

“INDÍCIOS DE CONTÁGIO EM ATIVOS NORTE-AMERICANOS QUE INTEGRAM UM PORTFÓLIO DE INVESTIMENTOS”¹

“INDICATIONS OF CONTAGION IN NORTH AMERICAN ASSETS WITHIN AN INVESTMENT PORTFOLIO”

André Martins Ismail

Doutorando em Administração pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
andre.martins.ismail@gmail.com

Victor Goulart Oreiro

Mestre em Administração pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
victorg091@yahoo.com

Marcelo Cabús Klötzle

Doutorado em Economia pela Katholische Universität Eichstätt (Alemanha)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
klotzle@iag.puc-rio.br

Antônio Carlos Figueiredo Pinto

Doutor em Economia pela Fundação Getúlio Vargas (EPGE/FGV-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
figueiredo@iag.puc-rio.br

Leonardo Lima Gomes

Doutorado em Engenharia de Produção (PUC-Rio)
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)
leonardolima@iag.puc-rio.br

RESUMO

Objetivo: Analisar o contágio financeiro entre ativos de alta volatilidade junto com ativos que são considerados ativos seguros, de baixa volatilidade, sob o contexto da Covid19.

Fundamento: O estresse no mercado causado por crises financeiras tem impacto considerável em diferentes ativos financeiros. Logo, estudos relacionados a contágio buscam agregar na compreensão de quais ativos são mais propensos para ser transmissor ou receptor de contágio. Diante disso,

¹ Artigo recebido em: 02/03/2024. Revisado por pares em: 01/02/2025. Reformulado em: 13/03/2025. Recomendado para publicação: 13/05/2025 por Marco Aurélio dos Santos (Editor Adjunto). Publicado em: 01/05/2026. Organização responsável pelo periódico: UFPB

é importante analisar diferentes canais de contágio em ativos que tradicionalmente fazem parte de portfólio para diversificação, seja patrimônio próprio ou institucional.

Método: Optou-se por uma abordagem quantitativa para avaliação de contágio baseados em mudança de correlação, coassimetria, cocurtose e covolatilidade.

Resultados: O contágio nos Índices de *Treasury's* variam de acordo com sua maturidade. Para o índice de criptomoedas, apresentou uma resiliência maior para transmissão ou recepção de contágio, sugerindo uma possibilidade para utilização em carteira para efeito de *hedge*. Quanto aos modelos de identificação de contágio, os métodos denominados de dependência extrema mostraram-se mais eficazes, ao passo que o modelo de coassimetria foi o oposto para a identificação de contágio.

Contribuições: Compreender quais canais de contágios são mais propensos a contaminação. Contribuindo para o âmbito de mercado, mapeando os canais de contágios para auxiliar os gestores de portfólio em uma estrutura de *hedge* mais eficaz.

Palavra-Chave: Contágio financeiro. Correlação. Coassimetria. Cocurtose. Covolatilidade.

ABSTRACT

Objective: To analyze the financial contagion between highly volatile assets and assets considered safe, low-volatility assets, in the context of Covid-19.

Background: Market stress caused by financial crises has a considerable impact on different financial assets. Therefore, studies related to contagion seek to add to the understanding of which assets are more likely to be transmitters or receivers of contagion. Therefore, it is important to analyze different channels of contagion in assets that are traditionally part of the portfolio for diversification, whether own or institutional equity.

Method: We opted for a quantitative approach to assess contagion based on changes in correlation, co-asymmetry, cokurtosis and covolatility.

Results: Contagion in Treasury Indices varies according to their maturity. For the cryptocurrency index, it showed greater resilience to transmitting or receiving contagion, suggesting the possibility of using it in a portfolio for hedging purposes. Regarding contagion identification models, the methods called extreme dependence proved to be more effective, while the co-asymmetry model was the opposite for contagion identification.

Contributions: Understanding which contagion channels are most prone to contamination. Contributing to the market scope, mapping contagion channels to assist portfolio managers in a more effective hedging structure.

Keywords: Financial Contagion. Correlation. Coskewness. Cokurtosis. Covolatility

1. INTRODUÇÃO

Uma vez estabelecida uma crise com impacto sistêmico é importante direcionar os estudos relacionados ao contágio financeiro que pode ser determinada pela propagação de distúrbios financeiros ou econômicos gerado por estresses nos mercados. Atualmente, o contágio financeiro é acelerado devido ao rápido desenvolvimento da globalização e os seus choques são transmitidos entre diferentes mercados (Guo et al., 2021). Esse contágio acelerado oriundo da globalização já foi evidenciado por Apergis et al., (2019) que identificaram o contágio entre os títulos de CDS do setor bancário, seguros, obrigações soberanas, ações e índices de volatilidade nos mercados americanos, europeu além da interdependência de ambos os mercados na crise do *subprime*.

