Rio Verde (GO)

Hipótese nula (H_0)	Estatística traço	Valores críticos a 5%*
$r = 0$	20,94	19,96
$r \leq 1$	0,77	9,24

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IFAG (2023) e B3 (2023).

A identificação da cointegração entre as variáveis de preços está em consonância com as conclusões obtidas por Tonin, Tonin e Tonin (2008) em relação à soja nas regiões de Maringá e Porto de Paranaguá, Paraná. Com a validação dessas relações, procedeu-se à análise da razão ótima e da efetividade do hedge.

5.2 Hedge para a soja em Sorriso (MT)

A Tabela 6 apresenta os resultados da estimação dos cinco modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) destinados ao cálculo da razão ótima de hedge do preço e à efetividade do hedge da soja em Sorriso (MT).

A partir da Tabela 6, pode-se observar que o Modelo 1 apresenta um coeficiente superior a 1, contrariando a teoria da razão ótima de hedge, que recomenda uma proporção entre 0 e 1. A utilização de séries em nível quando estas são não estacionárias, conforme confirmado pelos testes de raiz unitária, sugere a possibilidade de resultados espúrios. O coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,7573$) indica uma explicação robusta, mas tudo leva a crer que se trata de um resultado espúrio. Adicionalmente, o baixo valor do teste Durbin-Watson (DW) (0,086) sugere autocorrelação positiva nos resíduos. Além disso, há indicativo de regressão espúria, já que o valor do teste DW é menor do que R^2 . Tais itens já dão indícios de que o modelo 1 não é uma boa opção.

Os outros modelos adotaram séries que passaram por diferenciação, garantindo assim a estacionariedade. Além disso, todos eles registraram valores próximos de 2 no teste Durbin-Watson, indicando a rejeição da hipótese de autocorrelação.

Ainda de acordo com a tabela 6, a análise dos resultados do teste de Breusch-Pagan (BP) indica a rejeição da hipótese nula em todos os modelos, pois o valor-p é inferior a 5% de significância. Isso aponta para a presença de heterocedasticidade nos erros dos modelos. Quando há heterocedasticidade, os estimadores de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) permanecem não viesados e consistentes, mas não apresentam a menor variância possível. Adicionalmente, os erros-padrão tornam-se menos confiáveis para testes de hipóteses. Para contornar tal problema, foram estimados os desvios-padrões robustos, revelando que os coeficientes representando a Razão Ótima de Hedge (ROH) são estatisticamente significativos a um nível de 1%.

Tabela 6 - Resultados da estimação dos cinco modelos propostos à razão ótima de hedge da soja em grãos em Sorriso (MT)

Modelos	ROH	R ²	AIC	BIC	DW	BP (p-valor)
Modelo 1	1,1177	0,7573	3462,064	3474,385	0,086	26,124 (3,201e-07)
Modelo 2	0,21321	0,1037	1855,157	1867,472	1,946	12,264 (-0,0005)
Modelo 3	0,21268	0,1104	1845,124	1861,525	1,964	12,72 (0,001729)
Modelo 4	0,218462	0,1068	1855,615	1872,034	1,932	14,336 (0,0007707)
Modelo 5	0,20976	0,1121	1846,306	1866,807	1,955	20,433 (0,0001381)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IMEA (2023) e B3 (2023).

Os quatro modelos restantes mostraram Razões Ótimas de Hedge (ROH) na faixa de 20% a 21%, indicando a proporção do hedge em relação ao risco. A efetividade do hedge, avaliada pelo coeficiente de determinação, variou de 10,37% a 11,21% para esses modelos. O Modelo 5 foi o que apresentou a menor ROH, atingindo 20,97%, com uma efetividade medida pelo coeficiente R² de 11,21%.

Considerando os critérios de informação critérios de AIC (critério de informação de Akaike) e BIC (critério de informação Bayesiano), o Modelo 3 é indicado como melhor modelo. Por meio deste, a Razão Ótima de Hedge calculada foi de 21,26%, e a efetividade do hedge alcançou 11,04%.

Este resultado sugere que, na fase do planejamento, como medida de controlar o risco de preço da comercialização da *commodity* aqui em questão, o produtor poderia montar uma posição vendida no mercado futuro com cerca de 21,26% de contratos futuros em relação à produção física esperada. Destaca-se que o Modelo 3, embora tenha exibido a Razão Ótima de Hedge mais elevada (21,26%) e uma efetividade de 11,04%, ainda assim indica uma limitada efetividade do hedge. Esses achados sugerem que a estratégia de hedge adotada não se mostra altamente efetiva.

