

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA

MATHIAS SCHNEID TESSMANN

**TRANSMISSÃO DE VOLATILIDADE ENTRE COMMODITIES NO  
CURTÍSSIMO, CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO**

PELOTAS  
2018

MATHIAS SCHNEID TESSMANN

**TRANSMISSÃO DE VOLATILIDADE ENTRE COMMODITIES NO  
CURTÍSSIMO, CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO**

Dissertação submetida ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Regis Augusto Ely

PELOTAS

2018

MATHIAS SCHNEID TESSMANN

**TRANSMISSÃO DE VOLATILIDADE ENTRE COMMODITIES NO  
CURTÍSSIMO, CURTO, MÉDIO E LONGO PRAZO**

Dissertação submetida ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Regis Augusto Ely – UFPel

---

Prof. Mário Duarte Canever – UFPel

---

Prof. Gabrielito Rauter Menezes – UFPel

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço principalmente a Deus, do contrário nada seria possível, ao meu orientador Prof. Régis Augusto Ely, à minha família, namorada, ao Prof. Mário Duarte Canever, aos meus colegas e demais professores.

## RESUMO

O presente trabalho busca investigar a relação que há entre os mercados de commodities agrícolas e energéticas mensurando a conectividade existente entre os ativos componentes desses mercados através da construção de um índice de spillover. Tal índice varia de zero a cem e mede a transmissão de volatilidade entre cada par de ativos, o quanto cada um transmite e recebe em volatilidade do mercado como um todo e a conectividade total desse mercado. Após a criação do índice total de spillover, o mesmo é particionado em diferentes bandas de frequência que representam as negociações do mercado futuro no curtíssimo prazo – de um dia -, no curto prazo – de dois a quatro dias -, no médio prazo – de cinco a trinta dias -, e no longo prazo – mais de trinta dias -. Com isso é possível verificar o impacto ao longo do tempo de um choque sofrido por uma commodity nas demais. Nossos resultados são úteis para literatura econômica e financeira ao denotar a magnitude da conexão que há entre esses ativos, a gestores de investimentos ao auxiliar no gerenciamento de risco, alocação de portfólio e também aos produtores agrícolas.

**Palavras-Chave:** Transmissão de volatilidade, Commodities, Mercados Futuros.

## **ABSTRACT**

The present work seeks to investigate the relationship between agricultural and energy commodity markets by measuring the existing connectivity between the components of these markets through the construction of a spillover index. Such an index ranges from zero to one hundred and measures the transmission of volatility between each pair of assets, how much each transmits and receives in volatility of the market as a whole and the total connectivity of that market. After the creation of the total spillover index, it is partitioned into different frequency bands that represent the futures market trades in the very short term - from one day - in the short term - from two to four days - in the medium term - to five to thirty days - and in the long run - more than thirty days -. With this it is possible to verify the impact over time of a shock suffered by one commodity in the others. Our results are useful for economic and financial literature by denoting the magnitude of the connection between these assets and investment managers by assisting in risk management, portfolio allocation and also to agricultural producers.

**Key-words:** Volatility Spillovers, Commodities, Future Markets.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	9
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	16
3.1 Dados .....	16
3.2 Metodologia .....	17
<b>4 RESULTADOS</b> .....	22
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	32
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	33
<b>APÊNDICE</b> .....	36

## 1 INTRODUÇÃO

Um dos temas mais recorrentes no âmbito de finanças é a existência de ligação que pode haver entre os ativos financeiros e não financeiros negociados no mercado, no entanto, pouco se sabe de como os mercados interagem.

Verificar uma baixa correlação entre os mercados de commodities não implica necessariamente que não existam ligações dinâmicas entre ativos, quando os mercados de commodities cobram diferentes fatores de risco nos preços dos ativos, eventos extremos ainda podem desencadear efeitos de contágio em todos os mercados (Chevallier e Ielpo, 2013).

Como volatilidade se entende a dispersão dos retornos de um determinado ativo financeiro, podendo essa variação ser positiva ou negativa em relação ao valor previamente esperado. São conhecidos dois tipos diferentes de propagação de ativos cruzados, entre classes de ativos e dentro de uma classe de ativos. A volatilidade dos preços da produção agrícola é transmitida ao longo das cadeias de fornecimento de alimentos, expondo assim todos os atores da cadeia ao risco e à incerteza (Assefa et. al, 2015), o que torna importante conhecer a evolução da volatilidade dos preços para ajudar na formulação de políticas adequadas e ajudar os participantes do mercado a acomodar melhor esses fenômenos (Bourdon, 2011).

Com isso, nesse artigo procuramos identificar a relação que há entre esses mercados examinando as transferências de volatilidade entre commodities agrícolas – mais especificamente algodão, café arábica, açúcar, soja, trigo, aveia, milho e arroz – e commodities energéticas – gás natural e petróleo – a fim de auxiliar os agentes da economia, como produtores e gestores de investimentos, na melhor alocação dos seus recursos considerando as respostas dos demais ativos do mercado após ocorrer algum choque em um determinado ativo que compõe esse mercado.

A contribuição para literatura é dada pela utilização do índice Diebold e Yilmaz (2012), o qual apresenta vantagens em relação aos métodos utilizados nos trabalhos já existentes por variar de 0 a 100, possibilitando uma interpretação mais fácil, e ao dividir esse índice de spillover em curtíssimo, curto, médio e longo prazo – de um dia, de dois a quatro dias, de cinco a trinta dias e mais de trinta dias, respectivamente – através do método desenvolvido por Baruník e Krehlík (2015).

Nossos resultados expõem a dinâmica de transmissão de volatilidade que há entre cada par de ativos desse mercado, o quanto cada ativo recebe e transmite em volatilidade ao mercado como um todo e a conectividade total do mercado (grau de influência entre os ativos componentes do mesmo), que para o período de 2000 a 2017 corresponde a 25.25%. Além disso, é explicitada a diferença na suavização dos choques no mercado futuro à medida que o tempo passa e os agentes do mercado assimilam o ocorrido, com a conectividade total do mercado diminuindo de 10.48% no curto prazo para 0.78% no longo prazo, assim como as transmissões entre cada par de ativos que também vão diminuindo conforme os dias passam.

A seção 2 traz uma revisão de literatura sobre commodities, a seção 3 apresenta os dados e os detalhes dos métodos utilizados nas estimações, na seção 4 são expostos os resultados e por fim, a seção 5 conclui.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Interações entre os ativos que compõem o mercado de commodities**

A função econômica primária dos mercados de futuros é determinar os preços intertemporais ou contingentes, os quais devem melhorar as condições em que as decisões descentralizadas de produção e consumo são tomadas e garantir que o risco seja mais adequadamente levado em consideração, servindo então como uma ferramenta vital para gerenciar riscos econômicos e financeiros (Carter, 1999). Os mercados de commodities agrícolas estão inter-relacionados porque têm custos de insumos semelhantes, compartilham informações de mercado comuns, competem por recursos naturais limitados e geralmente são substitutos próximos da demanda. Os retornos de preços nos mercados dessas commodities não aparentam estar relacionados, mas são encontrados efeitos na transmissão de volatilidade, principalmente do trigo e em menor escala do milho. Como os resultados só são verificados para os retornos semanais e mensais, as interações são menos prováveis impulsionadas por movimentos especulativos e mais por fatores estruturais como preço de insumos (Gardebroek, Hernández e Robles, 2014).

A volatilidade dos preços é transmitida ao longo das cadeias de fornecimento de alimentos, expondo assim todos os atores da cadeia ao risco e à incerteza, tanto a

montante como a jusante e vice-versa e a volatilidade dos preços da produção agrícola responde à volatilidade dos preços dos alimentos. O setor agrícola também se mostra vulnerável à volatilidade dos preços proveniente do setor de varejo, embora a volatilidade dos preços no atacado também responderem às volatilidades dos preços da produção agrícola (Assefa et al., 2015). Existe um transbordamento de volatilidade dos mercados do petróleo para o milho, as flutuações de preços nos mercados de energia e commodities têm importância em todas as economias abertas, e um país pode ser afetado em relação às suas condições econômicas. A volatilidade dos preços dos mercados de commodities agrícolas e de energia pode estar diretamente relacionada à renda real, especialmente nas economias em desenvolvimento e nos países menos desenvolvidos. Há um transbordamento bidirecional entre os mercados de soja e milho, a volatilidade dos preços, tanto na soja quanto nos mercados de milho, causa a volatilidade no mercado de trigo. Há também um transbordamento de volatilidade de preços dos mercados do petróleo para o milho e existe também uma relação de causalidade bidirecional entre os mercados de milho e soja, além disso, existem impactos significativos de volatilidade de preços tanto da soja quanto dos mercados de milho para os mercados de trigo, podendo a produção de biocombustíveis ser responsável pela relação entre os mercados do petróleo e do milho. A inter-relação entre a soja e os mercados de milho também pode ser explicada pela produção de biocombustíveis (do milho como bioetanol e da soja como bio-diesel) e a volatilidade tanto na soja quanto no mercado de milho causa a volatilidade no mercado de trigo. Em suma, a volatilidade dos biocombustíveis (milho e soja) impulsiona a volatilidade do preço das matérias-primas, do trigo, por exemplo. Partindo do pressuposto de que a volatilidade dos preços do petróleo é o ponto de partida dos mecanismos de transmissão, há um vazamento do petróleo para os mercados de milho, então, a volatilidade do mercado de milho interage com o mercado de soja, o que é muito provável devido à produção relacionada de biocombustíveis e sua dinâmica de volatilidade afeta o mercado de trigo como matéria-prima (Gozgor e Memis, 2015).