Onze anos após a crise imobiliária, no final do ano de 2019 ficou marcado pela crise causada pelo novo Coronavírus – Covid19, crise sanitária com origem na China que se espalhou rapidamente no primeiro trimestre do ano seguinte. Na China, epicentro da crise, o impacto causado pela

pandemia foi identificado no seu mercado como um todo, mas nos setores específicos como o setor do mercado imobiliário, sistema financeiro e seguros do país foram os mais afetados pela crise (Huang et al., 2022). Em escala global, com países de todos os continentes, o impacto no mercado de crédito foi maior em comparação ao mercado imobiliário (Zhang et al., 2023), evidenciando a força que uma crise pode impactar, seja no âmbito econômico ou financeiro.

Nos Estados Unidos o choque causado pela pandemia foi considerado o segundo maior da história americana. O índice S&P500 na janela próxima a declaração de pandemia pela OMS foi de retorno negativo de 12,77%, mas considerando a janela entre o primeiro caso de infecção nos EUA até o *lockdown* o retorno negativo acumulado foi de aproximadamente 43,94% (Ganie et al., 2022). Embora tenha estudos que relacionam o impacto do contágio a determinados setores da economia (Apergis et al., 2019; Zhang et al., 2023) ou classes de ativos específicos (Guo et al., 2021; Ahmed et al., 2023) no âmbito acadêmico ainda carece de estudos com uma abordagem que contempla ativos que são comumente utilizados para fins de diversificação. A Covid19, em particular, se destaca como a primeira crise que os ativos digitais presenciaram. O arcabouço teórico em criptoativos, em particular o Bitcoin, é robusto. Os estudos são distribuídos na perspectiva da diversificação, *hedge* e o contágio em um contexto de normalidade ou maior controle (Bouri et al., 2017; Corbet et al., 2018; Urquhart & Zhang, 2019; Shanaev et al., 2020) uma vez que a Covid19 foi a primeira grande crise em escala global desde o início das criptomoedas (Guo et al., 2021).

Na teoria de finanças, importantes modelos estatísticos foram desenvolvidos para explorar canais de contágio que incluem dependência linear (Forbes & Rigobon, 2002), dependência assimétrica (Fry et al., 2010) e dependência extrema (Fry-McKibbin & Hsiao, 2018). Isso contribuiu para um entendimento mais completo no estudo aprofundado de evento de estresse no mercado financeiro. Diante disso, com o intuito de analisar diferentes canais de contágio em ativos que tradicionalmente fazem parte de portfólio para diversificação, seja patrimônio próprio ou institucional, o objetivo do estudo é analisar o contágio financeiro entre ativos de alta volatilidade junto com ativos que são considerados ativos seguros, de baixa volatilidade, sob o contexto da Covid19.

Os resultados mostraram que os métodos denominados de dependência extrema são mais eficazes para a identificação de contágio, enquanto o método de coassimetria demonstrou ser menos eficiente. Quanto aos índices de *Treasury's*, o contágio varia de acordo com sua maturidade. Em última análise, o índice de criptomoedas apresentou uma resiliência maior para transmissão ou recepção de contágio, sugerindo uma possibilidade para utilização em carteira para efeito de *hedge*.

A contribuição do estudo está relacionada em compreender quais canais de contágios são mais propensos a contaminação. No âmbito de mercado, o mapeamento dos canais de contágios por gestores de portfólio podem auxiliá-los em uma estrutura de *hedge* mais eficaz. Uma segunda contribuição, no meio acadêmico, está na análise em dois ativos específicos: o comportamento sob efeito de estresse em criptoativos, uma vez que a Covid19 foi a primeira crise desse novo ativo digital; e títulos públicos soberanos, para os quais há pouca literatura específica em relação ao contágio financeiro.

Justifica-se que o estudo se apoia em métricas já consolidadas na literatura, como correlação ajustada, coassimetria, cocurtose e covolatilidade. No entanto, destaca-se que a ideia original da pesquisa reside na aplicação conjunta dessas métricas ao contexto específico da crise do covid19.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A globalização e o desenvolvimento da tecnologia da informação estão entre as principais razões para a interconexão dos mercados financeiros globais. Em outras palavras, flutuações ou choques nos mercados financeiros não se limitam a regiões ou ativos específicos (Choi, 2022). Essa tendência é particularmente pronunciada em tempos de crise (Dias et al., 2019; Guo et al., 2021; Huang et al., 2022; Ganie et al., 2022). A interdependência do mercado financeiro afeta a alocação de ativos

e a gestão de riscos. Portanto, os participantes do mercado há muito tempo prestam atenção a essa relação. Conseqüentemente, a pesquisa sobre a interdependência do mercado financeiro global é de grande interesse para profissionais e acadêmicos (Choi, 2022).