Os resultados apresentados guardam semelhanças com os resultados alcançados por Monteiro et al. (2013), que avaliou a efetividade e razão ótima do hedge com contratos de boi gordo em municípios de São Paulo, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás e Paraná. Conforme os resultados obtidos pelos autores, em todas as localidades, a redução de risco alcançada foi positiva e próxima a zero, exceto em Cuiabá, que apresentou um valor negativo, mas também próximo de zero. Isso sugere que a operação de hedge não foi efetiva em diminuir o risco dentro da amostra, chegando até mesmo a aumentá-lo.

No entanto, ao contrastar os resultados deste estudo com os apresentados por Souza, Martinez-Filho e Marques (2012), destacam-se notáveis disparidades na efetividade. Os autores registraram uma redução de 60,50% na variância da receita total dos produtores de soja em Rondonópolis (MT) ao empregar a estratégia de hedge apenas no preço e uma redução de 80,70% ao utilizar simultaneamente o hedge de preço e de câmbio.

As discrepâncias entre as pesquisas podem ser atribuídas ao intervalo de tempo e à localidade consideradas para a análise, bem como ao contrato futuro específico utilizado, que no caso da pesquisa de Souza, Martines-Filho e Marques (2012) era o de Soja – CME.

Em conclusão, a análise dos modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) para calcular a razão ótima de hedge do preço da soja em Sorriso (MT) revela indícios interessantes sobre a efetividade dessas estratégias, com o contrato futuro *FOB Santos*, que se deve lembrar é um contrato novo e ainda pouco negociado, se comparado a outras possibilidades. A análise alerta para a possível efetividade limitada do hedge, sugerindo que fatores regionais, condições de produção e complexidades logísticas podem influenciar significativamente os resultados. A comparação com estudos anteriores ressalta a variabilidade dessas estratégias, evidenciando a necessidade de considerar particularidades locais ao implementar práticas de hedge. Em última análise, as descobertas encontradas a respeito da efetividade do hedge da soja em Sorriso (MT) destacam a importância da adaptação das estratégias de gestão de risco às condições específicas de cada contexto agrícola, de cada período e do contrato futuro utilizado.

5.3 Hedge para a soja em Rio Verde (GO)

Assim como foi feito para Sorriso (MT), na tabela 7, encontram-se os resultados da estimação de cinco modelos de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) que foram utilizados para calcular a razão ótima de hedge do preço e avaliar a efetividade do hedge da soja em Rio Verde (MT), durante negociações físicas mediante o emprego de contratos futuro de soja *FOB Santos* da B3.

Os dados da Tabela 7 revelam que o Modelo 1 exibe um coeficiente superior a 1, fora do previsto pela teoria da razão ótima de hedge, a qual preconiza uma proporção entre 0 e 1. A utilização de séries que são não estacionárias, conforme identificado nos testes de raiz unitária, devem ter gerado tal resultado. O coeficiente de determinação consideravelmente elevado ($R^2 = 0,7439$) indica uma explicação robusta, porém, espúria. Ademais, o reduzido valor do teste Durbin-Watson (DW) (0,083) aponta para a presença de autocorrelação positiva nos resíduos.

Tabela 7 - Resultados da estimação dos cinco modelos propostos à razão ótima de hedge da soja em grãos em Rio Verde (GO)

Modelos	ROH	R^2	AIC	BIC	DW	BP (p-valor)
Modelo 1	1,1220	0,7439	3497,854	3510,175	0,083	7,546 (0,006013)
Modelo 2	0,12686	0,0551	1696,534	1708,849	1,675	11,315 (0,000769)
Modelo 3	0,12638	0,0620	1688,342	1704,744	1,710	23,236 (9,001e-06)
Modelo 4	0,13019	0,0568	1697,736	1714,156	1,665	15,01 (-0,0005503)
Modelo 5	0,12117	0,0824	1680,513	1701,014	1,698	9,9201 (-0,01926)

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do IFAG e B3.

Ainda conforme tabela 7, os demais modelos ao utilizarem as séries diferenciadas, corrigem a questão da estacionariedade. Tais modelos exibem valores próximos a 2 no teste Durbin-Watson, indicando a rejeição da hipótese de autocorrelação. A avaliação dos resultados do teste de Breusch-Pagan (BP) revela a rejeição da hipótese nula, a 5% de significância, em todos os quatro restantes modelos, indicando a presença de heterocedasticidade nos erros associados.