Ademais, existe uma regularidade geográfica para transmissões de volatilidade, os resultados para os países africanos geralmente tendem a mostrar um menor grau de transmissão de preços em comparação com o de outros países, a transmissão parece relativamente completa nos países asiáticos, enquanto a imagem é de alguma forma mais mista na América Latina para a qual, no entanto, as informações disponíveis no

conjunto de dados são muito mais limitadas. A transmissão vertical entre o produtor, o atacado e o nível de varejo nos países aparece geralmente maior do que a transmissão das mudanças nos preços de referência mundiais. Mesmo no longo prazo, políticas intervencionistas não podem impedir que os preços domésticos sigam as tendências e os sinais dos preços mundiais, em dois extremos, pode-se supor que uma transmissão completa de choques de preços pode indicar a presença de um mercado sem atrito e que funciona bem, enquanto que no outro extremo, uma ausência total de transmissão pode tornar a própria existência de um mercado questionável (Conforti, 2004).

Em níveis mundiais e sendo analisadas as principais trocas de milho, trigo e soja entre os Estados Unidos, Europa e Ásia se verifica a alta inter-relação que há nesses mercados, existindo transmissão de volatilidade própria e cruzada entre a maior parte das bolsas. Estados Unidos (Chicago) desempenha um papel importante em termos de efeitos indiretos sobre outros mercados, principalmente milho e trigo, enquanto Japão e China representam importantes transbordamentos de volatilidade cruzada para soja (Hernández, Ibarra-Ramírez e Trupkin, 2011).

As respostas das commodities a um choque de preço do petróleo são diferentes dependendo da causa subjacente ao choque, também são diferentes em períodos pré e pós crise, sendo que se tornam mais fortes após a crise. Para as commodities agrícolas um aumento no preço do petróleo devido a um choque de demanda global positivo diminui a volatilidade do preço do milho, tem um impacto positivo e duradouro sobre a volatilidade do preço da soja, do açúcar e o café apenas antes de 2006. Quando o aumento do preço do petróleo é causado pela maior atividade econômica global ocorrem dois efeitos opostos, se os estoques agrícolas são grandes, o efeito secundário da demanda causado pelo aumento da atividade econômica conduz a uma diminuição da volatilidade dos preços das commodities agrícolas, se o nível dos estoques for baixo, a maior demanda global aumenta a volatilidade dos preços. Fora isso, outra consequência desse choque é a maior procura por biocombustíveis, ou seja, maior demanda por soja, trigo, milho e açúcar para sua produção (Ahmadi, Behmiri e Manera, 2016).

No entanto, contrariando parte da literatura, Nazlioglu, Erdem e Soytaş (2012) não encontraram transmissão de risco entre o petróleo e os mercados de commodities agrícolas – trigo, açúcar, milho e soja - no período denominado pré-crise de 2006, enquanto que no período pós-crise há transbordamento de volatilidade do mercado do petróleo para os mercados agrícolas, com exceção do açúcar.

## 2.2 A Crise dos alimentos

O significativo aumento nos preços dos alimentos em meados da década de 2000 não foi sem precedentes, no entanto, o impacto relativo da volatilidade na segurança alimentar global provavelmente foi menor no final dos anos 2000 do que na década de 1970, principalmente devido ao fenomenal crescimento da renda per capita na Ásia. As políticas macroeconômicas, as taxas de câmbio e os preços do petróleo foram os principais determinantes dos preços dos alimentos durante o período 2005-2010. O nível da volatilidade global dos preços dos alimentos ampliou-se nesse período para incluir novos vínculos entre os mercados agrícolas e energéticos e agrícolas e financeiros (Neylor e Falcon, 2010). No que diz respeito ao fato dos preços internacionais dos alimentos terem diminuído rapidamente no outono de 2008 - assim como os mercados financeiros mundiais estavam em colapso - sugere que os fatores macroeconômicos mais amplos desempenham um papel significativo na determinação dos preços dos alimentos. Pode ser que os preços internacionais dos alimentos caíram em resposta às quedas esperadas na demanda de commodities à medida que a economia global desacelerou em resposta à turbulência nos mercados financeiros e à recessão global resultante (Clapp, 2009).

É importante conhecer a evolução da volatilidade dos preços para ajudar na concepção de políticas adequadas e ajudar os participantes do mercado a acomodar melhor esses fenômenos de volatilidade. A volatilidade dos preços é uma característica fundamental dos mercados agrícolas e provavelmente uma das principais fontes de risco no comércio agrícola internacional. Não há clara tendência global crescente na volatilidade dos preços nos últimos 50 anos, exceto pelo trigo e arroz. O preço do petróleo bruto ou o preço do fertilizante estão intimamente relacionados às variações observadas nos preços das commodities agrícolas. Os coeficientes de correlação entre a variação do preço de cada insumo e o preço de cada produto agrícola sugerem que os preços estão mais altamente correlacionados no prazo de doze meses do que dentro de um curto período de tempo e aumentam durante períodos de preços mais elevados (Bourdon, 2011). Outro motivo que pode ser mais bem citado como responsável pelo aumento no preço dos alimentos é o uso crescente de energia verde ou biocombustível, pois os produtores de commodities agrícolas usam terras aráveis para cultivar commodities agrícolas para biocombustíveis ao invés da produção de alimentos, além disso, podem ser citados o clima adverso e mudanças climáticas, aumento nos preços do

petróleo bruto, mudanças na dieta na China e na Índia após uma melhoria em renda e padrões de vida e negligência da agricultura por um longo tempo, etc. O aumento dos preços do petróleo e gás afeta quase todos os setores, impactando direto nos preços dos cereais de várias maneiras - através de um aumento nos preços dos fertilizantes e produtos químicos agrícolas utilizados como insumos, através de um aumento no custo de operação da energia e maquinaria da fazenda e por um aumento nos custos de transporte, sendo que os custos de energia representaram 16 por cento do custo de produção na agricultura dos EUA (Chang e Liu, 2016).

Os preços dos alimentos são diferentes dos outros preços porque a alimentação é uma necessidade básica da vida, para famílias pobres o alimento representa muitas vezes dois terços ou mais do consumo total. Dessa forma, os altos preços dos alimentos podem aumentar a pobreza para os grupos que são consumidores de alimentos líquidos. Quando as pessoas gastam mais em alimentos elas têm menos renda para gastar em outros itens, levando a uma redução na demanda para outros produtos da economia. O forte crescimento na China, na Índia e em outros países em desenvolvimento contribuiu para o aumento dos preços de muitas commodities, e não apenas da alimentação. Isso mudou as condições econômicas globais a seu favor, já que a maioria dos países em desenvolvimento é exportador líquido de commodities, incluindo alimentos e importadores líquidos de manufaturas. Juntamente com melhores políticas econômicas domésticas e liderança, o impacto tem sido um grande aumento de renda em todo o mundo em desenvolvimento (Kharas, 2011).

### **2.3 Influências macroeconômicas e transmissões de volatilidade entre os demais mercados**

Os vínculos macroeconômicos com a agricultura são determinantes importantes dos preços agrícolas e da renda, especialmente em um ambiente de alta volatilidade do mercado de petróleo e com crises econômicas globais, pois as mudanças macroeconômicas têm efeitos reais de curto prazo e de longo prazo sobre os preços das commodities agrícolas podendo aumentar a instabilidade de preços e renda (Saghian, 2010). Nesse contexto, a volatilidade para a maioria das commodities aumenta com as mudanças positivas e negativas na inflação, no índice de produção industrial e também com o spread da taxa de juros, o efeito dos indicadores macroeconômicos geralmente não varia dentro dos grupos de commodities, com exceção dos estoques e do spread da taxa de juros (Karali e Power, 2013). A influência do índice do dólar dos EUA em

vários mercados de commodities enfraqueceu desde a crise de 2008, indicando que a taxa de câmbio do dólar norte-americano tem uma influência importante sobre a volatilidade dos preços dos mercados de commodities em um contexto de estabilidade da economia global (Ji e Fan, 2011).

Considerando a relação que há entre os determinantes macroeconômicos e o petróleo, Nazlioglu, Soytaş e Gupta (2015) argumentam que os preços do petróleo e o índice de estresse financeiro são dominados pela volatilidade de longo prazo, também ocorre um transbordamento significativo entre a energia e os mercados financeiros, tanto em termos de volatilidade como de estimativas médias, ou seja, além dos choques do petróleo e do estresse financeiro, haverá efeitos indiretos sobre a economia através dos mercados financeiros e energéticos que se afetam mutuamente após um choque.

Ratti e Vespignani (2016) afirmam que o dinheiro global, a produção industrial global e os preços globais são cointegrados, com a causalidade de Granger indo da liquidez global aos preços do petróleo e dos preços do petróleo à taxa de juros global, à produção industrial global e ao índice de preços ao consumidor global. O aperto monetário indicado pela inovação positiva nas taxas de desconto do banco central resulta em diminuições significativas e sustentadas dos preços do petróleo. Choques positivos à quantidade de moeda global, ao índice de preços ao consumidor global e à produção industrial global, levam a aumentos estatisticamente significativos e persistentes do preço global do petróleo. Uma inovação negativa no valor ponderado comercial da taxa do dólar dos EUA leva a um aumento estatisticamente significativo e persistente do preço global do petróleo em dólares dos EUA. O aumento do preço do petróleo resulta em aumentos significativos nas taxas de juros globais. Uma inovação positiva no preço do petróleo, cotado em dólares norte-americanos, leva a uma queda no valor ponderado da taxa do dólar norte-americano. A taxa de juros global fixada pelos bancos centrais em termos de política monetária demonstrou desempenhar um papel importante nas interconexões dinâmicas entre os choques mundiais dos preços do petróleo e as variáveis macroeconômicas globais.