Diante dessas interdependências, identifica-se algumas dinâmicas do contágio financeiro, demonstrando que pode ocorrer de diferentes maneiras. Uma delas é o efeito de canal bancário, onde bancos globais expostos aos riscos em determinado país transmitem instabilidade para outras economias.

Uma forma de medir esse canal de efeito bancário é através risco de crédito, como o CDS. Esse derivativo financeiro fornece um mecanismo de precificação eficiente baseado no mercado para avaliar o risco de crédito, tornando-o uma medida mais precisa e eficiente (Lim & Choi, 2024). Ainda segundo os autores Lim & Choi (Lim & Choi, 2024) os CDS podem servir como um sistema de alerta precoce para eventos de crédito, pois o preço do CDS pode sinalizar mudanças na capacidade de crédito de um emissor.

Na academia, a relação entre estudos de contágio e CDS se divide em duas. A primeira está relacionada aos CDS soberanos, que é uma categoria de derivativos específicos para títulos públicos soberanos, também conhecida como SCDS. Essas aplicações são vistas no estudo de Yang et al., (2018) que investiga a relação de contágio dos SCDS e outros ativos financeiros dos países do G7 e BRICS, os achados apontam que o ouro atua como um ativo de refúgio, em contrapartida os títulos de renda fixa são afetados pelo ambiente macroeconômico sugerindo a percepção de interdependência. Quanto ao estudo proposto por Sabkha et al., (2019) evidenciaram a relação de contágio, mas enfatiza que cada país possui um nível de sensibilidade diferente., e por fim os autores Bostanci & Yilmaz (2020) sugerem que o risco de contágio dos SDCS são comparáveis à interconectividade entre mercados de ações e mercados de câmbio.

Quanto a segunda vertente, os derivativos de risco de crédito de setores individuais, os estudos utilizaram os CDS de instituições financeiras, como bancos, seguros de vida e outros setores financeiros (Tamakoshi & Hamori, 2016; Apergis et al., 2019) e em ambos estudos identificaram contágio entre os derivativos do país e a interdependência entre países. Ainda segundo o estudo de Apergis et al., (2019) os autores aplicaram diferentes testes de contágio apontando que os testes de dependência extrema são melhores que os testes de assimetria que por sua vez melhor que os testes de correlação.

Uma segunda fonte relacionada as dinâmicas do contágio financeiro estão relacionadas a venda forçada de ativos. De fato, investidores, buscando liquidez em momentos crise, retiram capitais de diferentes mercados, ampliando a instabilidade. Essa instabilidade, pode ser classificada como contágio direto ou indireto.

O contágio direto ocorre quando há uma ligação explícita entre mercados ou instituições financeiras. Isso acontece principalmente por meio de exposição financeira direta, como empréstimos, investimentos ou interdependência bancária (Battiston et al., 2012). O estudo de Battiston et al., (2012) analisaram a propagação do risco sistêmico dentro da rede financeira nos Estados Unidos. A pesquisa mostra que o risco de contágio não se propaga apenas sobre instituições denominadas “grandes demais para falir”, mas também sobre aquelas que são “médias ou centrais demais para falir” devido à sua interconectividade.

O contágio indireto surge de participações em ativos comuns, que são um produto natural da diversificação (Cont & Schaanning, 2019). O contágio indireto pode se materializar, por exemplo, durante liquidações, quando as instituições financeiras têm que liquidar seus ativos a preços fortemente descontados (Caccioli et al., 2024a). Por exemplo, os bancos podem ser forçados a desalavancar (Khandani & Lo, 2011) em resposta a perdas, enquanto os fundos podem ser obrigados a liquidar alguns ativos durante períodos de dificuldades para atender aos resgates dos investidores (Coval & Stafford, 2007).

Uma terceira dinâmica do contágio financeiro pode ser observada pelo seu efeito comportamental. O medo e a incerteza levam investidores a reagirem de forma exacerbada, causando quedas generalizadas nos mercados.

No final do ano de 2019 um novo Coronavírus descoberto na China foi o responsável por uma crise sanitária em âmbito mundial que impactou o mercado financeiro no ano seguinte. Diferente da crise do *subprime*, que gerou mudança estrutural na economia global, o Covid19 teve o seu impacto generalizado, seguido de muita incerteza e, com alguns meses, houve uma recuperação próxima ao nível anterior da pandemia (Grillini et al., 2022).