A exemplo dos modelos para Sorriso (MT), para contornar tal questão, foram computados os erros-padrão robustos, evidenciando que os coeficientes que representam a Razão Ótima de Hedge (ROH) possuem significância estatística a um nível de 1%. Os modelos 2, 3, 4 e 5 apresentaram Razões Ótimas de Hedge (ROH) situadas entre 12% e 13%, indicando a proporção ótima do hedge. A efetividade do hedge, avaliada através do coeficiente de determinação, variou de 5,51% a 8,24% para esses modelos.

Conforme os critérios de seleção de AIC (critério de informação de Akaike) e BIC (critério de informação Bayesiano), o Modelo 5 destaca-se como o melhor, este apresentou uma ROH de 12,11%, com uma efetividade baixa de apenas 8,24%. Tal resultado implica que, na fase de planejamento, como estratégia para controlar o risco de preço na comercialização da *commodity* em Rio Verde, o produtor poderia considerar a implementação de uma posição vendida no mercado futuro, envolvendo cerca de 12,11% de contratos futuros em relação à produção física esperada.

Ao contrastar com os resultados apresentados por Souza (2020), que utilizou contratos futuros de Soja – CME, surgem notáveis divergências na efetividade. Em Rio Verde (GO), ao proteger 61,30% da produção, tal autora observou-se uma redução de aproximadamente 51% nos riscos associados aos preços da soja. Já em Jataí (GO), a estratégia de hedge resultou em uma diminuição de 53,50% nos riscos, com uma razão ótima de hedge de 60,80%. Entretanto, em Cristalina (GO), mesmo com uma razão ótima de hedge mais elevada, atingindo cerca de 54%, os resultados não alcançaram um nível significativo de desempenho. As discrepâncias entre os resultados deste estudo e os de Souza (2020) podem ter surgido devido ao período analisado e ao contrato futuro usado no presente estudo, que conforme já foi ressaltado, é um contrato relativamente recente.

Nesse sentido, os baixos resultados de efetividade e razão ótima de hedge observados em Sorriso (MT) e Rio Verde (GO) levantam questões importantes sobre a adequação das estratégias de gestão de risco nessas localidades. Diversos fatores podem contribuir para esse cenário, sendo importante uma análise mais aprofundada para compreender os motivos subjacentes. Fatores regionais, como condições climáticas específicas, características do mercado local, práticas agrícolas predominantes e até mesmo questões logísticas, podem ter um impacto significativo na dinâmica dos preços dos produtos agrícolas nessas regiões.

Por fim, deve-se ressaltar que se optou pelo uso de dados diários na presente investigação, mas na literatura há a estratégia proposta por Stoll e Whaley (1993) de trabalhar com dados de frequência semanal, dada a discrepância de frequência do preço físico e preço futuro, sendo os primeiros de recorrência maior. A opção pelo uso de dados diários, foi devido ao fato de o contrato futuro escolhido ter iniciado sua negociação apenas em novembro de 2021, o que geraria uma série semanal de tamanho relativamente pequeno, caso a transformação fosse feita.

Ademais, tem-se que o contrato futuro utilizado na análise ainda apresenta um número de negociações baixo, para se ter uma perspectiva, no dia 18 de dezembro de 2023, havia apenas 101 contratos deste em aberto na B3 e apenas para que se tenha um comparativo, neste mesmo dia também na B3, havia 5.525 contratos abertos do minicontrato futuro de soja CME que é uma parceria da bolsa brasileira com a bolsa de Chicago (B3, 2023).

Logo, por mais que a bolsa brasileira tenha lançado o contrato futuro usado pelo presente estudo como um produto focalizado para a realidade brasileira, de modo a proporcionar

uma melhor proteção do preço da soja do país, há ainda muito o que caminhar em termos de adesão a tal contrato, sendo que essa baixa adesão, também pode explicar os resultados obtidos pelo trabalho.

Considerações finais

Considerando a relevância da produção de soja nos estados de Mato Grosso e Goiás para o cenário brasileiro, este estudo se dedicou à análise da efetividade e da razão ótima de hedge do grão de soja, por meio do novo contrato futuro de soja *FOB Santos*, lançado pela B3 em novembro de 2021, para Sorriso (MT) e Rio Verde (GO), com o objetivo de verificar o desempenho de tal mecanismo de gestão de risco de preço em duas localidades que são destaque na produção de soja.