Em relação à influência do petróleo sobre as ações nos Estados Unidos, Alsaman (2016) afirma que a incerteza no preço do petróleo não tem qualquer efeito sobre as mesmas porque é possível que a maioria das empresas dos setores consiga se proteger do risco do preço do petróleo repassando o aumento dos seus custos aos clientes. Provavelmente um aumento no preço do petróleo afete positivamente ou

negativamente o fluxo de caixa corporativo dependendo se a empresa é produtora ou consumidora de energia, assim, é possível que em alguns setores a variação no preço do petróleo seja responsável por uma pequena parcela do fluxo de caixa corporativo, de modo que não afete o preço final.

Devido à dependência serial não linear dos preços do petróleo, se constata que os profissionais do mercado, investidores e reguladores, precisam estar cientes de que o uso de modelos assumindo que os mercados de energia são mercados perfeitos se faz inconsistentes com os dados, pois tal suposição exclui toda estrutura não linear de soluções estocásticas para os modelos. Ademais, a existência dessa estrutura não linear implica na possibilidade de haver oportunidades de lucros exploráveis para especuladores que consigam modelar e utilizar tal estrutura da série temporal (Aghababa e Barnett, 2016).

Diebold e Yilmaz (2012) criaram um índice de spillover entre ativos que varia de zero a cem e mediram as transmissões de volatilidade entre diferentes mercados – ações, câmbio, títulos da dívida pública e commodities – onde essas transmissões flutuam entre dez e vinte por cento, mas havendo exceções importantes em que os transbordamentos excedem a marca de 20% em meados de 2006 e, mais importante, excedem em muito o nível de 30% durante a crise financeira global de 2007-2009. Analisando a volatilidade condicional de cada classe de ativos para outros, verificaram que eles variam muito ao longo do tempo. Em tempos estáveis, os spillovers de cada mercado estão abaixo de cinco por cento, mas em tempos voláteis, os spillovers direcionais aumentam para perto de 10%. Entre os quatro mercados, os spillovers brutos de volatilidade dos mercados de commodities para os outros são geralmente menores que os spillovers dos outros três mercados, no entanto, o padrão de variação relativo é revertido, com transbordamentos de volatilidade direcional para commodities aumentando significativamente em tempos turbulentos.

Com base no índice de Diebold e Yilmaz (2012), Barunik e Krehlik (2015) desenvolveram uma metodologia que dividi a conectividade dos mercados em bandas de frequência a fim de ser mensurada a dissipação dos choques à medida que os dias passam, especificamente, estimaram os choques de ciclos de negócios entre alguns países no tempo - se um país obteve um choque de produtividade o quanto impactou em outro país em diferentes períodos após o choque - e concluíram que a dinâmica é impulsionada principalmente por frequências de um dia a um mês, embora isso não

ocorra no período de turbulência com altos níveis de incerteza. Nesses períodos, a conectividade total aumenta, e o aumento é devido a correlações contemporâneas de curto prazo e a conexões causais de longo prazo. Os autores também fizeram essa análise para o mercado acionário e perceberam que esses mercados parecem processar informações rapidamente, e um choque em um ativo no sistema terá impacto principalmente no curto prazo.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos adotados, e também a fonte dos dados utilizados e suas principais características.

#### 3.1 Dados

Os dados utilizados são preços em dólares americanos de fechamento diário do mercado futuro com contrato contínuo de gás natural, petróleo WTI, soja, trigo, aveia, milho e arroz negociados na Chicago Mercantile Exchange, e o restante - açúcar, algodão e café arábica - na Intercontinental Exchange de Nova York. O período abrangido é de 03 de março de 2000 a 04 de maio de 2017, totalizando 4376 observações de preços para cada commodity. Utilizamos essas commodities por possuírem negociação diária no mercado futuro e demos preferência à Chicago Mercantile Exchange, por que apesar de ser verificada a alta inter-relação que há nos mercados de commodities e existir transmissão de volatilidade própria e cruzada entre a maior parte das bolsas, os Estados Unidos (Chicago) desempenha papel importante em termos de efeitos indiretos sobre os outros mercados (Hernández, Ibarra-Ramírez e Trupkin, 2011). A Tabela 1 expõe as médias, desvios padrão, mínimos e máximos dos preços de fechamento e dos retornos de cada produto.

Os preços do gás natural são expressos em dólares americanos por bilhão de metros cúbicos, do petróleo em dólares americanos por barril e das demais commodities em dólares americanos por bushel. O cálculo dos retornos foi feito pela diferença do logaritmo do preço no dia e do logaritmo do preço no dia anterior,  $\log P_t - \log P_{t-1}$ .

Tabela 1. Estatísticas descritivas das commodities analisadas

	Preços de fechamento				Retornos			
	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Natural_Gas	4.9094	2.2866	1.6390	15.3780	0.0001	0.0358	-0.3975	0.4576
Oil	62.4179	27.9188	17.4500	145.2900	0.0001	0.0249	-0.1654	0.1641
Cotton	67.1886	25.8637	28.5200	215.1500	0.0001	0.0201	-0.3297	0.1896
Coffee	123.2751	51.4787	41.5000	304.9000	0.00003	0.0215	-0.1398	0.1663
Sugar	14.0874	6.4267	4.6500	35.3100	0.0002	0.0225	-0.1921	0.2355
Soybeans	919.4263	342.4960	418	1,771	0.0002	0.0172	-0.2341	0.2032
Wheat	497.3759	188.4827	233.5000	1,280	0.0001	0.0203	-0.1081	0.1052
Oats	242.1419	90.9402	93.7500	557.7500	0.0002	0.0240	-0.2546	0.1543
Corn	376.6532	164.6276	174.7500	831.2500	0.0001	0.0185	-0.2686	0.1276
Rice	10.6133	4.1148	3.4300	24.4600	0.0001	0.0176	-0.2445	0.2808

Com a Tabela 1 vemos que a soja é a commodity com maior preço de fechamento médio e o maior desvio padrão, seguida nesses dois quesitos do trigo e do milho. A commodity que apresenta o menor preço médio e o desvio padrão é o gás natural, seguido do arroz e do açúcar. Em relação aos retornos, açúcar, soja e aveia apresentam o maior retorno médio, enquanto o café é o que possui o menor. O maior desvio padrão é o do gás natural e o menor é o da soja, o gás natural também possui o menor e o maior retorno diário no período e o café é a commodity que apresentou a menor variação entre mínimo e máximo.

No apêndice se encontram gráficos com a trajetória de preços de fechamento e frequência de retornos de cada commodity no período compreendido, as mesmas foram omitidas por economia de espaço.

### 3.2 Metodologia

#### i) Método de Diebold e Yilmaz

O método desenvolvido por Diebold e Yilmaz (2012) faz uso de uma decomposição de variância associada a vetores autorregressivos, VAR, o qual foi estimado utilizando o critério de Akaike para seleção de defasagens. Considerando uma covariância estacionária de  $n$  variáveis VAR ( $p$ ),  $x_t = \sum_{i=1}^p \phi_i x_{t-i} + \varepsilon_t$ , onde  $\varepsilon \sim (0, \Sigma)$  é um vetor de distúrbios distribuídos independentemente e identicamente. A representação de média móvel é  $x_t = \sum_{i=0}^{\infty} A_i \varepsilon_{t-i}$  onde as matrizes de coeficientes  $N \times N$   $A_i$  obedecem à recursão  $A_i = \phi_1 A_{i-1} + \phi_2 A_{i-2} + \dots + \phi_p A_{i-p}$ , com  $A_0$  sendo uma matriz de identidade  $N \times N$  e com  $A_i = 0$  para  $i < 0$ . Os coeficientes de médias móveis (ou transformações como funções de impulso resposta ou decomposição de variância)

são a chave para entender a dinâmica do sistema. As decomposições de variância permitem analisar as variações de erro de previsão de cada variável em partes que são atribuíveis aos vários choques do sistema e também permitem avaliar a fração da variância de erro  $H$  passos à frente na previsão  $x_i$  que é devido a choques para  $x_j$ ,  $\forall j \neq i$ , para cada  $i$ .

Como os VAR são geralmente correlacionados contemporaneamente, os autores contornaram esse problema explorando a estrutura VAR generalizada de Koop, Pesaran e Potter (1996) e os ordenando, pelo fato dos choques para cada variável não serem ortogonalizados, a soma das contribuições para a variância do erro de previsão (ou seja, a soma da linha dos elementos da tabela de decomposição de variância) não é necessariamente igual a um.

No parcelamento compartilhado são definidas as próprias partes da variância como as frações das variações de erro  $H$  passos à frente na previsão  $x_i$  que são devidas a choques para  $x_i$ , para  $i = 1, 2, \dots, N$ , e partes de variância cruzada, ou spillovers, como as frações das variações de erro  $H$  passos à frente na previsão  $x_i$  que são devidas a choques para  $x_j$  para  $i, j = 1, 2, \dots, N$ , tal que  $i \neq j$ .