Eventos como a Covid19 são passíveis de contágio, assim como a crise mexicana de 1994, asiática de 1997, russa de 1998 e a *subprime* de 2008 (Abduraimova, 2022). No entanto, a certeza do contágio é testada através de metodologias que sejam capazes de identificá-las em diferentes momentos estatísticos. É importante evidenciar que a metodologia relacionada ao contágio é relativamente nova e, ainda assim, métodos mais robustos continuam sendo desenvolvidos com o objetivo de aprimorar os modelos já existentes.

Essa nova abordagem foi identificada por Yuan et al., (2022) por meio da construção de medições de comportamento direto do investidor, incluindo atenção, sentimento e medo do investidor, evidenciando que o comportamento do investidor desempenha um papel importante na explicação do contágio financeiro impulsionado pela pandemia.

Estudos similares, mensurando o efeito comportamental em contágio financeiro, foram realizados em criptomoedas. Esses ativos passaram pela sua primeira grande crise sistêmica, Covid19, visto que a sua criação foi a partir da crise *subprime*. Estudos empíricos sugerem que criptoativos também são novos canais de contágio (da Gama Silva et al., 2019; Wang et al., 2022; Meyer et al., 2023; Ahmed et al., 2023;).

Embora haja muitas pesquisas direcionadas ao tema considerando as criptomoedas, cabe salientar que o assunto ainda não está consolidado, visto que há uma corrente de pesquisas que sugere que as criptomoedas podem ser uma alternativa de ativo seguro, como o estudo de Corbet et al., (2018) sugerindo que as criptomoedas podem ser ativos diversificadores quando se trata de ativos tradicionais como ouro, mercado de capitais (S&P500), câmbio e commodities (GSCI). No entanto, Guo et al., (2021) pondera que os ativos digitais são diversificadores, mas os ativos tradicionais como ouro, dólar e o mercado de títulos atuaram como receptores de contágio das criptomoedas

Diante do exposto, espera-se a continuidade do estudo de contágio, abordando diferentes métodos assim como diferentes ativos como forma de melhor entendimento de contágio em diferentes cenários, seja em crise sistêmica como Covid19, ou choques de mercados específicos.

3. METODOLOGIA

O objetivo do estudo foi analisar o contágio financeiro entre ativos de alta volatilidade juntamente com ativos que são considerados ativos seguros, de baixa volatilidade, sob o contexto da Covid19. Para atingir tal objetivo, foram utilizadas diferentes abordagens estatísticas como forma de mapear diferentes canais de contágio, seja pelo método linear, através da mudança de correlação proposto por Forbes e Rigobon (2002), e métodos mais robustos como mudança na coassimetria Fry et al. (2010), e métodos de dependência extrema como cocurtose (Fry-McKibbin & Hsiao, 2018).

A amostra foi composta por oito índices que podem ser representados em diferentes portfólios de investimentos para diversificação e com características distintas quanto a sua volatilidade. A escolha dos índices busca refletir a representação geral de ativos em um mercado específico, sendo eles:

