



08, 09, 10 e 11 de novembro de 2022
ISSN 2177-3866

Transmissão de volatilidade no mercado de commodities agrícolas: evidências a partir do conflito Rússia-Ucrânia

DANIEL HENRIQUE DARIO CAPITANI
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

LUIZ EDUARDO GAIO
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)

Agradecimento à órgão de fomento:
n/a

Transmissão de volatilidade no mercado de *commodities* agrícolas: evidências a partir do conflito Rússia-Ucrânia

1. Introdução

Rússia e Ucrânia são dois importantes produtores e exportadores de *commodities* agrícolas, em especial nos mercados de trigo, milho, cevada e girassol. No caso do trigo, responderam por aproximadamente 29% das exportações em 2020 (COMTRADE, 2022), sendo que cerca de 50 países importam pelo menos 30% do trigo consumido de ambos os países (FAO, 2022). A Ucrânia é, também, a quarta maior exportadora de milho, com mais de 15% do volume mundial (COMTRADE, 2022). Ademais, a Rússia se destaca nas exportações de fertilizantes (potássio, nitrogênio e fósforo) em escala mundial, sendo importante parceiro comercial do Brasil. Regionalmente, o país é o maior ofertante de petróleo e gás natural para a União Europeia.

Considerando-se o atual conflito entre essas nações, iniciado em fevereiro de 2022, observa-se um impacto direto na volatilidade dos preços das *commodities*, como trigo, milho e petróleo, bem como escassez na oferta de fertilizantes (Umar et al., 2022; Wang et al., 2022). Esse fenômeno eleva os custos agrícolas (Su et al., 2019), reduz a oferta de alimentos e cria uma pressão aos índices de preços em escala global, sobretudo pelos impactos indiretos nas taxas de câmbio e mercado de capitais (Adekoya et al. 2022; Umar et al., 2022; Oluwasegum et al., 2022; Bongou e Yatié, 2022).

Em geral, a ocorrência simultânea desses efeitos impacta mais significativamente países em desenvolvimento (Saghaian et al., 2018; IFPRI, 2022), em especial aqueles em que a agropecuária tem uma participação importante no produto interno (Melichar e Atems, 2019), aumentando as instabilidades econômica e institucional (Wang et al., 2022).

Em específico, entende-se que o Brasil, sendo um importante produtor e exportador de *commodities* agrícolas, concomitante a um cenário pós crises econômicas e políticas, intensificadas pela pandemia do vírus SARS-COV-2, tende a sofrer em maior escala esses efeitos, com alta desvalorização cambial, aumento nos custos de produção e alta nos indicadores de preços ao consumidor.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar os potenciais efeitos do conflito Rússia-Ucrânia no aumento nas volatilidades dos preços de *commodities* no mercado internacional e sua relação com as volatilidades dos preços de *commodities* agrícolas no Brasil. Especificamente, se propõe a analisar a transmissão de volatilidade entre os retornos dos preços do petróleo, trigo, milho e soja no mercado externo com os retornos dos preços de soja, milho e trigo no Brasil, buscando entender se o conflito teve efeito potencial sobre o mercado brasileiro.

Entende-se que tal análise permite agregar elementos ao recente debate sobre os efeitos do supracitado conflito sobre os preços agrícolas em escala global, ainda mais a se considerar os efeitos sobre as *commodities* já advindos da pandemia da Covid-19 e, o recente aumento no nível geral de preços na economia brasileira, desencadeado, sobretudo, pelo aumento nos preços de combustíveis e alimentos. Ademais, contribui-se com a literatura, ao se tratar de estudo inédito sobre a transmissão de preços e transbordamento de volatilidades nos mercados agrícolas internacionais para com o Brasil, grande exportador de soja e milho, e importador de trigo.

2. Fundamentação Teórica

Diferentes estudos têm analisado o aumento na volatilidade das commodities agropecuárias nas últimas décadas, quando os preços atingiram picos históricos, nos períodos 2006-2008 (Wright, 2011; Trujillo-Barrera et al., 2012) e, mais recentemente, ao longo da pandemia do SARS-Covid-19 (Wang et al., 2020; Hung, 2021; Borgdards et al., 2021). Muitos destes estudos estão focados em mercados emergentes, uma vez que fortes oscilações nesses preços podem incorrer em inflação e afetar o bem-estar social (Acemoglu et al., 2003). Além disso, muitas vezes decorrem de crises internacionais, piorando os efeitos econômicos, sobretudo nos países desenvolvidos (Frenk; Turbeville, 2011).

Considerando a alta dos preços no período 2006-2008, Irwin e Good (2009), destacam diferentes fatores que contribuíram com o fenômeno na ocasião, como o aumento na demanda de países em desenvolvimento, especialmente a China, quebras de safra em importantes países produtores, política monetária norte americana, que levou a uma desvalorização de sua moeda e o aumento na produção de biocombustíveis. Porém, deste último fator, Serra e Zilberman (2013) destacam que o efeito deve ser analisado com cautela, a depender do mercado analisado, bem como os modelos econômicos utilizados para a análise.

Especificamente aos estudos que utilizaram-se de modelos econométricos para explicar o efeito do boom das commodities entre 2006-2008, observa-se que a vasta maioria de estudos concluem, ainda que de formas distintas, que há uma relação direta entre os mercados energéticos com os agropecuários, especialmente na relação do petróleo e derivados para com os mercados graneleiros em escala global (milho, trigo, soja, arroz e aveia, sobretudo) (Zhang et al., 2010; Serra, 2011; Vacha et al., 2012; Kristoufek et. al, 2014; Cabrera e Schulz, 2016; Saghaian et al., 2018).

Ademais, Trujillo-Barreras et al. (2013) elencam que essa relação entre os mercados energéticos e agrícolas se tornou mais próxima desde a última década, em razão do aumento do uso de biomassa, grãos e oleaginosas para a produção de biocombustíveis, em especial o milho para a produção de etanol nos EUA. Tal constatação também é feita por Tyner (2010), apontando que o aumento no consumo de etanol no mercado norte-americano deu um impulso adicional às variações nos preços das commodities agrícolas, que vinha acompanhando as variações nos preços do petróleo no mercado internacional.

Mais recentemente, novos estudos têm buscado compreender os efeitos da pandemia da Covid-19 nas relações de preços e volatilidades das commodities, primeiramente pela rápida queda nos preços de commodities energéticas e minerais, posteriormente, pela rápida subida nos preços das commodities de forma geral, com os alguns mercados agrícolas renovando o seu recorde de preços. A maior parte dessas pesquisas têm focado na análise do efeito *spillover* de volatilidades entre os mercados agrícolas, comparando os períodos pré e ao longo da pandemia da Covid-19 (Elleby et al., 2020; Borgdards et al., 2021; Kamdem et al., 2020; Hung, 2021; Wang et al., 2022). Adicionalmente, alguns estudos se debruçaram na análise da relação entre as commodities energéticas, sobretudo petróleo, e as agrícolas, em especial grãos, assim como grande parte dos estudos para o período de 2006-2008 (Wang et al., 2020; Dmytrów et al., 2021; Farid et al., 2022).