Denotando as decomposições de variação de erro de previsão de  $H$  passos à frente por  $\theta_{ij}^g(H)$ , para  $H = 1, 2, \dots$ , temos

$$\theta_{ij}^g(H) = \frac{\sigma_{jj}^{-1} \sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma e_j)^2}{\sum_{h=0}^{H-1} (e_i' A_h \Sigma A_h' e_i)} \quad (1)$$

Onde  $\Sigma$  é a matriz de variância para o vetor de erro  $\varepsilon$ ,  $\sigma_{jj}$  é o desvio padrão do termo de erro para a equação  $j$ th, e  $e_i$  é o vetor de seleção, com um como o  $i$ -ésimo elemento e zeros de outra forma. Para usar a informação disponível na variância da matriz de decomposição no cálculo do índice de spillover, é normalizada cada entrada da matriz de decomposição de variância pela soma da linha como:

$$\vartheta_{ij}^g(H) = \frac{\theta_{ij}^g(H)}{\sum_{j=1}^N \theta_{ij}^g(H)} \quad (2)$$

Por construção,  $\sum_{j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H) = 1$  e  $\sum_{i,j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H) = N$ .

Para os spillovers totais são utilizadas as contribuições de volatilidade da decomposição da variável, podendo assim ser construído o índice de reversão da volatilidade total:

$$S^g(H) = \frac{\sum_{i,j=0}^N \vartheta_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H)} 100 = \frac{\sum_{i,j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H)}{N} 100 \quad (3)$$

O índice de spillover total mede a contribuição de spillovers de choques de volatilidade em quatro classes de ativos para a variância de erro de previsão total. O mesmo é suficiente para nos permitir compreender quanto dos choques à volatilidade se espalham através das principais classes de ativos, a abordagem VAR generalizada nos permite aprender sobre a direção dos spillovers de volatilidade em grandes classes de ativos. À medida que as respostas de impulso generalizadas e as decomposições de variância são invariantes para a ordenação de variáveis, calculam-se os spillovers direcionais usando os elementos normalizados da matriz de decomposição de variância generalizada. Medindo os spillovers de volatilidade direcional recebidos pelo mercado  $i$  de todos os outros mercados  $j$  como:

$$S_i^g(H) = \frac{\sum_{j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H)} 100 = \frac{\sum_{j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H)}{N} 100 \quad (4)$$

De forma semelhante, medindo os spillovers de volatilidade direcional transmitidos pelo mercado  $i$  para todos os outros mercados  $j$  como:

$$S_i^g(H) = \frac{\sum_{j=1}^N \vartheta_{ji}^g(H)}{\sum_{i,j=1}^N \vartheta_{ij}^g(H)} 100 = \frac{\sum_{j=1}^N \vartheta_{ji}^g(H)}{N} 100 \quad (5)$$

## ii) Refinamento de Baruník e Krehlík

Após a construção do índice de spillover de volatilidade das commodities, o mesmo é dividido em curtíssimo, curto, médio e longo prazo – de um dia, de dois a quatro dias, de cinco a trinta dias e mais de trinta dias, respectivamente – utilizando o método desenvolvido por Baruník e Krehlík (2015) que propuseram uma estrutura geral para medir a dinâmica de frequência de conectividade em variáveis econômicas baseadas na representação espectral de decomposições de variância, onde a dinâmica da frequência é

perspicaz quando se estuda a conectividade de variáveis, pois choques com respostas de frequência heterogêneas criam conexões dependentes de frequência de força diferente que permanecem ocultas quando medidas no domínio do tempo são usadas, ou seja, o principal interesse está na porção da variância do erro de previsão em uma dada frequência que é atribuída a choques em outra variável.

Essas decomposições generalizadas de variância de erro de previsão são centrais para medir a conectividade, portanto, para definir medidas dependentes de frequência, é preciso considerar sua contraparte espectral. A medida de conectividade é baseada em funções de impulso resposta, definidas no domínio do tempo. É considerada uma função de resposta de frequência  $\Psi(e^{-i\omega}) = \sum_h e^{-i\omega h} \Psi_h$  que pode ser simplesmente obtida da transformação de Fourier dos coeficientes  $\Psi$ , com  $i = \sqrt{-1}$ . Uma densidade espectral de  $x_t$  na frequência  $w$  pode então ser convenientemente definida como uma transformação de Fourier de séries filtradas MA ( $\infty$ ) como

$$S_x(w) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} E(x_t x'_{t-h}) e^{-i\omega h} = \Psi(e^{-i\omega}) \sum \Psi'(e^{+i\omega})$$

O espectro de potência  $S_x(\omega)$  descreve como a variação do  $x_t$  é distribuída pelos componentes de frequência  $\omega$ . Usando a representação espectral para covariância, ou seja,  $E(x_t x'_{t-h}) = \int_{-\pi}^{\pi} S_x(\omega) d\omega$ , introduz as contrapartes no domínio da frequência de decomposição de variância.

Definindo as decomposições generalizadas de variância de erro de escalonadas nas bandas de frequências  $d = (a, b): a, b \in (-\pi, \pi) a < b$  como

$$(\theta_{\tilde{d}})_{j,k} = (\theta_d)_{j,k} / \sum_k (\theta_{\infty})_{j,k}$$

A conexão de frequência na banda de frequência  $d$  é então definida como

$$C_d^F = 100 \left( \frac{\sum (\theta_{\tilde{d}})_{j,k}}{\sum (\theta_{\infty})_{j,k}} - \frac{Tr\{\theta_{\tilde{d}}\}}{\sum (\theta_{\infty})_{j,k}} \right)$$

A conexão interna na banda de frequência  $d$  é então definida como

$$C_d^w = 100 \left( 1 - \frac{Tr\{\theta_{\tilde{d}}\}}{\sum (\theta_{\tilde{d}})_{j,k}} \right)$$

A conexão interna denota o efeito de conexão que acontece dentro da faixa de frequência e é ponderado exclusivamente pela potência da série na banda de frequência dada. Por outro lado, a conexão de frequência decompõe a conexão original em partes distintas que, em suma, fornecem a medida de conexão original  $C_{\infty}$ .

## 4 RESULTADOS

O mercado de commodities apresenta conexões entre seus diferentes produtos, no caso das commodities agrícolas e energéticas, essas conexões podem ser devidas tanto pela utilização de um produto como insumo na produção de outro como por serem substitutos diretos de demanda e também competirem por terras aráveis para serem produzidos. Para Baruník e Krehlík (2015), a evolução dos mercados econômicos não só causou a mudança na magnitude das conexões, mas também uma mudança na estrutura dos mercados e suas conexões. Como em Conforti (2004), a transmissão alta e rápida é uma consequência direta do caráter geral desses mercados e do grau de integração e homogeneidade dos produtos.

Tal conectividade foi intensificada, e principalmente tendo aumentado a transferência de volatilidade entre commodities, após a crise de 2006 quando houve um aumento expressivo nos preços ocasionado por excesso de demanda, onde o principal motivo que pode ser apontado é a mudança na dieta asiática (Neylor e Falcon, 2010) e (Kharas, 2011), e o aumento da utilização de commodities agrícolas, mais especificamente milho e soja que competem por terras aráveis, na produção de biocombustíveis ao invés de alimentos (Chang e Liu, 2016). Esse aumento nos preços durou até meados de 2008 quando a economia mundial entrou em recessão e, devido à baixa atividade econômica, caíram os preços dessas commodities (Clapp, 2009), assim como foi diminuída a transferência de volatilidade entre elas.

A Tabela 2 demonstra o índice total de spillover compreendendo o período de 03 de março de 2000 até 04 de maio de 2017.

Tabela 2. Índice geral de spillover

	Nat._Gas	Oil	Cotton	Coffee	Sugar	Soybea.	Wheat	Oats	Corn	Rice	<b>Transmitido</b>
Nat._Gas	92.10	4,93	0.06	0.18	0.13	0.85	0.43	0.36	0.81	0.10	0.79
Oil	4.18	80.42	1.94	1.25	1.42	3.70	2.57	1.09	3.07	0.36	1.96
Cotton	0.04	2.04	85.62	1.24	0.88	3.03	2.65	1.03	2.75	0.72	1.44
Coffee	0.13	1.34	1.28	86.90	3.17	1.50	2.07	1.51	1.71	0.39	1.31
Sugar	0.14	1.52	0.92	3.27	87.24	2.07	1.84	0.60	1.90	0.49	1.28
Soybeans	0.53	2.74	2.12	0.94	1.33	58.31	8.40	6.35	16.56	2.72	4.17
Wheat	0.28	1.86	1.77	1.27	1.17	7.98	55.56	7.09	20.82	2.19	4.44
Oats	0.27	0.93	0.79	1.22	0.47	7.20	8.43	66.85	11.93	1.92	3.31
Corn	0.45	1.93	1.62	0.92	1.02	14.20	18.78	8.90	50.10	2.08	4.99
Rice	0.08	0.40	0.78	0.47	0.63	4.01	3.29	2.43	3.51	84.40	1.56
<b>Recebido</b>	0.61	1.77	1.13	1.08	1.02	4.45	4.85	2.94	6.31	1.10	25.25

*Nota: O índice geral de spillover varia de zero a cem, podendo ser interpretado como porcentagem. Nas colunas são expostos os recebimentos de volatilidade do mercado como um todo, nas linhas o quanto cada commodity transmite de volatilidade para o mercado. Na célula de encontro entre a linha Recebido e a coluna Transmitido é exposta a conectividade do mercado, assim como em cada combinação de células são apresentadas as transmissões e os recebimentos de volatilidade entre cada par de commodities.*

O índice geral de spillover varia de zero a cem e por esse motivo pode ser interpretado como percentual. Nas colunas vemos o quanto cada commodity recebe de volatilidade do mercado em geral, e considerando a primeira coluna, o gás natural recebe 0.61 do mercado. Nas linhas se verifica quanto cada commodity envia para o restante do mercado como um todo, observando a segunda linha, o petróleo transmite para o mercado 1.96 em volatilidade. Na célula de junção entre a linha Recebido e a coluna Transmitido se encontra a conectividade total do mercado que é de 25.25.