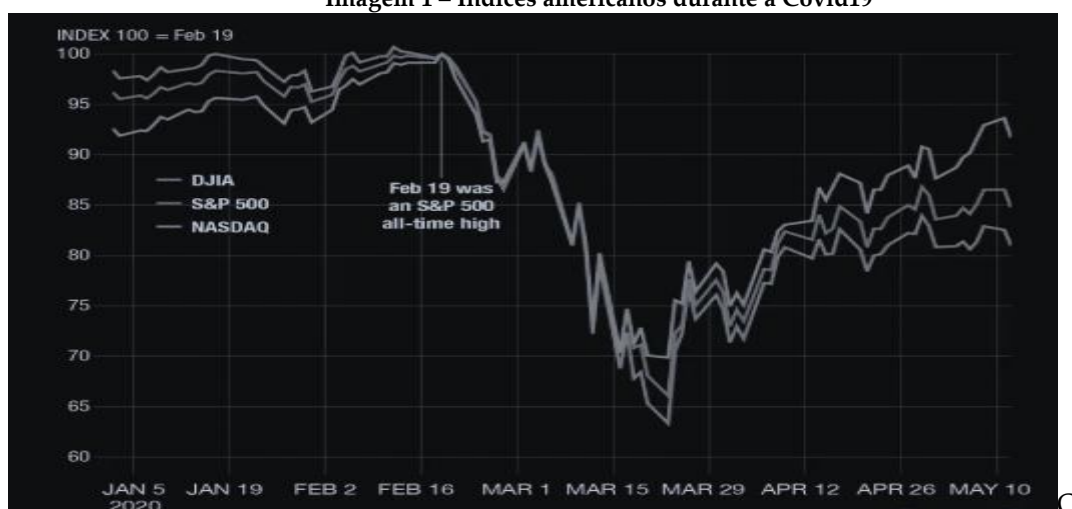
Tabela 1: Ativos que compõem o estudo

S&P 500	Representa as 500 maiores empresas do mercado americano.
S&P Cryptocurrency Broad Digital Market (BDM)	Representa diferentes ativos digitais que atendam a critérios mínimos de liquidez e capitalização.
S&P US Dollar Futures	Representa uma carteira hipotética de contratos futuros de dólar americano.
S&P 500 Investment Grade Corporate Bond	Representa os títulos corporativos (debêntures) das 500 maiores empresas americanas.
S&P GSCI Precious Metals	Representa o desempenho no mercado de metais preciosos.
S&P US Treasury Bond 1-5 Year	Representa o desempenho da dívida pública de curto prazo que compreende títulos de 1 até 5 anos.
S&P US Treasury Bond 5-7 Year	Representa o desempenho da dívida pública de médio prazo que compreende títulos de 5 até 7 anos.
S&P US Treasury Bond 10+ Year	Representa o desempenho da dívida pública de longo prazo que compreende títulos de no mínimo 10 anos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dados para o estudo foram extraídos do site spglobal.com. o site pertence à companhia Standard & Poor's Financial Services LLC, uma das três maiores empresas de classificação de risco dos Estados Unidos, que também fornece dados para análises e índices financeiros amplamente adotados por empresas ao redor do mundo.

Para a análise do contágio no período da Covid19, foi estabelecido a data 31/12/2019 como evento que determina o período da crise. Há pesquisas que já utilizaram essa data para determinar o período pré e pós covid (Akhtaruzzaman et al., 2021; Corbet et al., 2020; Lai & Hu, 2021). A justificativa da data está relacionada ao primeiro alerta recebido pela Organização Mundial de Saúde – OMS que vários casos de pneumonia foram identificados na cidade de Wuhan, província de Hubei – China, que tratava de um novo tipo de Coronavírus nunca antes identificado em humanos (Akhtaruzzaman et al., 2021). O objetivo do artigo é mapear o contágio da crise por completo e, se considerasse a data de 11 de março de 2020 que foi a data oficial da declaração da pandemia, boa parte desse efeito não seria mapeado e logo em seguida o mercado iniciou o seu processo de recuperação.

Imagem 1 – Índices americanos durante a Covid19

Fonte: Yahoo Finance

O tamanho da amostra abrange o período de 02/07/2019 até 30/06/2020, com um total de 250 observações diárias igualmente distribuídas em 125 observações para os períodos pré- crise e crise, respectivamente. O período fim da amostra converge com o final da primeira onda referente ao número de morte nos EUA divulgado pela agência Reuters de notícias.

Para o efeito de cálculo da modelagem estatística, todos os retornos observados na amostra são representados pelo logaritmo natural do dia “D” em comparação com o dia anterior “D-1”.

Cada amostra foi dividida em dois conjuntos representadas por “x” como período antes da crise e “y” período de crise. O tamanho total da amostra foi representada por “T” sendo “T_x” o tamanho da amostra pré-crise e “T_y” o tamanho da amostra da crise. A correlação entre os retornos dos mercados é denominada por “P” sendo “P_x” a correlação do período pré-crise e “P_y” a correlação do período de crise.

Na análise do contágio se faz necessário identificar o ativo de origem assim como o ativo receptor desse contágio. Logo, o ativo de origem é denominado “i” e o ativo receptor como “j”. quanto aos seus respectivos retornos diários, o retorno do ativo de origem é denominado por “r_i” e o retorno do ativo receptor como “r_j”.

Quanto a média da amostra, é calculado a média dos retornos antes da crise dos ativos de origem denominado “μ_{x,i}”, a média dos retornos no período de crise dos ativos de origem “μ_{y,i}”, a média dos retornos antes da crise dos ativos receptores “μ_{x,j}”, e a média dos retornos do período de crise dos ativos receptores “μ_{y,j}”.

Por fim, é calculado o desvio padrão dos retornos antes da crise dos ativos de origem denominado “σ_{x,i}”, o desvio padrão dos retornos do período de crise dos ativos de origem “σ_{y,i}”, o desvio padrão dos retornos antes da crise dos ativos receptores “σ_{x,j}”, e o desvio padrão dos retornos do período de crise dos ativos receptores “σ_{y,j}”.