Os resultados, em geral, apontam na direção de que houve um aumento substancial da transmissão de volatilidade entre o petróleo e as commodities agrícolas e entre essas, em escala global, após o início da pandemia da Covid-19. Borgdards et al. (2021) e Farid et al. (2021)

apontam que esta relação é mais evidente entre commodities energéticas, metais preciosos, grãos e oleaginosas, e menos intensas nas atividades pecuárias, café e algodão. Hung (2021) também demonstram que o milho, trigo e a soja aumentaram o grau de transmissores de volatilidade ao longo da pandemia da Covid-19, enquanto açúcar e aveia se tornaram receptores de volatilidade. Ainda, apontam evidências que indicam uma mudança na volatilidade do petróleo nesse período, sugerindo impactos significativos no comportamento dos preços agrícolas.

Adentrando ao entendimento dos efeitos de curto prazo nos mercados agrícolas, Wang et al. (2022) se propuseram a avaliar os impactos do conflito entre Rússia e Ucrânia no primeiro semestre de 2022 nas volatilidades e retornos do trigo, milho, soja e açúcar. Os autores utilizaram indicadores de preços físicos de referência no mercado internacional, sugerindo que as volatilidades aumentaram entre 35% a 85%, sendo maior que a observada no período de subida dos preços das commodities ao longo da pandemia da Covid-19. Seus resultados também indicam que o petróleo e açúcar foram um transmissor líquido de volatilidade, enquanto soja e trigo receptores líquidos. No caso do açúcar, sugere-se relação indireta com os mercados de etanol, que acompanhou as variações nos preços dos combustíveis fósseis.

Outro estudo aplicado aos mercados de commodities agrícolas considerando o conflito entre os dois países foi desenvolvido por Just e Echaust (2022), que analisaram o transbordamento de volatilidade nos mercados de grãos (soja, milho, trigo, arroz e cevada), considerando indicadores de preços físicos diários do conselho internacional de grãos, desde o ano 2000 até 37 dias após o início do conflito, observando comportamentos similares momentos de crises anteriores, havendo recordes nas transmissões de volatilidade entre trigo, milho e cevada, considerando a importância das três culturas para os países em questão. Ainda, Umar et al. (2022) avaliam os efeitos de contágio entre mercados financeiros, incluindo futuros de petróleo e de trigo, identificando que este último foi um receptor de volatilidade no período, enquanto o primeiro um transmissor de volatilidade.

As oscilações nos preços das *commodities* agrícolas, já intensificadas ao longo da pandemia da Covid-19, aparentam ter sido incrementadas pelos efeitos do conflito da Rússia e Ucrânia, em especial pelos impactos nos preços de petróleo, fertilizantes, trigo e milho. Portanto, a aplicação dos métodos apresentados nos estudos mencionados é relevante para o caso do Brasil, em especial pela sua participação como importante player no mercado agropecuário internacional.

3. Metodologia

3.1 Dados

Os dados utilizados neste estudo consistem em preços físicos e futuros de milho, trigo e soja, e preços futuros de petróleo. Os preços agrícolas consistem nos preços futuros da Chicago Mercantile Exchange (CME), como referência internacional, e nos preços físicos Brasil, baseados nos indicadores de preços do Cepea/Esalq/USP. Os preços futuros de petróleo são referentes ao Brent, em US\$ por barril. Salienta-se que optou-se por não utilizar os preços futuros dos contratos da B3, pela ausência de contrato de trigo e pela baixa liquidez no contrato de soja, como aponta Trujillo-Barreras et al. (2012).

Os preços futuros da CME são, respectivamente, soja (ZS), milho (ZC) e trigo (OZW), este último referente ao Chicago Soft Red Wheat (SRW), contrato de trigo de maior liquidez

na bolsa. Os preços físicos foram coletados com base no indicador Cepea/Esalq/USP para milho Campinas, Soja Paranaguá e preço médio de trigo Paraná.

Destaca-se que as séries de preços futuros foram roladas considerando o primeiro vencimento de cada contrato. Ainda, salienta-se que todos os preços agrícolas foram padronizados em US\$ por bushell. Na sequência, todos os preços (incluindo de petróleo) foram padronizados na escala logarítmica.

O período analisado se inicia em 4 de janeiro de 2021 e termina em 15 de junho de 2022, em uma amostra com 354 observações para todos os preços. Esta série de tempo permite observar os efeitos do conflito entre Rússia e Ucrânia, iniciado em 23 de fevereiro de 2022. Além disso, permite captar toda a safra do hemisfério Norte em 2021, toda safra de verão brasileira em 2021 e 2022 (para soja e milho), e a safra de inverno de 2021 (para trigo e milho segunda safra), reduzindo possíveis vieses da análise por conta de sazonalidades.

3.2 Análise dos dados

Para analisar o transbordamento (*spillover*) e o contágio na volatilidade entre os mercados de *commodities* agrícolas no mundo e o mercado de petróleo, o estudo foi realizado seguindo a metodologia de Akhtaruzzaman et. al. (2021). A análise ocorreu em três etapas, conforme segue:

1ª etapa: refere-se a análise das estatísticas descritivas dos retornos diários das *commodities*. Para isso as séries de retornos foram divididas em três sub-amostras. A primeira amostra corresponde a todo o período amostral, entre 04 de janeiro de 2021 e 15 de junho de 2022. A segunda amostra reflete o período anterior ao conflito da Rússia e Ucrânia, com dados entre 04 de janeiro de 2021 e 23 de fevereiro de 2022. A terceira amostra está relacionada ao período do conflito, que corresponde ao intervalo de 24 de fevereiro de 2022 (dia em que a Rússia invade a Ucrânia) até 15 de junho de 2022. Os retornos diários foram estimados conforme equação 1.

$$r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}) \quad (01)$$

onde r_t e P_t corresponde ao retorno e preço da *commodity* no dia t respectivamente.

2ª etapa: corresponde à estimação das correlações condicionais entre os mercados de *commodities*. O modelo DCC-GARCH proposto por Engle (2002) foi utilizado nesta etapa. O modelo geral é dado pelas equações 2, 3, 4 e 5.

$$r_t = \phi + \varepsilon_t \quad (02)$$

$$\varepsilon_t = \sqrt{H_t} e_t \quad (03)$$

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (04)$$

$$H_{i,t} = \alpha_{0i} + \sum_{q=1}^{Q_i} \alpha_{iq} \varepsilon_{i,t-q}^2 + \sum_{p=1}^{P_i} \beta_{ip} H_{i,t-p} \quad (05)$$

onde ϕ é o vetor de constante, r_t é a série de retornos diários das *commodities*, ε_t é o erro condicional, H_t é a matriz ($n \times n$) da covariância (e variância) condicional de ε_t , e_t é o erro aleatório independente e identicamente distribuído (i.i.d.), D_t é a matriz diagonal ($n \times n$) dos erros condicionais de ε_t , R_t é a matriz ($n \times n$) das correlações condicionais de ε_t no tempo t ,