Com o intuito de atingir esse objetivo, foram selecionadas as negociações realizadas no mercado à vista em Sorriso (MT) e Rio Verde (GO), cidades estratégicas na produção de soja nesses estados. O período de análise compreendeu o intervalo iniciando em 29/11/2021, data de início das negociações do contrato de soja *FOB Santos* na B3, e encerrando-se em 07/12/2023. Essa abordagem não apenas visou enriquecer o cenário acadêmico, ao propor uma avaliação com base em um contrato futuro relativamente recente, mas também proporcionar uma contribuição prática significativa aos produtores de soja das regiões em questão, os quais podem utilizar as informações obtidas como elemento fundamental na formulação de suas estratégias financeiras.

Para alcançar tal propósito, no âmbito metodológico, o processo teve início com a identificação de tendências e a avaliação da estacionariedade das séries temporais, empregando testes como o Teste de Raiz Unitária de Dickey-Fuller Aumentado (ADF) e o Teste Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS). Em seguida, procedeu-se ao teste de cointegração de Johansen, essencial para examinar a existência de vetores de cointegração. Posteriormente, foram aplicados cinco modelos empíricos por meio da técnica de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), com o intuito de determinar a razão ótima de hedge (ROH) e avaliar a efetividade do hedge nas localidades de Sorriso (MT) e Rio Verde (GO).

Em Sorriso (MT), o Modelo 3 evidenciou-se como a escolha mais adequada, considerando os critérios de AIC (Critério de Informação de Akaike) e BIC (Critério de Informação Bayesiano). Nessa perspectiva, a razão ótima de hedge calculada atingiu 21,26%, enquanto a efetividade do hedge registrou apenas 11,04%, indicando resultados que apontam para uma eficácia limitada desses indicadores. Por outro lado, em Rio Verde, ao aplicar os mesmos critérios de seleção utilizados em Sorriso, o Modelo 5 destacou-se, apresentando uma razão ótima de hedge de 12,11%. Contudo, a efetividade associada a essa estratégia foi reduzida, alcançando apenas 8,24%. Esses desfechos sugerem que a abordagem adotada em Rio Verde também revela limitações em termos de efetividade.

Por conseguinte, pode-se afirmar que, ao examinar as estratégias de hedge em Sorriso (MT) e Rio Verde (GO), observou-se uma notável semelhança, confirmando assim, a hipótese inicialmente definida. Ambas as localidades apresentaram efetividades de hedge consideradas relativamente baixas, se comparado com o que se tem publicado na literatura, indicando desafios nas estratégias implementadas por meio do contrato futuro *FOB Santos*.

Ademais, é importante ressaltar que os resultados obtidos, tomam como base um contrato futuro relativamente recente, ainda com um número de negociação pequeno se comparado aos contratos que estão a mais tempo no mercado. Por fim, como sugestão de pesquisas futuras, um indicativo é refazer as estimações com dados semanais, de maneira a contornar a diferença entre a frequência dos preços físicos e futuros.

Referências

B3. Ajustes do pregão. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/historico/derivativos/ajustes-do-pregao/> . Acesso em: 01 dez. 2023.

B3. Contratos futuros. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/menu-hierarquico/tarifas-b3.htm>. Acesso em: 27 out. 2023.

CARVALHO, D. F. et al. Análises dos testes de cointegração e de correção de erro dos preços do café e do cacau no mercado internacional de futuros e opções. **Novos Cadernos NAEA**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 45-70, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/71/144>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

CHEIN, Flávia. **Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas**. 1. ed. Brasília: Enap Fundação Escola Nacional de Administração Pública. 2019.

COMEX STAT. **Portal para acesso gratuito às estatísticas de comércio exterior do Brasil**. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

EDERINGTON, L. M. The hedge performance of the new futures markets. **The Journal of Finance**, [s. l.], v. 34, p. 157-170, 1979. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/2327150>>. Acesso em 02 jan. 2024.

FERNANDEZ, A. J. C. Expansão da soja em Mato Grosso: políticas de ocupação e mercado de terras. **AgEcon Search**, Cuiabá, v. 1, n. 1, p. 23, 2008. Disponível em: <<https://ageconsearch.umn.edu/record/108912/files/145.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2023.

GUERRA, R. R. et al. A efetividade e razão ótima de hedge para a soja na praça de Tupanciretã. **Indicadores Econômicos FEE**, Porto Alegre, v. 40, n. 2, p. 139-150, 2013. Disponível em: <<https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/indicadores/article/view/2545>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

HULL, J. C. **Opções, futuros e outros derivativos**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2016. 994 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA: Banco de Tabelas Estatísticas**. 2022. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

IMEA – INSTITUTO MATOGROSSENSE DE ECONOMIA AGROPECUÁRIA. **Séries históricas**. Disponível em: <<https://www.imea.com.br/imea-site/indicador-soja>>. Acesso em 01 dez. 2023.