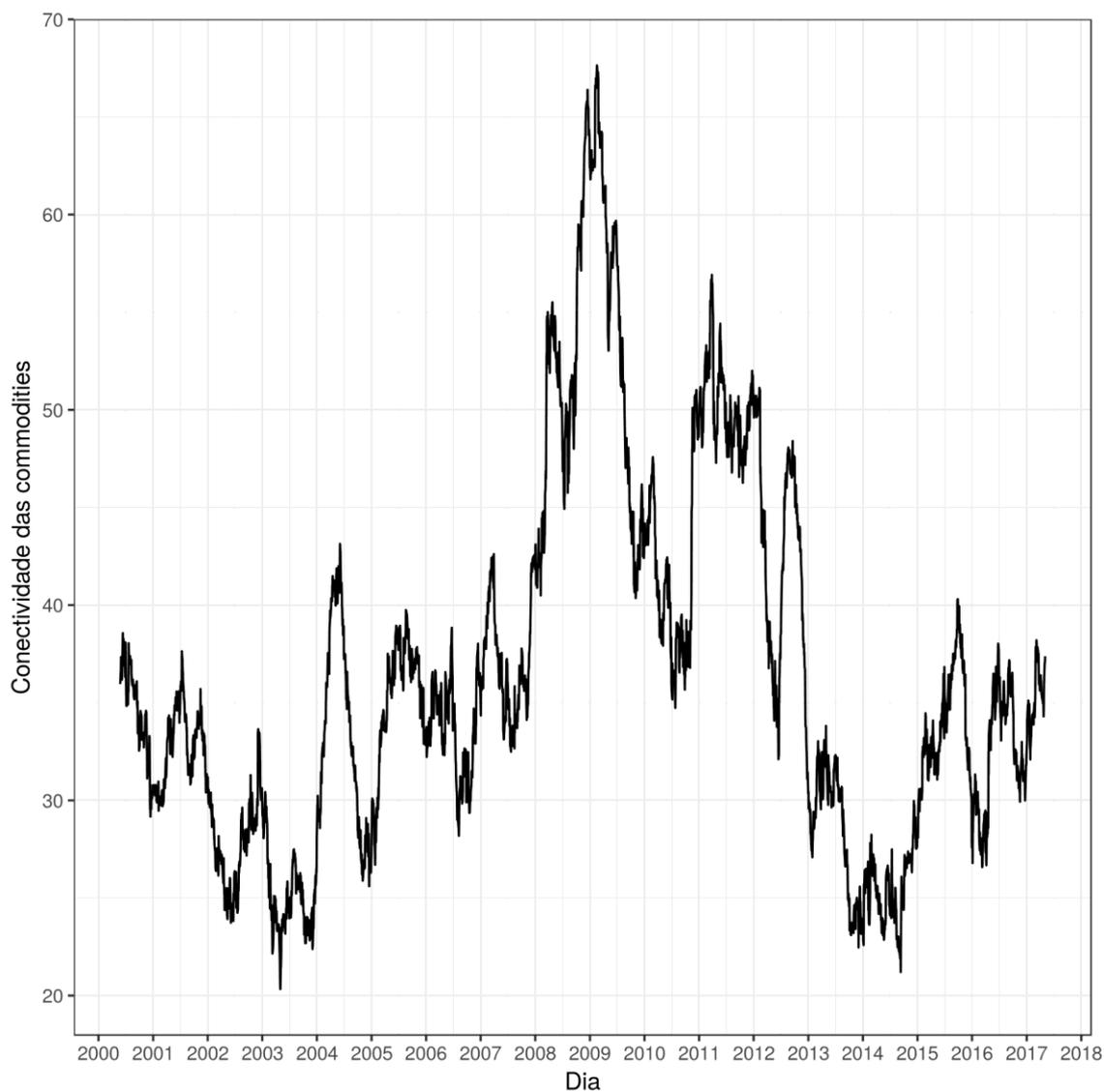
Verificando então a relação que há entre as commodities individuais, nossos resultados se encontram de acordo com a literatura, em que o ativo que mais transmite volatilidade para o mercado é o milho, seguido do trigo, da soja e da aveia, também são esses ativos os que mais recebem volatilidade do mercado. Apesar disso - como afirmado por Ji e Fan (2011) - o mercado de petróleo possui posição central entre os mercados de commodities, tendo impactos de volatilidade significativos nos mercados de commodities não energéticos, pois os insumos agrícolas – pesticidas, fertilizantes e demais produtos químicos – são produzidos à base de petróleo, então à medida que os preços do petróleo sobem os custos de produção das fazendas também sobem, como em Clapp (2011) e Chand (2008), o que é consistente com a afirmação de Chang e Liu (2016) de que nos EUA 15,7% do consumo total de energia é usado para produzir alimentos e 10% de petróleo é usado para fazer fertilizantes, entre outros produtos relacionados.

A maior interação de transmissão e recebimento de volatilidade ocorre entre o trigo e o milho, seguido da soja com o milho e da aveia com o milho. A dinâmica ocorre com o petróleo transmitindo volatilidade ao milho e a soja – tanto pelos motivos citados acima como pela concorrência entre o petróleo, o bioetanol que é produzido através do milho e o biodiesel produzido através da soja – e os mesmos impactam a volatilidade do trigo e da aveia, ambos os produtos amplamente utilizados como matérias-primas na produção de outras commodities, como em Gozgor e Memis (2015).

Observando os resultados empíricos encontrados por Diebold e Yilmaz (2012), no período de 1999 a 2010, é possível perceber que o mercado analisado que obteve a maior volatilidade é o mercado de títulos públicos dos Estados Unidos, seguido das ações do índice S&P 500, do mercado de commodities e, por fim, a taxa de câmbio dos Estados Unidos. A transmissão de volatilidade total entre as quatro classes de ativos teve seu maior pico em meados de 2009 atingindo em torno de 32% de conectividade.

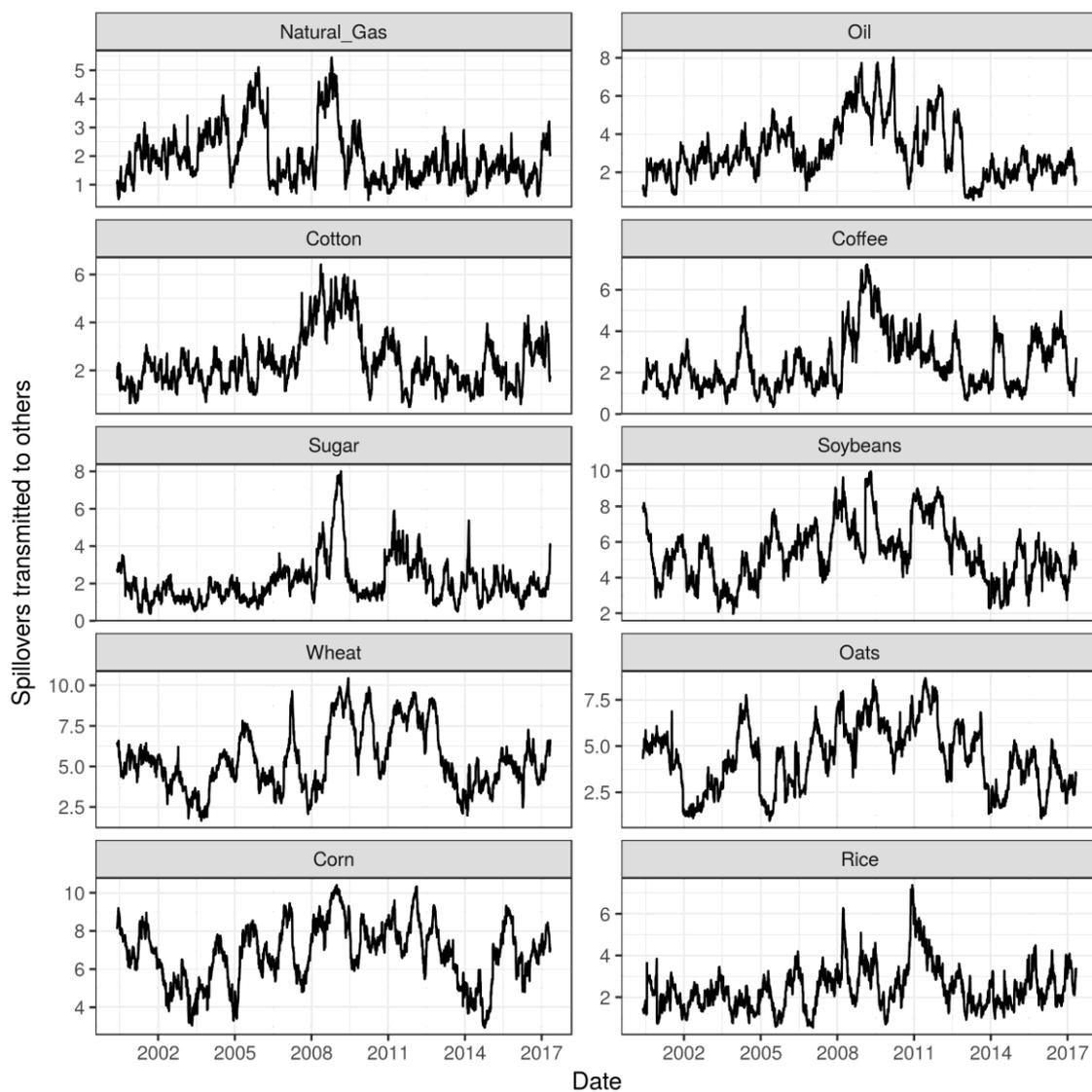
Ao calcularmos o índice de spillover total ao longo do tempo dessas commodities realizamos um Bootstrap onde estimamos a trajetória da conectividade geral do mercado no período - como implementado por Baruník e Krehlík (2015) - assim como o envio e recebimento de volatilidade de cada commodity no período analisado. Os mesmos são expostos na figuras 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura 1. Evolução da conectividade geral do mercado de commodities no período analisado