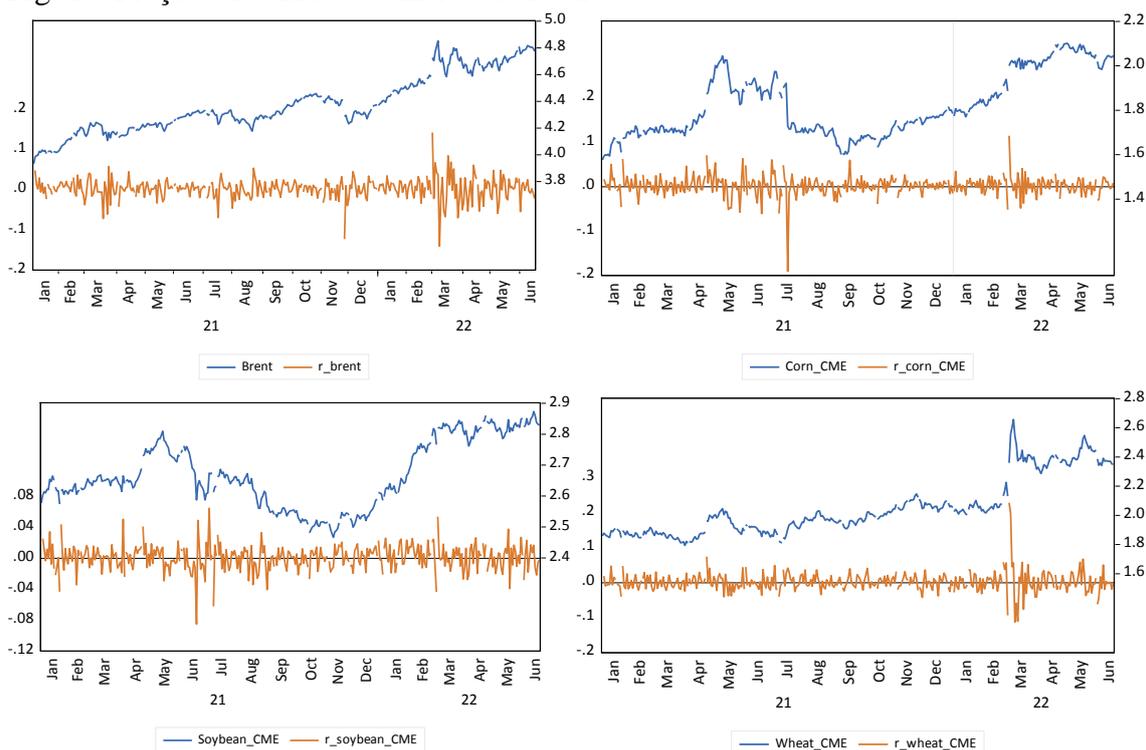
α corresponde as médias da volatilidade (chamado de parâmetro ARCH) e β os parâmetro de transmissão da volatilidade (chamado de parâmetro GARCH). Neste estudo, utilizou-se o modelo bivariado DCC-GARCH(1,1) estimado pelo pacote ‘rmgarch’ do software R.

3ª etapa: comparação das correlações condicionais dinâmicas (DCCs) das séries. Nesta etapa estimou-se a média e desvio-padrão das correlações condicionais entre as séries de retornos das *commodities* e comparou se houve aumento/redução durante o conflito da Rússia-Ucrânia. Foi realizado o teste *t* para duas amostras, presumindo variâncias diferentes, para comparar as médias das correlações antes e durante o conflito.

4. Análise dos Resultados

A Figura 1 apresenta os gráficos dos retornos e preços das *commodities* petróleo (*Brent*), milho (*Corn*), soja (*Soybean*) e trigo (*Wheat*) negociados no mercado futuro da CME. Já a figura 2 os preços e retornos das *commodities* do mercado físico (*Spot*) do Brasil disponível pelos indicadores Cepea/Esalq/USP.

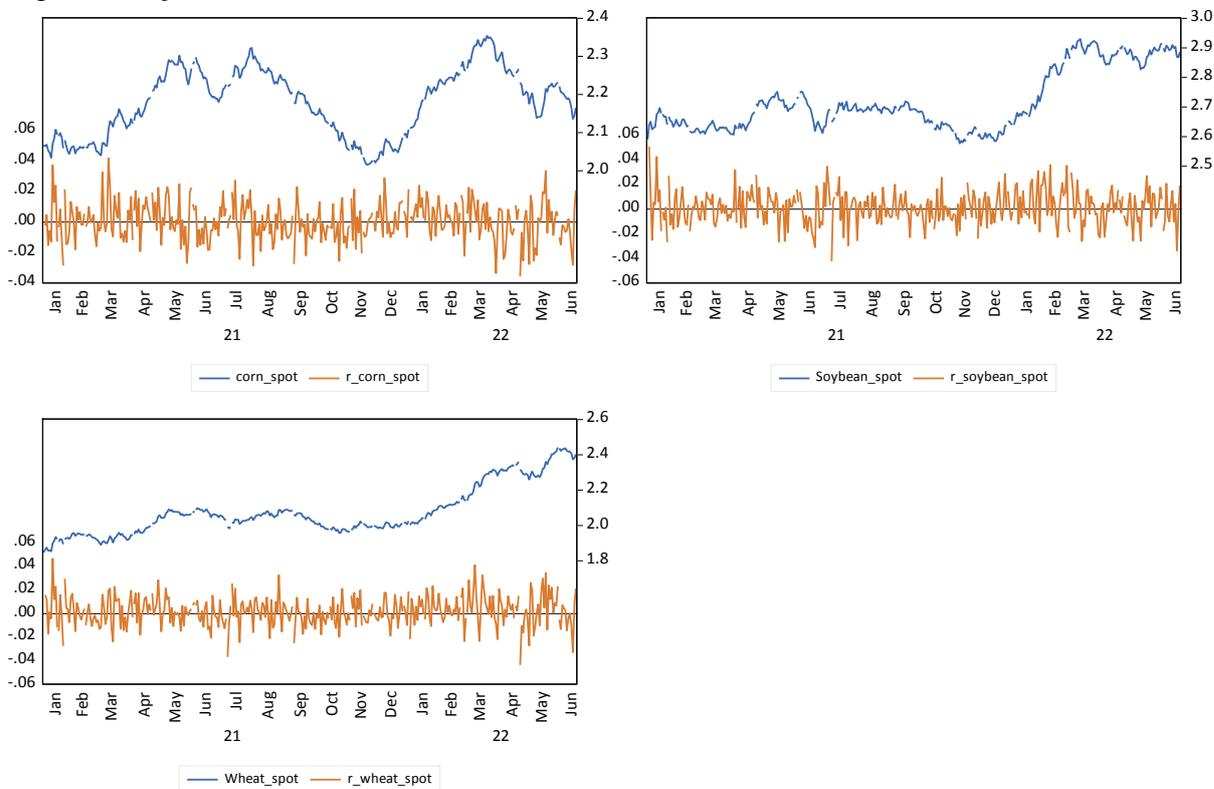
Fig. 1 – Preços e retornos dos mercados futuros de *commodities*



Apesar dos impactos do conflito Rússia-Ucrânia terem sido aparentes nos mercados futuros de *commodities* agrícolas, no mercado físico do Brasil esse evento não se mostrou tão evidente (Figura 2). Para o milho, nota-se um efeito sazonal, em que os preços começam a ceder após a colheita da safra de verão grão, após fevereiro/março. Ainda mais se comparado a 2021, em que o grão atingiu seus maiores patamares reais da série de preços. No entanto, para a soja e trigo, embora sem uma quebra estrutural evidente nas séries, há de se considerar um

movimento de alta nos preços iniciados entre janeiro e fevereiro de 2022, sustentado a partir de então, mesmo após a colheita da safra brasileira de soja.

Fig. 2 – Preços e retornos dos mercados físicos das *commodities*



Para uma melhor avaliação do comportamento dos retornos ao longo do período, a Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das séries de *commodities* separadas em três amostras. A primeira, considera todo o período da série (de 04 de janeiro de 2021 até 15 de junho de 2022). A segunda corresponde ao período anterior ao conflito da Rússia-Ucrânia (de 04 de janeiro de 2021 a 23 de fevereiro de 2022). A terceira é a amostra durante o conflito (de 24 de fevereiro de 2022 até 15 de junho de 2022).