Para todos os testes de contágio foram consideradas ao nível de significância de 5%. E para os testes de contágio de coassimetria, cocurtose e covolatilidade são distribuídos assintoticamente como $CS_{12}, CS_{21}, CK_{13}, CK_{33}, CV_{22}, (i \rightarrow j) \xrightarrow{d} X_1^2$.

3.1 Teste Baseado Na Mudança De Correlação

O primeiro estudo relacionado a contágio foi desenvolvido por King e Wadhvani (1990), e a correlação era o principal fator de detecção de contágio no seu modelo estatístico. Nessa primeira abordagem, a utilização desse método é a mais intuitiva, mas a sua relação com o contágio não pode ser interpretada apenas por esse conceito.

Para Forbes e Rigobon (2002), trocas abruptas entre a correlação dos ativos ou mercados após o evento de choque é previsível. Sendo assim, é necessário fazer ajuste em que os autores denominaram heterocedasticidade dos retornos. Essa heterocedasticidade está relacionada à sua não constância do retorno do ativo ao longo do tempo. Isso quer dizer que a volatilidade pode ser mais baixa ou mais alta ao longo do tempo, gerando um viés no modelo.

Ainda segundo os autores, esse viés tem impacto direto na correlação tanto incondicional como condicional. A primeira está relacionada à correlação entre os ativos ao longo do tempo sem considerar um evento que cause algum estresse de mercado. Quanto a última, representa o relacionamento dos ativos considerando um choque significativo no tempo. Logo, o contágio financeiro é definido através da correlação baseada apenas na correlação incondicional.

Forbes e Rigobon (2002) justificam que, devido à interdependência entre os mercados, uma alteração na correlação relacionada a um choque de mercado não necessariamente está ligada ao contágio financeiro. De fato, a análise do coeficiente de correlação é uma abordagem segura, mas não pode ser mensurada de forma simples devido à heterocedasticidade dos retornos.

Para isso, define-se o modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade da seguinte forma:

$$v_y = \frac{P_y}{\sqrt{1 + \delta (1 - P_y^2)}}, \text{ onde } \delta = \frac{\sigma_{y,i}^2 + \sigma_{x,i}^2}{\sigma_{x,i}^2} \quad (1)$$

No entanto, Forbes e Rigobon (2002) destacam uma limitação no ajuste de heterocedasticidade, assumindo a inexistência de variáveis omitidas ou endogeneidade entre os ativos. Após corrigir o viés da heterocedasticidade, utiliza-se o modelo vetorial autorregressivo – VAR, com a variância-covariância estimada do modelo para calcular o coeficiente de correlação incondicional do ativo de origem para o ativo receptor. O modelo estimado é o seguinte:

$$FR (i \rightarrow j) = \frac{\frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+\hat{v}_y}{1-\hat{v}_y}\right) - \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+\hat{p}_y}{1-\hat{p}_y}\right)}{\sqrt{\frac{1}{T_y-3} + \frac{1}{T_x-3}}} \quad (2)$$

Por fim, para a identificação do contágio financeiro baseado em correlação proposto pelos autores, é utilizado o teste t de *student*. As hipóteses do teste são definidas como:

$$H_0: v_Y = \rho_X \quad (3)$$

$$H_1: v_Y \neq \rho_X$$

Onde, a hipótese nula determina que o coeficiente de correlação incondicional do período de crise não é diferente da correlação do período pré-crise. Para a hipótese alternativa, há diferença significativa entre o coeficiente de correlação incondicional e a correlação do período pré-crise.

3.2 Teste De Contágio Baseado Na Troca De Coassimetria

Fry et al. (2010) afirmaram que embora os modelos de contágio baseados em correlação sejam um ponto de partida, esses modelos não podem ser considerados completos, de modo que outros métodos estatísticos de ordem superior sejam capazes de identificar diferentes canais de contágio.

Como já foi observado, em períodos de normalidade, é comum que os ativos financeiros tenham retornos positivos, volatilidade baixa e assimetria negativa, ou seja, estatisticamente há uma probabilidade menor de acontecer eventos com retornos extremamente negativos. Mas em período de crise, a situação se transforma, apresentando retornos negativos, alta volatilidade e assimetria positiva. Enquanto os dois primeiros elementos são de interpretação relativamente simples, a assimetria assume uma característica especial sob a perspectiva das finanças comportamentais. Nesse contexto, agentes que são avessos ao risco tendem a evitar perdas significativas, mesmo que isso signifique abdicar de ganhos potencialmente menores, como discutido por Kahneman e Tversky (1979).