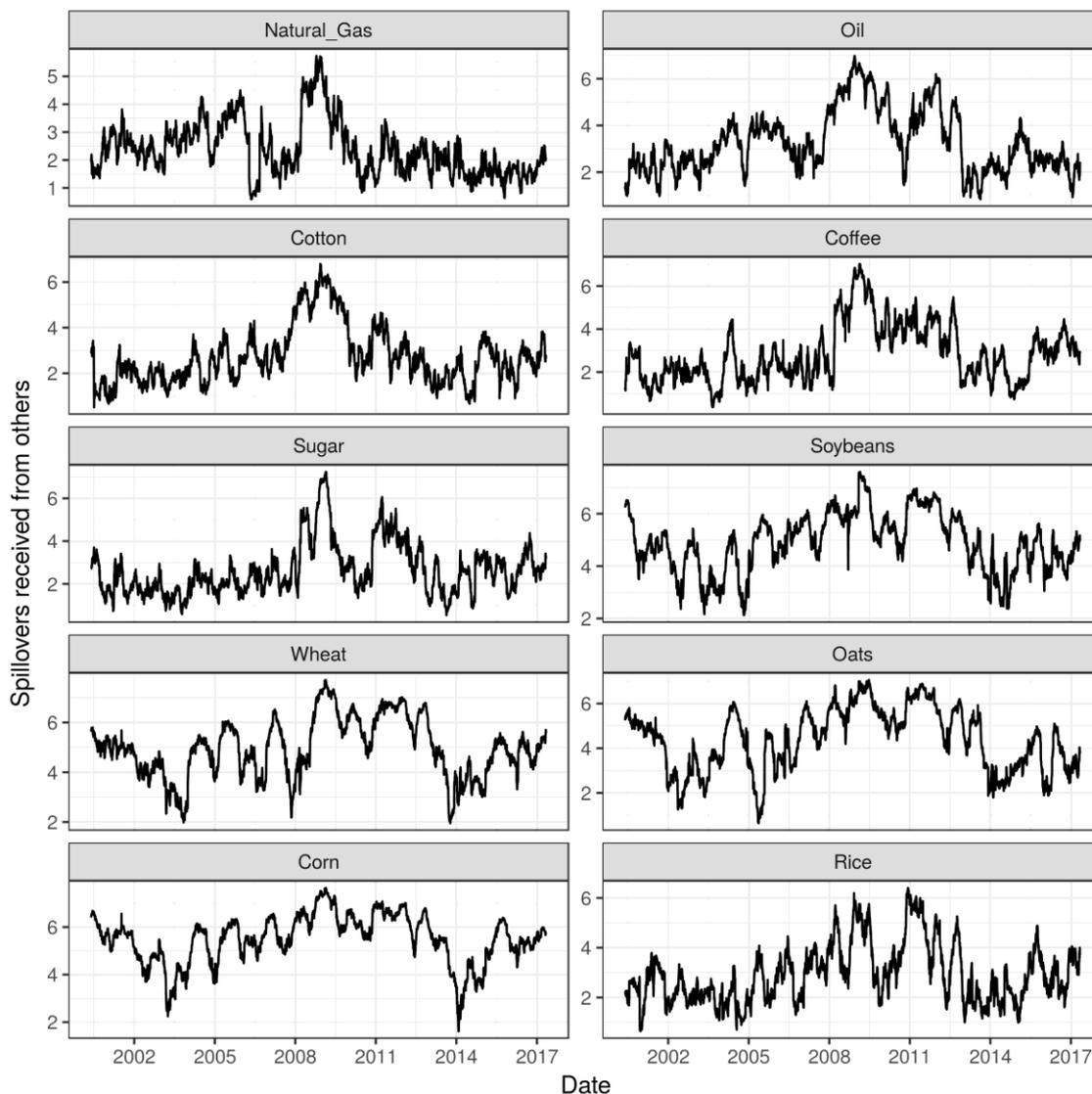
*Nota: Vemos a trajetória da conectividade total do mercado de commodities durante o período de 2000 a 2017. Nota-se que a maior conectividade, próxima de 68%, ocorreu no início de 2009.*

Figura 2. Trajetória da transmissão de volatilidade de cada commodity ao mercado



Nota: É possível verificar a trajetória de quanto cada commodity específica transmitiu ao mercado como um todo no período de 2000 a 2017. O trigo teve a maior transmissão, ultrapassando os 10%, em 2009.

Figura 3. Trajetória do recebimento de volatilidade de cada commodity do mercado



*Nota: É exposta a trajetória do recebimento de volatilidade por cada commodity, do mercado como um todo, no período de 2000 a 2017. Observa-se que cada commodity recebeu do mercado menos de 8% e todas tiveram seus picos em meados de 2009.*

Com a trajetória da conectividade total do mercado ao longo do período analisado exposta na figura 1, a trajetória de transmissão e recebimento de volatilidade de cada commodity do mercado expostas nas figuras 2 e 3, respectivamente, é possível perceber o pico significativo que houve após a crise de 2008, com a conectividade total do mercado ultrapassando os 65%, o mesmo ocorreu com as commodities analisadas individualmente, que tiveram seus picos de transmissão e recebimento de volatilidade do mercado logo após a crise de 2008.

Através do índice total de spillover contido na Tabela 2 foram decompostas as bandas de frequências – seguindo o método desenvolvido por Baruník e Krehlík (2015) – representando os spillovers no curtíssimo prazo, de um dia, contido na tabela 3.

**Tabela 3. Índice de spillover no curtíssimo prazo: um dia**

	Nat._Gas	Oil	Cotton	Coffee	Sugar	Soybeans	Wheat	Oats	Corn	Rice	<b>Transmitido</b>
Nat._Gas	35.64	2.17	0.04	0.01	0.06	0.16	0.12	0.05	0.22	0.01	0.28
Oil	1.39	29.93	0.79	0.34	0.37	1.25	0.97	0.38	1.16	0.15	0.68
Cotton	0.00	0.66	28.47	0.31	0.28	0.98	0.88	0.26	0.85	0.26	0.45
Coffee	0.01	0.47	0.28	30.28	1.11	0.29	0.46	0.40	0.32	0.14	0.35
Sugar	0.02	0.55	0.23	0.78	31.94	0.46	0.54	0.17	0.37	0.18	0.33
Soybeans	0.11	1.14	0.51	0.29	0.44	20.19	3.19	2.47	6.05	0.96	1.52
Wheat	0.10	0.86	0.43	0.41	0.36	2.93	19.26	2.74	7.12	0.89	1.58
Oats	0.04	0.39	0.22	0.24	0.11	2.28	2.70	20.00	3.45	0.67	1.01
Corn	0.11	0.77	0.46	0.24	0.30	4.59	6.54	3.04	16.19	0.69	1.67
Rice	0.02	0.20	0.14	0.06	0.06	1.05	0.96	0.72	1.06	25.65	0.43
<b>Recebido</b>	0.18	0.72	0.31	0.27	0.31	1.40	1.64	1.02	2.06	0.39	8.30

Analisando os choques no curtíssimo prazo, de um dia para o outro, nota-se que a conectividade do mercado diminuiu, passando de 25.25 para 8.30. As commodities que mais transferem volatilidade ao mercado e recebem volatilidade do mercado continuam sendo as mesmas, milho, trigo, soja e aveia.

Na Tabela 4 constam as transmissões de volatilidade e a conectividade total do mercado no curto prazo, de dois a quatro dias.

Tabela 4. Índice de spillover no curto prazo: dois a quatro dias

	Nat._Gas	Oil	Cotton	Coffee	Sugar	Soybea.	Wheat	Oats	Corn	Rice	<b>Transmitido</b>
Nat._Gas	36.99	1.91	0.02	0.09	0.05	0.39	0.21	0.17	0.35	0.05	0.32
Oil	1.75	32.74	0.77	0.54	0.63	1.53	1.04	0.45	1.24	0.14	0.81
Cotton	0.02	0.86	35.67	0.53	0.37	1.25	1.10	0.43	1.14	0.30	0.60
Coffee	0.06	0.56	0.56	35.88	1.31	0.67	0.92	0.65	0.77	0.17	0.57
Sugar	0.07	0.62	0.39	1.44	35.66	0.91	0.78	0.26	0.84	0.20	0.55
Soybeans	0.24	1.08	0.92	0.40	0.56	24.09	3.41	2.57	6.78	1.12	1.71
Wheat	0.12	0.71	0.77	0.53	0.50	3.26	22.98	2.88	8.61	0.88	1.83
Oats	0.12	0.37	0.33	0.53	0.21	2.97	3.49	28.01	4.97	0.79	1.38
Corn	0.20	0.77	0.69	0.39	0.44	5.90	7.75	3.68	20.89	0.86	2.07
Rice	0.03	0.15	0.33	0.21	0.29	1.69	1.38	1.02	1.46	35.47	0.66
<b>Recebido</b>	0.26	0.70	0.48	0.47	0.44	1.86	2.01	1.21	2.61	0.45	10.48

Para o curto prazo, período de dois a quatro dias, a conectividade do mercado aumenta em relação ao período de um dia, passando de 8.30 para 10.48, o que é compreensível porque o mercado pode levar mais de um dia para assimilar que houve um choque em algum determinado ativo. As interações com o mercado – recebimento e envio de volatilidade - aumentaram, no entanto, as mais conectadas continuam sendo as mesmas.