De acordo com os dados da Tabela 1, é possível notar que os retornos diários dos mercados de petróleo e trigo foram maiores, em média, no período do conflito da Rússia-Ucrânia do que no período anterior ao conflito. Os mercados de soja, tanto futuro (CME) quanto físico (Paranaguá), apresentaram comportamento oposto. Houve uma queda dos retornos após o conflito, porém, ainda se mantendo positivos. Fato não percebido no mercado físico de milho. Após o conflito da Rússia, o mercado físico de milho obteve retorno diário médio negativo. Uma explicação está na reversão de alta do preço do milho, após preços recordes em 2021 e em decorrência da colheita da safra de verão no Brasil, no primeiro semestre de 2022.

Tabela 1 – Estatística Descritiva

	Obs.	Média	Max.	Min.	Des. Pad.	Assi.	Curt.	JB	ADF	Q(10)
<i>Amostra toda</i>										
Brent	353	0,0024	0,14	-0,14	0,026	-0,52	9,30	599,2*	-19,6*	14,6
Corn_CME	353	0,0013	0,11	-0,19	0,023	-1,39	18,78	3774,6*	-20,2*	29,0*
Corn_Spot	353	0,0003	0,04	-0,04	0,013	0,06	3,24	1,08	-16,5*	13,9
Soybean_CME	353	0,0007	0,06	-0,09	0,016	-0,37	6,29	167,2*	-20,7*	15,8
Soybean_spot	353	0,0008	0,05	-0,04	0,014	0,12	3,43	3,49	-18,6*	9,6
Wheat_CME	353	0,0014	0,23	-0,11	0,029	1,94	20,19	4569,8*	-16,9*	18,5**
Wheat_spot	353	0,0016	0,05	-0,04	0,013	0,05	3,78	9,1**	-18,4*	20,3
<i>Antes do Conflito Rússia-Ucrânia</i>										
Brent	277	0,0023	0,06	-0,12	0,020	-1,18	8,66	433,7*	-17,2*	6,5
Corn_CME	277	0,0012	0,07	-0,19	0,023	-2,05	20,83	3860,3*	-16,7*	32,2*
Corn_Spot	277	0,0007	0,04	-0,03	0,012	0,27	3,20	3,81	-15,2*	8,9
Soybean_CME	277	0,0008	0,06	-0,09	0,016	-0,48	7,15	210,0*	-17,7*	23,4*
Soybean_spot	277	0,0010	0,05	-0,04	0,013	0,17	3,65	6,3**	-16,8*	8,8
Wheat_CME	277	0,0010	0,07	-0,04	0,019	0,46	3,43	11,9*	-17,0*	15,7
Wheat_spot	277	0,0011	0,05	-0,04	0,011	0,15	3,70	6,8**	-17,2*	10,6
<i>Depois do Conflito Rússia-Ucrânia</i>										
Brent	76	0,0027	0,14	-0,14	0,040	-0,10	5,44	18,9*	-9,1*	11,2
Corn_CME	76	0,0018	0,11	-0,05	0,022	1,23	10,12	179,5*	-12,2*	25,5*
Corn_Spot	76	-0,0014	0,03	-0,04	0,014	-0,30	2,89	1,21	-7,0*	5,9
Soybean_CME	76	0,0005	0,05	-0,04	0,017	0,02	3,64	1,32	-10,6*	9,5
Soybean_spot	76	0,0003	0,03	-0,03	0,014	-0,06	2,71	0,31	-8,0*	8,4
Wheat_CME	76	0,0029	0,23	-0,11	0,050	1,55	9,87	179,8*	-7,3*	9,6
Wheat_spot	76	0,0034	0,04	-0,04	0,016	-0,26	3,29	1,13	-7,8*	10,9

Notas: JB indica o teste Jarque-Bera. ADF indica o teste de raiz unitária Augmented Dickey Fuller. Q(10) corresponde ao teste Ljung-Box de retornos à ordem de defasagem de 10 autocorrelações seriais. (*) denotam valor de $p < 0,01$, (**) denotam valor de $p < 0,05$

Observando a volatilidade dos retornos diários dos preços das *commodities* (medidas pelos desvios), nota-se um aumento generalizado após o conflito da Rússia com a Ucrânia quando comparado ao período anterior. Os valores subiram em praticamente todos os mercados, com substancial salto para os preços de petróleo e de trigo na CME. A exceção foi o mercado futuro de milho da CME, cujos valores foram ligeiramente maiores no período anterior ao conflito, possivelmente pelas oscilações que esta commodity sofreu ao longo de 2021, após atingir preços recordes no mercado internacional.

Em termos gerais, nota-se que as séries de retornos dos mercados são assimétricas e leptocúrticas (valores de curtose superiores a 3). O que sugerem a presença de caldas presadas e eventos extremos. Ressalta-se, porém, que tal comportamento já esperado para séries de retornos financeiros. Salienta-se, ainda, que os valores de assimetria e curtose para a maior parte das séries rejeitam a hipótese de normalidade do teste de Jarque e Bera (1980), ou seja, a maioria das séries de retornos das *commodities* não são normais, principalmente no período anterior ao conflito.

No entanto, o comportamento dos retornos durante o conflito da Rússia-Ucrânia se mostrou diferente dos demais períodos analisados. A maior parte dos retornos convergiram para

uma distribuição normal, aceitando a hipótese de normalidade do teste de Jarque e Bera (1980). A assimetria ainda é presente, porém com menor intensidade. Já a curtose ficou próximo próxima de 3, à exceção para os mercados futuros de Milho e Trigo da CME.

Em relação à estacionaridade e presença de autocorrelação serial dos retornos dos preços, nota-se pelo teste de Dickey e Fuller (1979) (ver também Said e Fuller, 1984) que todas as séries são estacionárias em nível, ou seja, a hipótese de raiz unitária é rejeitada pelo teste. Tal resultado já era esperado, uma vez que tratam-se de retornos das séries de preços. As séries também não apresentaram autocorrelação serial dos retornos no lag 10, visto pela aceitação da hipótese nula de ausência de autocorrelação serial (autocorrelação = 0) pelo teste de Ljung e Box (1978).

Após a análise prévia das séries de retornos, considerando-se as premissas necessárias, segue-se para a estimação do modelo DCC-GARCH(1,1). Os resultados das correlações condicionais dinâmicas entre os diferentes mercados estimadas pelo modelo DCC-GARCH(1,1) estão presentes nas figuras 2, 3, 4 e 5. Os parâmetros de transbordamento (*spillover*) de volatilidade (β_s da equação 5) foram significativos a 5% em todos os modelos DCC-GARCH(1,1) estimados. Tais resultados evidenciam que as volatilidades dos retornos dos mercados se influenciam significativamente e positivamente durante todo o período da amostra. Os parâmetros estimados dos modelos DCC não foram reportados no estudo.

A tabela 2, por sua vez, apresenta os resultados das médias das correlações condicionais para os períodos anteriores e durante o conflito da Rússia-Ucrânia. Os testes t que avaliam a diferença das médias estão reportados e são significativos em todos os casos, à exceção na relação entre milho CME e milho spot, e soja CME e soja spot.