O conceito mencionado também se aplica quando se trata do relacionamento entre dois ativos. Nesse contexto, Fry et al., (2010) exploraram a ideia de contágio por meio da interação entre esses ativos, com base na relação entre retorno esperado e a volatilidade. Os autores abordam duas análises da coassimetria. Primeiro, verifica-se a coassimetria entre os ativos nos períodos pré-crise e de crise do retorno esperado no ativo de origem em relação à volatilidade do ativo receptor da seguinte forma:

$$CS_{1,2} (i \rightarrow j; r_i^1, r_j^2) = \left(\frac{\hat{\psi}_y (r_i^1, r_j^2) - \hat{\psi}_x (r_i^1, r_j^2)}{\sqrt{\frac{4\hat{v}_y+2}{T_y} + \frac{4\hat{p}_x+2}{T_x}}} \right)^2 \quad (4)$$

Onde,

$$\hat{\psi}_x(r_i^1, r_j^2) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{r_{i,t} - \hat{\mu}_{x,i}}{\hat{\sigma}_{x,i}} \right) \left(\frac{r_{j,t} - \hat{\mu}_{x,j}}{\hat{\sigma}_{x,j}} \right)^2 \quad (5)$$

$$\hat{\psi}_y(r_i^1, r_j^2) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{r_{i,t} - \hat{\mu}_{y,i}}{\hat{\sigma}_{y,i}} \right) \left(\frac{r_{j,t} - \hat{\mu}_{y,j}}{\hat{\sigma}_{y,j}} \right)^2$$

e $\hat{\nu}$ refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na coassimetria (CS1,2) é determinada da seguinte forma:

$$H_0: \psi_y(r_i^1, r_j^2) = \psi_x(r_i^1, r_j^2) \quad (6)$$

$$H_1: \psi_y(r_i^1, r_j^2) \neq \psi_x(r_i^1, r_j^2)$$

Onde, a hipótese nula determina que o retorno esperado no ativo de origem em relação a volatilidade do ativo receptor no período de crise é igual ao retorno esperado no ativo de origem em relação a volatilidade do ativo receptor no período pré-crise.

Para a segunda análise, a coassimetria, entre os ativos nos períodos pré-crise e crise, da volatilidade no ativo de origem em relação ao retorno esperado do ativo receptor representa-se como:

$$CS_{2,1}(i \rightarrow j; r_i^2, r_j^1) = \left(\frac{\hat{\psi}_y(r_i^2, r_j^1) - \hat{\psi}_x(r_i^2, r_j^1)}{\sqrt{\frac{4\hat{\nu}_y + 2}{T_y} + \frac{4\hat{\nu}_x + 2}{T_x}}} \right)^2 \quad (7)$$

$$\hat{\psi}_x(r_i^2, r_j^1) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{r_{i,t} - \hat{\mu}_{x,i}}{\hat{\sigma}_{x,i}} \right)^2 \left(\frac{r_{j,t} - \hat{\mu}_{x,j}}{\hat{\sigma}_{x,j}} \right) \quad (8)$$

$$\hat{\psi}_y(r_i^2, r_j^1) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{r_{i,t} - \hat{\mu}_{y,i}}{\hat{\sigma}_{y,i}} \right)^2 \left(\frac{r_{j,t} - \hat{\mu}_{y,j}}{\hat{\sigma}_{y,j}} \right)$$

e $\hat{\nu}$ refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Quanto ao teste de significância estatística de mudança na coassimetria (CS2,1) é definido como:

$$H_0: \psi_y(r_i^2, r_j^1) = \psi_x(r_i^2, r_j^1) \quad (9)$$

$$H_1: \psi_y(r_i^2, r_j^1) \neq \psi_x(r_i^2, r_j^1)$$

Onde, a hipótese nula determina que a volatilidade no ativo de origem em relação ao retorno esperado do ativo receptor no período de crise é igual à volatilidade no ativo de origem em relação ao retorno esperado do ativo receptor no período pré-crise.

3.3 Teste De Contágio Baseado Na Mudança De Cocurtose

Diferentes modelos de ordem superior contribuem para uma maior robustez para análise do contágio financeiro. Em especial, movimentos de dependência extrema, como cocurtose, contribuem com essa robustez (Potì & Wang, 2010; Smith, 2007). A literatura relacionada a contágio com base em dependência extrema já foi explorada de maneira consolidada (Doornik & Hansen, 2008; Kim, 2016) e, Fry-McKibbin e Hsiao (2018) atribuem ao seu modelo a simplicidade de aplicação e interpretação em comparação com os modelos já disponíveis.