Na Tabela 5 são expostas as transmissões de volatilidade e conectividade total do mercado no médio prazo, compreendendo o período de cinco a trinta dias.

Tabela 5. Índice de spillover no médio prazo: cinco a trinta dias

	Nat._Gas	Oil	Cotton	Coffee	Sugar	Soybeans	Wheat	Oats	Corn	Rice	<b>Transmitido</b>
Nat._Gas	17.17	0.75	0.00	0.07	0.02	0.27	0.13	0.12	0.21	0.04	0.16
Oil	0.92	15.64	0.34	0.33	0.37	0.81	0.50	0.23	0.59	0.06	0.41
Cotton	0.02	0.46	18.90	0.35	0.20	0.70	0.59	0.29	0.66	0.15	0.34
Coffee	0.05	0.28	0.39	18.26	0.66	0.47	0.60	0.40	0.55	0.08	0.35
Sugar	0.05	0.30	0.26	0.92	17.31	0.61	0.45	0.15	0.60	0.10	0.35
Soybeans	0.15	0.46	0.60	0.22	0.29	12.35	1.59	1.16	3.28	0.57	0.83
Wheat	0.06	0.26	0.50	0.29	0.27	1.58	11.73	1.29	4.48	0.37	0.91
Oats	0.10	0.15	0.21	0.39	0.13	1.71	1.97	16.54	3.07	0.40	0.81
Corn	0.13	0.34	0.42	0.25	0.25	3.26	3.95	1.92	11.45	0.47	1.10
Rice	0.02	0.04	0.27	0.18	0.24	1.11	0.83	0.60	0.88	20.45	0.42
<b>Recebido</b>	0.15	0.30	0.30	0.30	0.24	1.05	1.06	0.62	1.43	0.22	5.68

No médio prazo, de cinco a trinta dias, a conectividade total do mercado diminuiu de 10.48 - no curto prazo - para 5.68. O mesmo se verificou com as commodities individuais que tiveram uma diminuição nas transferências e recebimentos de volatilidade do mercado assim como cada par de commodities.

Na tabela 6 estão contidas as transmissões de volatilidade e conectividade total do mercado no longo prazo, com 30 dias após o choque.

Tabela 6. Índice de spillover no longo prazo: mais de trinta dias

	Nat._Gas	Oil	Cotton	Coffee	Sugar	Soybeans	Wheat	Oats	Corn	Rice	<b>Transmitido</b>
Nat._Gas	2.31	0.10	0.00	0.01	0.00	0,04	0.02	0.02	0.03	0.01	0.02
Oil	0.13	2.11	0.05	0.05	0.05	0.11	0.07	0.03	0.08	0.01	0.06
Cotton	0.00	0.06	2.58	0.05	0.03	0.10	0.08	0.04	0.09	0.02	0.05
Coffee	0.01	0.04	0.05	2.48	0.09	0.07	0.08	0.06	0.08	0.01	0.05
Sugar	0.01	0.04	0.04	0.13	2.34	0.09	0.06	0.02	0.08	0.01	0.05
Soybeans	0.02	0.06	0.08	0.03	0.04	1.68	0.21	0.16	0.44	0.08	0.11
Wheat	0.01	0.03	0.07	0.04	0.04	0.21	1.59	0.17	0.61	0.05	0.12
Oats	0.01	0.02	0.03	0.06	0.02	0.24	0.27	2.30	0.43	0.05	0.11
Corn	0.02	0.05	0.06	0.03	0.03	0.45	0.54	0.26	1.57	0.06	0.15
Rice	0.00	0.01	0.04	0.03	0.03	0.16	0.12	0.08	0.12	2.83	0.06
<b>Recebido</b>	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.15	0.15	0.08	0.20	0.03	0.78

No longo prazo, que corresponde a mais de trinta dias, a conectividade total do mercado também diminuiu de 5.68 no médio prazo para 0.78. Ocorrendo o mesmo com as transferências e recebimentos de volatilidade de cada commodity e entre cada par de commodities.

Percebe-se que à medida que os dias passam, com exceção dos spillovers de um dia para o outro porque os choques possivelmente ainda não foram totalmente absorvidos pelo mercado, a transmissão dos efeitos de um choque sofrido por uma commodity ao restante do mercado é suavizada, e com o mercado tendo precificado esse choque, seus efeitos são diminuídos ao longo do tempo até que após trinta dias seus efeitos quase não são percebidos.

Nossos resultados para os diferentes períodos de frequência também coincidem com o que ocorre em outros mercados e os ciclos reais de negócios que Baruník e Krehlík (2015) expuseram, onde a dinâmica é impulsionada principalmente por frequências de um dia a um mês, embora isso não ocorra no período de turbulência com altos níveis de incerteza. Nesses períodos, a conectividade total aumenta, e o aumento é devido a correlações contemporâneas de curto prazo e a conexões causais de longo prazo. Para o mercado acionário, os autores também perceberam que esse mercado parece processar informações rapidamente, e um choque em um ativo no sistema terá impacto no mercado principalmente no curto prazo.

## **5 CONCLUSÃO**

Com esse trabalho buscamos estimar a transmissão de volatilidade que há entre os ativos que compõe o mercado de commodities agrícolas – algodão, café, açúcar, soja, trigo, aveia, milho e arroz – e commodities energéticas – gás natural e petróleo - através de um índice de spillover desenvolvido por Diebold e Yilmaz (2012), foram utilizados dados de preços de fechamento diários no mercado futuro da Chicago Mercantile Exchange e da International Exchange de Nova York no período de 2000 a 2017. Após a construção do índice de spillover foi utilizado o refinamento de Baruník e Krehlík (2015) para dividir o mesmo em bandas de frequência – que denotam o curtíssimo, curto, médio e longo prazo – a fim de estimar a duração do contágio que há entre as commodities após uma commodity ter sofrido algum choque.

O mercado dessas duas classes de commodities apresenta conexão de 25,25% e, apesar de ser somente o quinto ativo mais conectado, os resultados mostram a posição central que desempenha o petróleo ao interagir com o milho e a soja por ambos serem utilizados na produção de biocombustíveis e competirem no mercado de energia, acabam por afetar - como insumo nas fazendas - o trigo, a aveia e os demais ativos em

menor amplitude. Além disso, as commodities agrícolas apresentam relação por competirem por terras aráveis e/ou serem substitutos próximos de demanda. Com a divisão do índice em períodos é possível observar, assim como ocorre em outros mercados, a absorção do efeito de um choque sofrido por um ativo pelos demais ativos do mercado, onde à medida que os dias passam os efeitos do choque vão sendo suavizados.

Nossos resultados são úteis para literatura econômica e financeira ao denotar a magnitude da conexão que há entre esses ativos, além de auxiliar no gerenciamento de risco, alocação de portfólio e produção agrícola. Um tópico para pesquisa futura seria analisar a magnitude que há na transmissão de volatilidade entre commodities energéticas e metálicas.

## **REFERÊNCIAS**

- AGHABABA, R; BARNETT, WILLIAM A. “Dynamic structure of the spot price of crude oil: does time aggregation matter?” *Energy Economics*, 2016.
- AHMADI, M; BEHMIRI, N. B., MANERA; M. “How is volatility in commodity markets linked to oil price shocks?” *Energy Economics*, 2016.
- ALSALMAN; Z. “Oil price uncertainty and the U.S. stock market analysis based on a GARCH-in-mean VAR model.” *Energy Economics*, 2016.
- ASSEFA, T. T; ET AL. “Price Volatility Transmission in Food Supply Chains: A Literature Review.” *Agribusiness*, 2015.
- BARUNÍK, J; KREHLÍK, T. “Measuring the frequency dynamics of financial and macroeconomic connectedness.” *Pod Vodarenskoy Vezu 4*, 2015.
- BOURDON, H, M. “Agricultural Commodity Price Volatility: An Overview.” *OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 52, OECD Publishing, Paris*, 2011.
- CARTER, C. A. “Commodity future markets: a survey.” *The Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 1999.

CHANG, C. L; LIU, C. P. “Volatility Spillovers for Spot, Futures, and ETF Prices in Energy and Agriculture.” *Working Paper n° 1611, Universidad Complutense Madrid*, 2016.

CHEVALLIER, J; IELPO, F. “Volatility spillovers in commodity markets.” *Applied Economics Letters*, 2013.

CLAPP, J. “Food Price Volatility and Vulnerability in the Global South: considering the global economic context.” *Third World Quarterly, Vol. 30, No. 6, 2009, pp 1183–1196*, 2009.

CONFORTI, P. “Price transmission in selected agricultural markets.” *FAO commodity and trade policy research working paper No. 7*, 2004.

DIEBOLD, F. X; YILMAZ, K. “Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers.” *International Journal of Forecasting*, 2012.

DIEBOLD, F. X; YILMAZ, K. “Measuring financial asset return and volatility spillovers with application to global equity markets.” *Economic Journal*, 2009.

GARDEBROEK, C; HERNÁNDEZ, M. A.; ROBLES, M. “Market interdependence and volatility transmission among major crops.” *IFPRI Discussion Paper 01344*, 2014.

GOZGOR, G; MEMIS, C. “Price volatility spillovers among agricultural commodity and crude oil markets: Evidence from the range-based estimator.” *Agric.Econ.– Czech, 61 (5): 214–221*, 2015.