Observa-se que a figura 2 corresponde ao mercado de petróleo em relação a todos os demais mercados analisados. A figura 3 ao mercado de milho da CME em relação aos mercados futuros de soja e trigo na CME, e a todos os mercados spot Brasil. A figura 4 ao mercado de soja da CME em relação aos mercados futuros de milho e trigo na CME, e a todos os mercados spot Brasil. E por fim, a figura 5 ao mercado de trigo na CME em relação aos mercados futuros de milho e soja na CME, e a todos os mercados spot Brasil. O período do conflito da Rússia-Ucrânia está destacado (sombreado) nas figuras.

Fig. 2 – Correlações Condicionais Dinâmicas (DCC) do mercado de Petróleo (Brent)

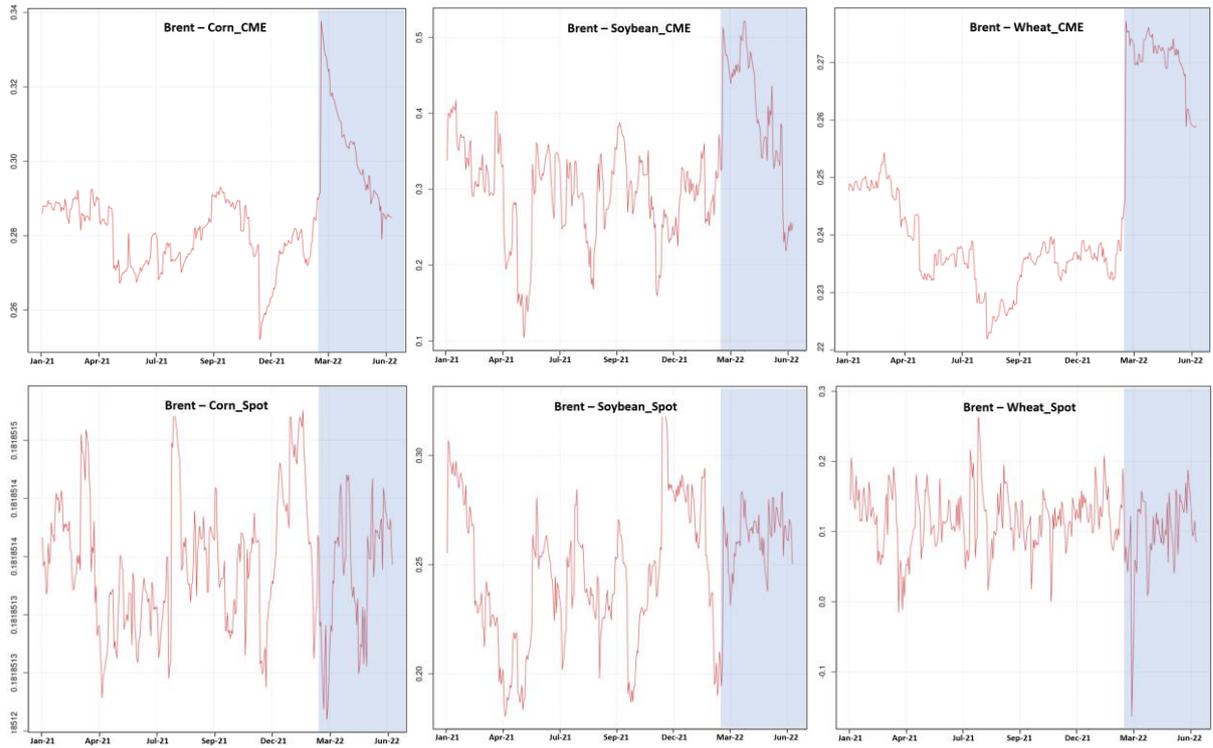


Fig. 3 – Correlações Condicionais Dinâmicas (DCC) do mercado de Milho (Corn – CME)

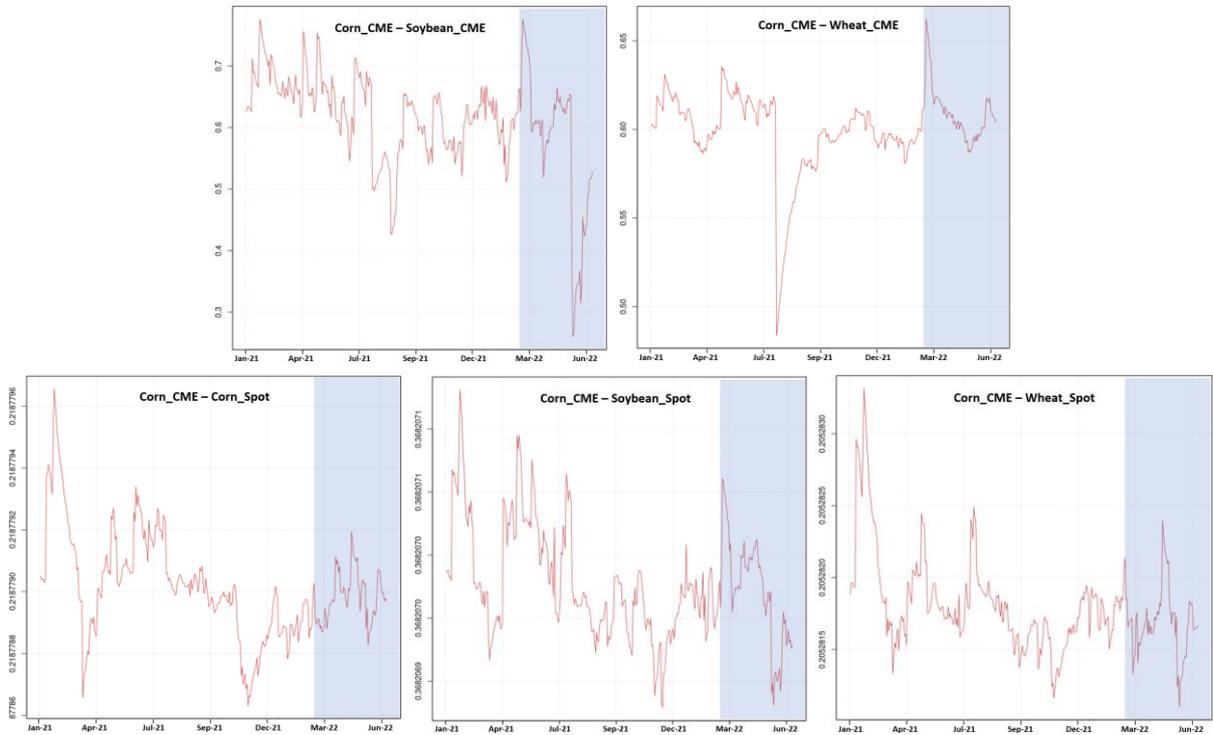


Fig. 4 - Correlações Condicionais Dinâmicas (DCC) do mercado de Soja (Soybean –CME)