JOHANSEN, S. **Identifying restrictions of linear equations with applications to simultaneous equations and cointegration**. **Journal of econometrics**, [s. l.], v. 69, n. 1, p. 111–132, 1995. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/030440769401664L>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

MAIA, F. N. C. S.; AGUIAR, D. R. D. Estratégias de hedge com os contratos futuros de soja da Chicago Board of Trade. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 17, p. 617-626, 2010. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/gp/a/sHtCDRxtPk6NchPhNtxptJS/?format=html>>. Acesso em: 06 fev. 2024.

MARTA, J. M.C; FIGUEIREDO, A. M. R. Expansão da soja no cerrado de Mato Grosso Aspectos políticos. **Revista de Política Agrícola**, [s. l.], v. 17, n. 1, p. 117-128, 2008. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/429>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

MATSENBACH, J. R. **Razão ótima e efetividade do hedge com uso do contrato futuro da B3 para soja brasileira no período entre 2019 e 2020.** Santa Maria: Centro de Ciências Sociais e Humanas/UFSM, 2021. 61 p. Trabalho de Conclusão de Curso.

MONTEIRO, W. F. et al. A não efetividade do hedge para o boi gordo. **Revista de Economia**, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 18. 2013. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/economia/article/view/29108/22715>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

OLIVEIRA NETO, O. J. et al. Risco de base e cross hedge: uma revisão. **RAGC**, [s. l.], v. 4, n. 13, 2016. Disponível em: <<https://www.revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/712>>. Acesso em: 17 out. 2023.

OLIVEIRA NETO, O. J.; FIGUEIREDO, R. S. Análise das operações de hedge do boi gordo no mercado futuro da BM&F para o estado de Goiás. **Gestão & Planejamento-G&P**, Salvador, v. 9, n. 1, 2010. Disponível em: <<https://www.revistas.fucamp.edu.br/index.php/ragc/article/view/712>>. Acesso em: 17 out. 2023.

SARTORIS, Alexandre. **Estatística e Introdução à Econometria**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

SILVA, A. R. O.; AGUIAR, D. R. D.; LIMA, J. E. Hedging with futures contracts in the Brazilian soybean complex: BM&F vs. CBOT. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 41, p. 383-405, 2003. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/resr/a/cJbGwHv8tzwwcJHgnCn5CZy/?lang=en>> . Acesso em: 06 fev. 2024.

SILVA, I. T.; OLIVEIRA, R. A. Análise do hedge ótimo e efetividade do hedge para o mercado do milho em Ponta Grossa. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR, 26., 2017, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: UEPG, 2017. 4. p. 1-4. Disponível em: <https://siseve.apps.uepg.br/storage/eaic2017/14_Isabhor_Teixeira_da_Silva-150714496986251.pdf>. Acesso em: 17 out. 2023.

SOUZA, G. P. **Razão ótima e efetividade do Hedge para a cultura da soja nos municípios de Rio Verde, Jataí e Cristalina no estado de Goiás.** 2020. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Escola de Economia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

SOUZA, W. A. R.; MARTINES-FILHO, J.G.; MARQUES, P.V. Análise de estratégias de hedge simultâneo para a produção de soja no Centro-Oeste. **Revista de Economia**, [s. l.], v. 38, n. 2, p. 73-92, 2012. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/economia/article/view/29903/19363>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

STOLL, H.R. e WHALEY, R.E. **Hedging with futures contracts. Futures and Options-theory and applications**. Cincinnati: South-Western Publishing Co., 1993. 413.p.

TONIN, J. M.; TONIN, J. R.; TONIN, G. M. Operações de Hedge no Mercado da Soja: uma análise comparativa para o Estado do Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 1, n. 115. p. 07-30. 2008. Disponível em: <<https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/1>>. Acesso em: 02 jan. 2024.

TURRA, F. J. **Uma contribuição ao processo de divulgação do hedge accounting no Brasil.** 2019. 116 p. Tese (Doutorado em Administração) – Faculdade Economia, Administração, Contábeis e Atuariais, PUC-SP, São Paulo, 2019.

WOOLDRIDGE, J. M. **Introdução à econometria: uma abordagem moderna.** São Paulo: Cengage Learning, 2008.