HERNÁNDEZ, M. A.; IBARRA-RAMIREZ, R.; TRUPKIN, D. R. “How far do shocks move across borders? Examining volatility transmission in major agricultural futures markets.” *Working Papers, Banco de México*, 2011.

JL, Q; FAN, Y. “How does oil price volatility affect non-energy commodity markets?” *Applied Energy*, 2011.

KARALI, B; POWER, G. J. “Short-and long-run determinants of determinants of commodity price volatility.” *Oxford University Press on behalf of the Agricultural and Applied Economics Association*, 2013.

KHARAS, H. “The Challenge of High and Rising Food Prices.” *The brown journal of world affairs*, 2011.

KOOP, G; PEZARAN, M. H; POTTER, S. M. “Impulse response analysis in non-linear multivariate models.” *Journal of Econometrics*, 1996.

NAZLIOGLU, S.; ERDEM, C.; SOYTAS, U. “Volatility spillover between oil and agricultural commodity markets.” *Energy Economic*, 2012.

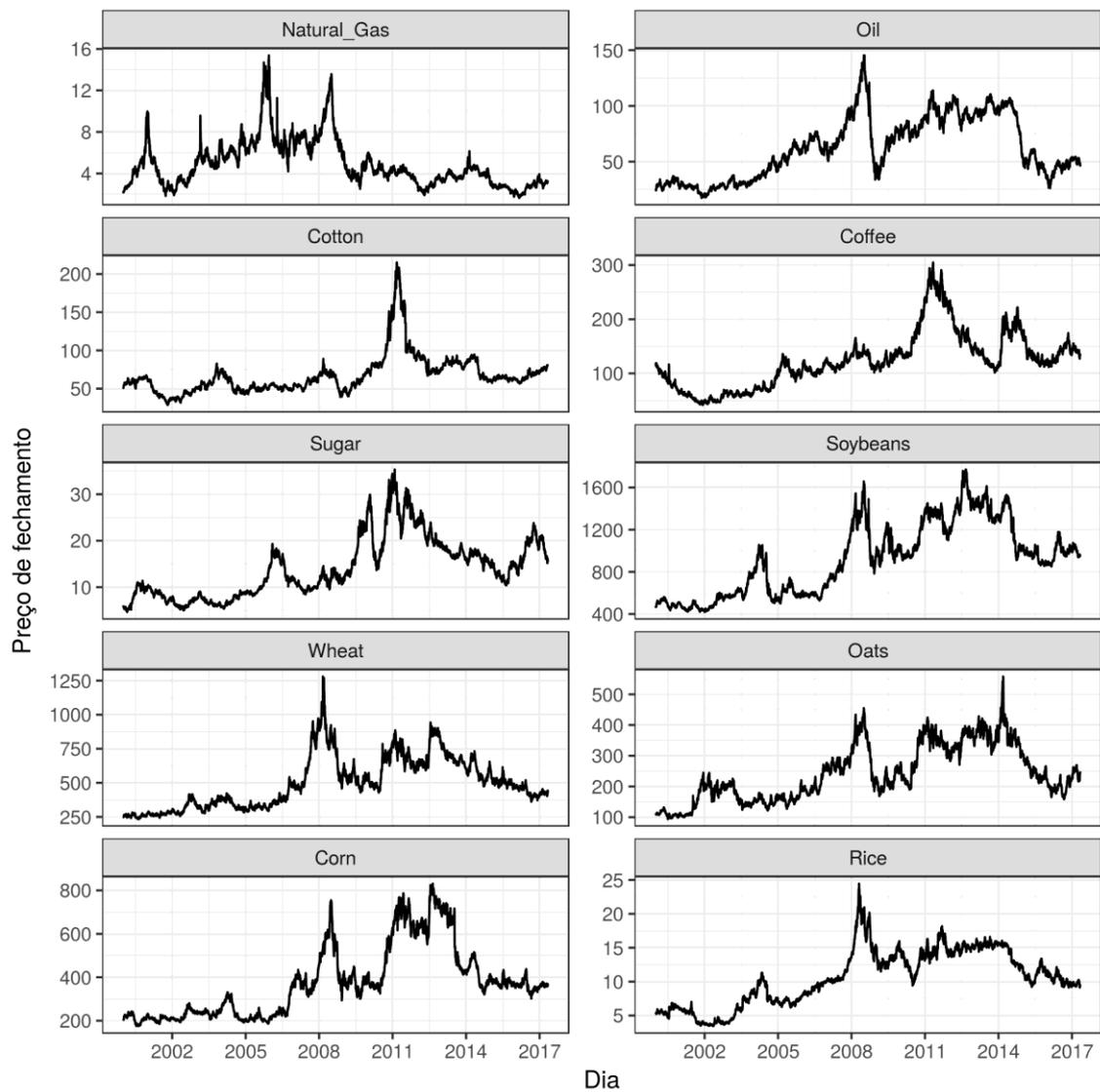
NAZLIOGLU, S.; SOYTAS, U; GUPTA, R. “Oil prices and financial stress: A volatility spillover analysis.” 2015.

NEYLOR, R. L; FALCON, W. P. “Food Security in an Era of Economic Volatility.” *Population and development Review* 36(4): 693–723, 2010.

RATTI, R. A.; VESPIGNANI, J. L. “Oil prices and global factor macroeconomic variables.” *Energy Economics*, 2016.

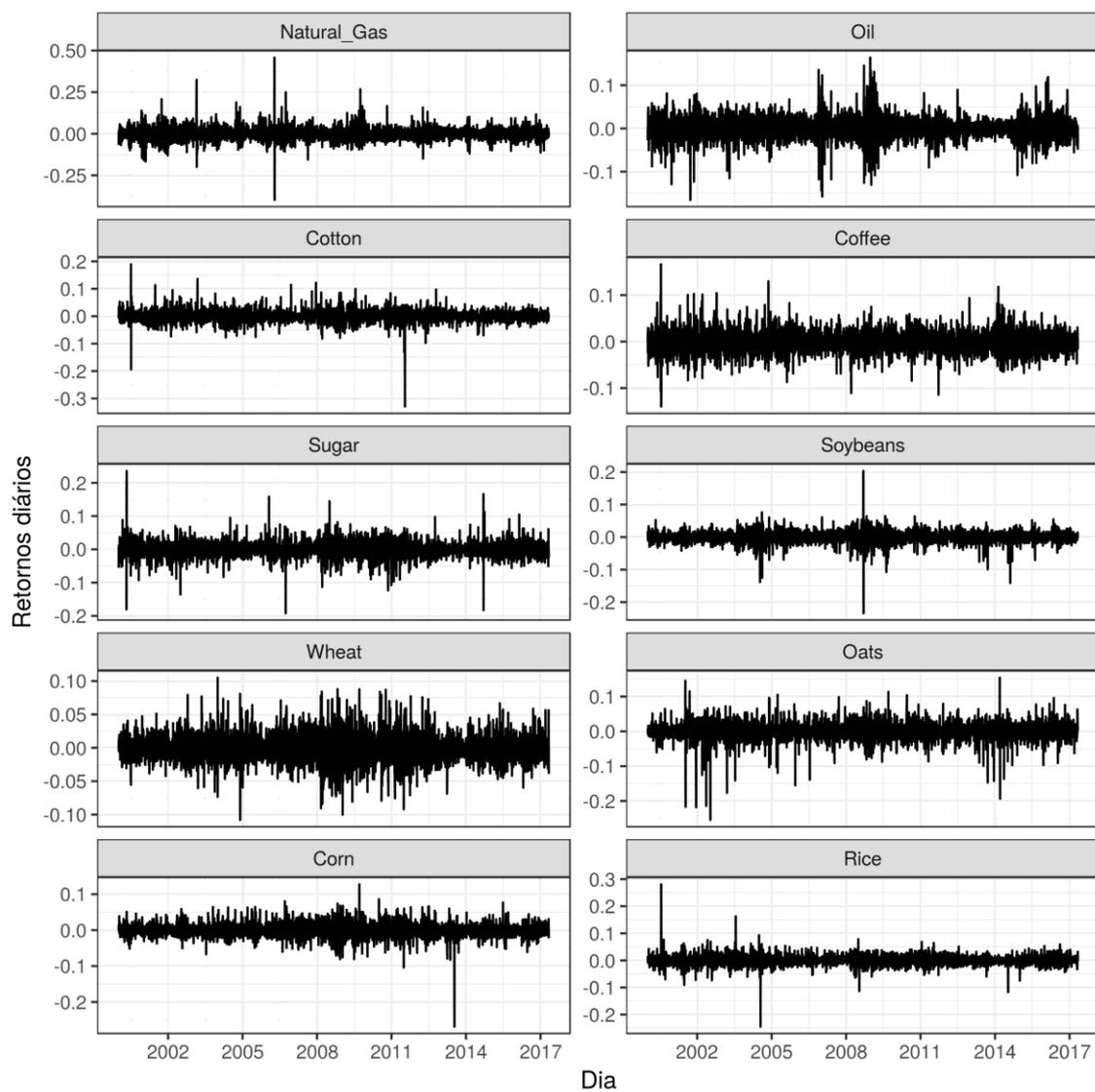
## APÊNDICE

Figura 1. Trajetória do preço de fechamento de cada commodity



Nota: A Figura 1 contém gráficos com a trajetória dos preços de fechamento diário de 2000 a 2017 de cada commodity analisada.

Figura 2. Trajetória com a frequência de cada commodity no período



*Nota: A Figura 2 contém gráficos com a frequência dos retornos de cada commodity no período de 2000 a 2017*