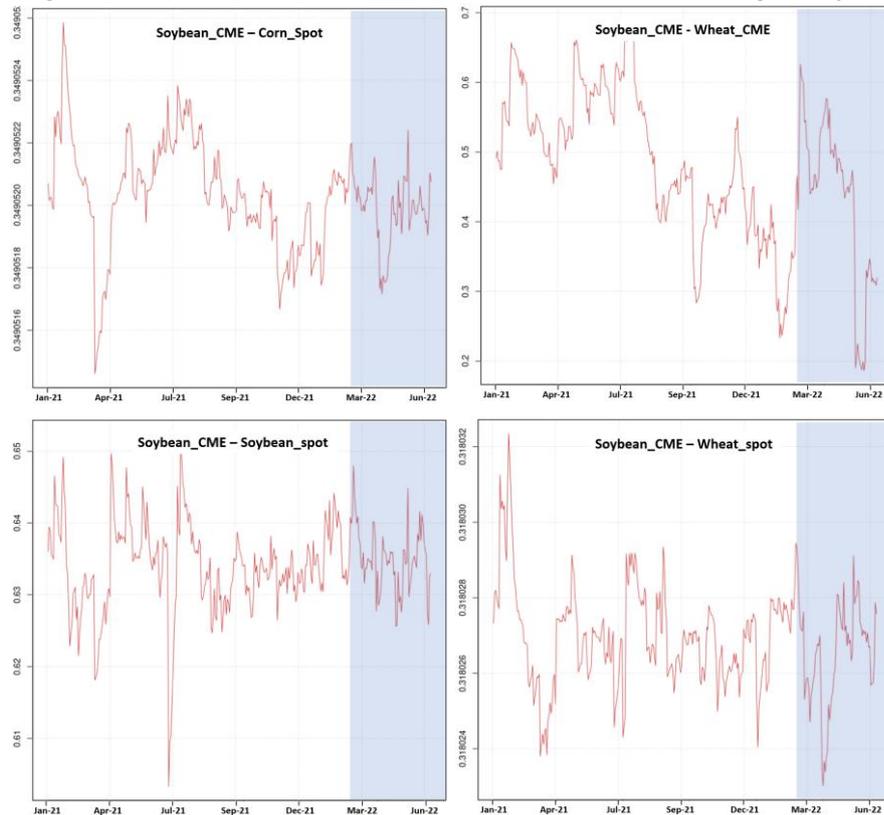
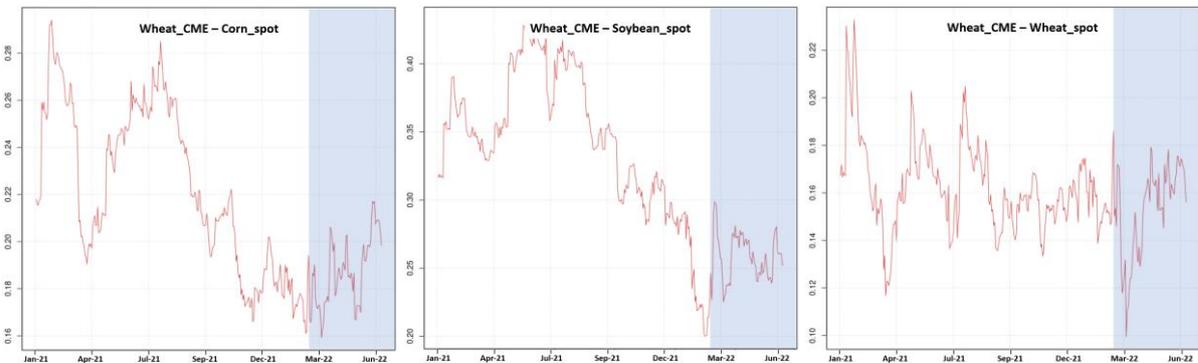


Fig. 5 - Correlações Condicionais Dinâmicas (DCC) do mercado de Trigo (Wheat – CME)



A figura 2 mostra uma elevação repentina e significativa na correlação condicional entre o mercado de Petróleo e os três mercados futuros de grãos negociados na CME, evidenciando uma nítida quebra estrutural na série, após o início do conflito entre Rússia e Ucrânia, com a correlação atingindo seus valores máximos nos três mercados. Após a quebra apresentada, observa-se que o efeito persiste no mercado de trigo, com os retornos dos preços muito acima daqueles observados no período anterior ao conflito. A diferença do DCC entre os períodos anterior e ao longo do conflito (Tabela 2), corrobora que a volatilidade aumentou. Para a soja, o efeito se perpetua significativa, como pode se notar pela diferença na média dos retornos entre os dois períodos analisados (Tabela 2). Porém, a variação perde força dois meses depois, conforme emergem as projeções de safra para o hemisfério norte, voltando aos patamares de

oscilações anterior ao conflito. No caso do mercado de milho, em específico, nota-se que a correlação se elevou com o início do conflito, mas posteriormente os valores convergiram rapidamente para a média anterior, não havendo mudanças significativas entre as médias dos retornos dos dois períodos.

Já quando se observa essa correlação dos retornos dos preços do petróleo Brent com os mercados físicos de grãos no Brasil, não é possível notar uma variação nítida como ocorreu nos mercados futuros. No mercado de trigo nota-se um ligeiro aumento na correlação dias após o início do conflito. Evidências corroboradas pelos valores médios da correlação condicional antes e durante o conflito, mostrado na Tabela 2. No entanto, há de se considerar que as séries de preços físicos do Brasil foram utilizadas em dólar e, possivelmente, os efeitos cambiais suavizaram a variação desses preços em relação à sua moeda local.

Para melhor estruturar essa discussão, é necessário se avaliar potenciais efeitos de transmissão de volatilidade entre as próprias *commodities* agrícolas, com referência no mercado internacional e Brasil. Para início de análise, a figura 3 apresenta a correlação condicional do mercado futuro de milho com os demais mercados agrícolas analisados. De forma geral, nota-se um aumento dessa correlação nos mercados de soja e trigo, tanto futuro quanto físico. Diferentemente da correlação do petróleo, a correlação com os retornos do mercado futuro de milho da CME não se mostrou persistente. Houve apenas uma pequena elevação da correlação, que não se persistiu no decorrer dos dias. Pela Tabela 2, observa-se que a diferença do DCC entre os dois períodos foi positiva na relação com o mercado de trigo, porém negativa para o mercado de milho. Não se pôde identificar efeitos significativos para o mercado de milho no Brasil, assim como os demais mercados físicos analisados.

Os dados da correlação condicional do mercado futuro de soja (Figura 4) não apresentaram mudanças significativas após o início do conflito da Rússia-Ucrânia, em especial para os mercados futuros (CME) e físicos (Brasil) de milho. Já em termos médios (Tabela 2) a estatística t comprova que houve uma redução da correlação média durante o conflito da Rússia-Ucrânia para o mercado futuro de trigo e de milho, o que sinaliza, tal como esperado, que as flutuações no mercado de soja não teriam efeitos significativos nos mercados de trigo e milho por conta do conflito em questão.

Na Figura 5, apresenta-se a correlação condicional do mercado futuro de trigo com os mercados futuros e físicos de milho e soja. Para os futuros, consideram-se as relações já apresentadas nas figuras 3 e 4, entre milho e trigo e soja e trigo, respectivamente, com ambos os casos ocorrendo aumento da volatilidade. Nota-se, pela Tabela 2, que a diferenças do DCC aumentou ligeiramente para o mercado de milho e reduziu significativamente para o mercado de soja. Para os mercados físicos, observa-se uma mudança no comportamento da correlação condicional a partir do início do confronto para os três mercados. Analisando-se as diferenças da DCC entre os períodos, houve uma redução para os três mercados, mais significativa, respectivamente, nos mercados de soja e milho. Diferentemente do esperado, o mercado de trigo brasileiro apresentou menor variação que os demais mercados, talvez por apresentar uma dinâmica menos integrada com o setor externo que as demais *commodities* supracitadas, além do fato de grande parte da determinação dos preços (e volatilidades) desse mercado depender da safra de inverno no Brasil, ou da volatilidade cambial, que, como apontado, estaria incorporada nas séries de preços (em dólar).

Tabela 2 – Análise das médias das Correlações Condicionais Dinâmicas (DCC)

	Corn_CME	Corn_Spot	Soybean_CME	Soybean_spot	Wheat_CME	Wheat_spot
<i>Brent</i>						
Antes ^a	0,2795	0,1819	0,2938	0,2444	0,2373	0,1171
Durante ^b	0,3019	0,1819	0,3957	0,2602	0,2689	0,0988
Dif. DCC ^c	0,0223	0,0000	0,1019	0,0158	0,0316	-0,0184
Estat. t	-13,03*	1,64	-9,84*	-5,61*	-32,59*	2,62**
<i>Corn CME</i>						
Antes ^a		0,2188	0,6235	0,3682	0,5970	0,2053
Durante ^b		0,2188	0,5689	0,3682	0,6090	0,2053
Dif. DCC ^c		0,0000	-0,0546	0,0000	0,0120	0,0000
Estat. t		2,92*	3,67*	2,32**	-5,36*	3,99*
<i>Soybean CME</i>						
Antes ^a	0,6235	0,3491		0,6339	0,4898	0,3180
Durante ^b	0,5689	0,3491		0,6350	0,4313	0,3180
Dif. DCC ^c	-0,0546	0,0000		0,0011	-0,0585	0,0000
Estat. t	3,67*	2,72*		-1,77	3,92*	2,05**
<i>Wheat CME</i>						
Antes ^a	0,5970	0,2228	0,4898	0,3427		0,1625
Durante ^b	0,6090	0,1871	0,4313	0,2582		0,1537
Dif. DCC ^c	0,0120	-0,0356	-0,0585	-0,0845		-0,0088
Estat. t	-5,36*	13,44*	3,92*	22,59*		3,59*

Notas: a: antes do conflito; b: Durante o conflito; c: Diferença da DCC; * significativo a 1%.

Em suma, os resultados revelam que o nível de dependência entre os mercados, estimados pela correlação condicional variam bastante no tempo. A alta da correlação no período de conflito confirma a existência de contágio financeiro entre os mercados de *commodities*. A transmissão do transbordamento (*spillover*) da volatilidade dos retornos, na maioria dos casos analisados, foi maior no período do conflito da Rússia-Ucrânia. Há uma transmissão dos choques nesse período, principalmente para os mercados internacionais de *commodities*, em especial com relação aos preços do petróleo.

Os resultados apresentados estão de acordo com os estudos de Just e Echaust (2022), sobretudo ao considerar a transmissão nos mercados de referência internacional. Enquanto os autores consideram preços físicos, este estudo considerou os preços da CME e observou fortes efeitos, especialmente no mercado de trigo. Ainda, está em consonância com as indicações do estudo de Umar et. al. (2022), ao identificarem que o petróleo se apresenta como principal transmissor de volatilidade após o conflito, enquanto o trigo como receptor. Estas últimas evidências podem ser observadas quando não se observa efeitos significativos de transmissão de volatilidade do trigo com outras *commodities* agrícolas, tanto internacionalmente, como no Brasil, embora o petróleo seja um grande causador de volatilidade para o trigo e soja no período. Ainda, pode-se considerar parte das conclusões do estudo de Adekoya et. al. (2022), quando identificam os efeitos advindos do mercado de petróleo para outros mercados financeiros após o conflito.

5. Conclusão e contribuição

Este estudo teve como objetivo avaliar a transmissão de volatilidade entre os mercados futuros de referência internacional de trigo, milho, soja e petróleo, e os mercados físicos de soja, milho e trigo do Brasil, considerando o início do conflito entre Rússia e Ucrânia em fevereiro de 2022. Especificamente, pretendeu-se situar se o fenômeno tem sido generalizado em escala global, a ponto de afetar o comportamento dos retornos das *commodities* agrícolas brasileiras.

O estudo limitou-se em analisar o comportamento do impacto das principais *commodities* nacionais que são também negociadas pelos países que entraram em conflito. A Rússia e Ucrânia são fortes produtores de petróleo e grãos e, por essa razão, demais *commodities* agrícolas não foram consideradas. Em suma, entende-se que os choques dos preços possam ser transmitidos entre os mercados em escala global, embora com menor efeito para os preços no Brasil. Em geral, nota-se que o petróleo apresentou o maior efeito de transmissão de volatilidade sobre os preços internacionais (futuros de trigo, milho e soja na CME), com evidente efeito de aumento nas correlações condicionais ao longo do período de conflito entre as duas nações.

Tais resultados convergem com os poucos estudos que já analisaram tal relação no mercado internacional de *commodities*, sendo importantes direcionadores para o entendimento da recente escalada de preços e custos agrícolas no Brasil e no mundo. Ainda que em caráter preliminar, contribui, portanto, como um estudo inédito nesta temática na literatura nacional, podendo ser aprimorado e incorporar novas variáveis para análise.

Ressalta-se, no entanto, uma limitação amostral para o período pós conflito, sendo necessário uma nova atualização das informações em um desenrolar dessa pesquisa. Tal questão é ainda mais relevante, ao se considerar os potenciais efeitos a serem sentidos nos mercados de *commodities* agrícolas em geral, após a escalada de custos de transportes e a escassez de fertilizantes, dadas as restrições comerciais à Rússia. Nesse sentido, a utilização de dados que incorporem os efeitos das safras de verão do hemisfério norte e de inverno no Brasil podem indicar novos padrões de volatilidades dos preços. Outra limitante aos resultados para os mercados no Brasil foi o fato dos preços estarem em dólares, incorporando potenciais variações cambiais decorrentes do período do conflito, sendo necessário, em uma pesquisa futura, utilizar os retornos da taxa de câmbio como variável de estimação e os preços brasileiros em reais.

Ademais, para uma agenda futura de pesquisas sugere-se que se avalie a direção da transmissão da volatilidade entre os retornos das *commodities*. Para isso, a metodologia de Diebold e Yilmaz (2012) possibilitaria encontrar as interconexões entre os mercados futuros e físico. É necessário analisar, também, o impacto do conflito nos mercados futuros agropecuários do Brasil, negociados na B3, e sua relação os mercados físicos, sobretudo para o mercado futuro de milho, que possui relevância para os produtores nacionais quando se pretendem fazer o *hedge* dos preços. Uma pesquisa que explorasse o impacto do conflito da Rússia e Ucrânia nas diferentes *commodities* globais também seria relevante, principalmente nas *commodities* que não fazem parte do portfólio de produtos dos dois países. Por fim, sugere-se um estudo aplicado aos mercados agrícolas brasileiros que englobe outras crises além do conflito da Rússia e Ucrânia. Assim seria possível identificar se os mercados possuem comportamento semelhantes nas diferentes crises globais.

Referências

- Acemoglu D., Johnson S., Robinson J. A., Thaicharoen Y. (2003). “Institutional causes, macroeconomic symptoms: volatility, crises and growth. *Journal of Monetary Economics*”. 50: 49-123.
- Adekoya, O.B., Oliyide, J. A., Yaya, O.S., Al-Faryan, M.A.S. (2022). “Does oil connect differently with prominent assets during war? Analysis of intra-day data during the Russia-Ukraine saga” *Resources Policy*. 77: 102728. doi: 10.1016/j.resourpol.2022.102728
- Akhtaruzzaman, M., Boubaker, S., Sensoy, A. (2021). “Financial contagion during COVID-19 crisis” *Finance Research Letters*. 38: 101604. doi: 10.1016/j.frl.2020.101604
- Bodie, Z., Kane, A., Marcus, A. J. (2014) *Investments*. 10th Edition. The McGraw-Hill.
- Bongou, W., Yatié, A. (2022). “The impact of the Ukraine–Russia war on world stock market returns”. *Economic Letters*. 215: 110516. doi: 10.1016/j.econlet.2022.110516
- Cabrera, B. L., Schulz, F. (2016). “Volatility linkages between energy and agricultural commodity prices”. *Energy Economics*. 54: 190-203. doi: 10.1016/j.eneco.2015.11.018
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA. Indicadores de preços físicos. Acesso em: <http://www.cepea.org.br>.
- Chicago Mercantile Exchange – CME. Agricultural Futures Prices. Acesso em: <http://cemegroup.com>.
- Comtrade. (2022). International Trade Statistics Database. Acesso em: <http://comtrade.un.org>.
- Dickey, D. A., Fuller, W. A. (1979). “Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root”. *Journal of the American Statistical Association*. 74: 427–431.
- Diebold, F.X. and Yilmaz, K. (2012), "Better to Give than to Receive: Forecast-Based Measurement of Volatility Spillovers" *International Journal of Forecasting*, 28(1): 57-66. doi: 10.1016/j.ijforecast.2011.02.006
- Elleby, C., Domínguez, I. P., Adenauer, M. (2020). “Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Global Agricultural Markets”. *Environmental and Resource Economics*. 76:1067–1079. doi: 10.1007/s10640-020-00473-6
- Engle, R.F. (2002) “Dynamic conditional correlation: a simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models”. *Journal of Business & Economic Statistics*. 20(3): 339.
- Farid, S., Naeem, M. A., Paltrinieri, A., Nepal, R. (2022). “Impact of COVID-19 on the quantile connectedness between energy, metals and agriculture commodities”. *Energy Economics*. 109: 105962. doi: 10.1016/j.eneco.2022.105962
- Frenk, D., Tuberville, W. (2011). *Commodity Index Traders and the Boom/Bust Cycle in Commodities Prices*. Better Markets, (Outubro, 2011). doi: 10.2139/ssrn.1945570
- Food and Agricultural Organization – FAO. (2022). *Impact of the Ukraine-Russia conflict on global food security and related matters under the mandate of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Council CL 169/3, FAO, (Março 2022).

- Hung, N. T. (2021). "Oil prices and agricultural commodity markets: Evidence from pre and during COVID-19 outbreak". *Resources Policy*. 73: 102236. doi: 10.1016/j.resourpol.2021.102236
- Irwin, S. H., Good, D. L. (2009). Market instability in a new era of corn, soybean and wheat prices. *Choices* 24(1), 6–11.
- Jarque, C. M.; Bera, A. K. (1980). "Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals". *Economics Letters*. 6 (3): 255–259. doi:10.1016/0165-1765(80)90024-5.
- Just, M, Echaust, K. (2022) "Dynamic spillover transmission in agricultural commodity markets: What has changed after the COVID-19 threat?". *Economics Letters*. 217: 110671. doi: 10.1016/j.econlet.2022.110671
- Kamdem, J. S., Essomba, R. B., Berinyuy, J. N. (2020). "Deep learning models for forecasting and analyzing the implications of COVID-19 spread on some commodities markets volatilities". *Chaos, Solitons and Fractals*. 140: 110215. doi: 0.1016/j.chaos.2020.110215
- Kristoufek, L., Janda, K., Zilberman, D. (2014). "Price transmission between biofuels, fuels, and food commodities". *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*. 8: 362-373. Doi: 10.1002/bbb.1464
- Ljung, G.M.; Box, G.E.P. (1978). "On a Measure of a Lack of Fit in Time Series Models". *Biometrika*. 65 (2): 297–303. doi:10.1093/biomet/65.2.297
- Melichar, M., Atems, B. (2019). "Global crude oil market shocks and global commodity prices". *OPEC Energy Rev*. 43: 92-105. doi: 10.1111/opec.12143
- Oluwasegun B. A., Johnson A. O., OlaOluwa S. Y., Mamdouh A. S. F. (2022). "Does oil connect differently with prominent assets during war? Analysis of intra-day data during the Russia-Ukraine saga". *Resources Policy*. 77: 102728. doi: 10.1016/j.resourpol.2022.102728
- Saghaian, S., Nemati, M., Walters, C., Chen, B. (2018). "Asymmetric Price Volatility Transmission between U.S. Biofuel, Corn, and Oil Markets". *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 43: 46-60.
- Said, S.; Dickey, D. (1984), Testing for unit root autoregressive-moving average models of unknown order, *Biometrika* (71), 599-608.
- Serra, T. (2011). "Volatility spillover between food and energy market: a semiparametric approach". *Energy Economics*, 33: 1155-1164. doi: 10.1016/j.eneco.2011.04.003
- Serra, T., Zilberman, D. (2013). "Biofuel-related price transmission literature: A review". *Energy Economics*. 37: 141-151. doi: 10.1016/j.eneco.2013.02.014
- Su, H., Marui, A., Kamekawa, T. (2019). "The Auditory Source Widening Effect in Binaural Synthesis with Spatial Distribution of Frequency Bands." *J. Audio Eng. Soc.* 67(9): 691-704. doi: 10.17743/jaes.2019.0020
- Trujillo-Barrera, A., Mallory, M., Garcia, P. (2012). "Volatility Spillovers in U.S. Crude Oil, Ethanol, and Corn Futures Markets". *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 37(2): 247-262. doi: 10.22004/ag.econ.134275

- Tyner, W. E. (2010). "The integration of energy and agricultural markets". *Agricultural Economics*. 41: 193-201. doi: 10.1111/j.1574-0862.2010.00500.x
- Umar, Z., Polat, O., Choi, S.Y, Teplova, T. (2022) "The impact of the Russia-Ukraine conflict on the connectedness of the financial markets". *Finance Research Letters*. 48: 102976. doi:10.1016/j.frl.2022.102976
- Vacha, L., Karrel, J., Kristoufek, L., Zilberman, D. (2013). 'Time-frequency dynamics of biofuel-fuel-food system'. *Energy Economics*. 40(1), 233-241. doi: 10.1016/j.eneco.2013.06.015
- Wang, J., Shao, W., Kim, J. (2020). "Analysis of the impact of COVID-19 on the correlations between crude oil and agricultural futures". *Chaos, Solitons and Fractals*. 136: 109896. doi: 10.1016/j.chaos.2020.10989
- Wang, Y., Bouri, E., Fareed, Z., Dai, Y. (2022). "Geopolitical risk and the systemic risk in the commodity markets under the war in Ukraine". *Finance Research Letters*. 22: 103066. doi: 10.1016/j.frl.2022.103066
- Wright, B. D. (2011). "The Economics of Grain Price Volatility." *Applied Economic Perspectives and Policy*. 33: 32–58. doi: 10.1093/aep/33.1.32
- Zhang, Z., Lohr, L., Escalante, C., Wetzstein, M. (2010). "Food versus fuel: what do prices tell us?". *Energy Policy*. 38: 445-451. doi: 10.1016/j.enpol.2009.09.034