Durante períodos de estabilidade, os investidores tendem a adotar uma postura mais ousada, buscando ativos com retornos positivos e assimetria negativa, o que resulta em uma menor curtose observada (Brunnermeier & Pedersen, 2009). No entanto, em tempos de estresse, uma mudança no retorno esperado de um ativo pode afetar a assimetria de outro ativo, levando a um comportamento leptocúrtico com um aumento na curtose durante eventos de crise. Essa característica específica da curtose torna os eventos extremos mais prováveis de ocorrer, e o contágio é estabelecido por Fry-McKibbin e Hsiao (2018) como a interação entre retorno e assimetria dos ativos.

Logo, o modelo proposto por Fry-McKibbin e Hsiao (2018), abordam duas análises. Primeiro, verifica-se se há alguma troca na interação entre os ativos nos períodos pré-crise e crise do retorno esperado no ativo de origem em relação a assimetria do ativo receptor da seguinte forma:

$$CK_{1,3}(i \rightarrow j; r_i^1, r_j^3) = \left(\frac{\widehat{\xi}_y(r_i^1, r_j^3) - \widehat{\xi}_x(r_i^1, r_j^3)}{\sqrt{\frac{18\widehat{v}_y^2 + 6}{T_y} + \frac{18\widehat{p}_y^2 + 6}{T_x}}} \right)^2 \quad (10)$$

Onde,

$$\widehat{\xi}_x(r_i^1, r_j^3) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{x_{i,t} - \widehat{\mu}_{x,i}}{\widehat{\sigma}_{x,i}} \right) \left(\frac{x_{j,t} - \widehat{\mu}_{x,j}}{\widehat{\sigma}_{x,j}} \right)^3 - (3\widehat{\rho}_x) \quad (11)$$

$$\widehat{\xi}_y(r_i^1, r_j^3) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{y_{i,t} - \widehat{\mu}_{y,i}}{\widehat{\sigma}_{y,i}} \right) \left(\frac{y_{j,t} - \widehat{\mu}_{y,j}}{\widehat{\sigma}_{y,j}} \right)^3 - (3\widehat{v}_y)$$

e \widehat{v} refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na cocurtose (CK1,3) é representado como:

$$H_0: \xi_y(r_i^1, r_j^3) = \xi_x(r_i^1, r_j^3) \quad (12)$$

$$H_1: \xi_y(r_i^1, r_j^3) \neq \xi_x(r_i^1, r_j^3)$$

A hipótese nula é determinada pela interação do retorno esperado no ativo de origem em relação a assimetria do ativo receptor no período de crise é igual a interação do retorno esperado no ativo de origem em relação a assimetria do ativo receptor no período pré-crise.

A segunda análise, sugere se há alguma troca na interação entre os ativos nos períodos pré-crise e crise da assimetria do ativo de origem em relação ao retorno esperado do ativo receptor. O modelo estatístico é definido como:

$$CK_{3,1}(i \rightarrow j; r_i^3, r_j^1) = \left(\frac{\widehat{\xi}_y(r_i^3, r_j^1) - \widehat{\xi}_x(r_i^3, r_j^1)}{\sqrt{\frac{18\widehat{v}_y^2 + 6}{T_y} + \frac{18\widehat{p}_y^2 + 6}{T_x}}} \right)^2 \quad (13)$$

Onde,

$$\widehat{\zeta}_x(r_i^3, r_j^1) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{x_{i,t} - \mu_{x,i}}{\sigma_{x,i}} \right)^3 \left(\frac{x_{j,t} - \mu_{x,j}}{\sigma_{x,j}} \right) - (3\rho_x) \quad (14)$$

$$\widehat{\zeta}_y(r_i^3, r_j^1) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{y_{i,t} - \hat{\mu}_{y,i}}{\hat{\sigma}_{y,i}} \right)^3 \left(\frac{y_{j,t} - \hat{\mu}_{y,j}}{\hat{\sigma}_{y,j}} \right) - (3\hat{\nu}_y)$$

e $\hat{\nu}$ refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na cocurtose (CK3,1) é apresentado abaixo:

$$H_0: \xi_y(r_i^3, r_j^1) = \xi_x(r_i^3, r_j^1) \quad (15)$$

$$H_1: \xi_y(r_i^3, r_j^1) \neq \xi_x(r_i^3, r_j^1)$$

A hipótese nula é determinada pela interação da assimetria no ativo de origem em relação ao retorno esperado do ativo receptor no período de crise é igual a interação da assimetria no ativo de origem em relação ao retorno esperado do ativo receptor no período pré-crise.

3.4 Teste De Contágio Baseado Na Mudança De Covolatilidade

O teste de contágio de covolatilidade é baseado na identificação de eventuais mudanças significativas na covolatilidade entre os períodos antes da crise e de crise. Dessa forma, uma covolatilidade positiva (ou negativa) sugere que a volatilidade alta (ou baixa) de um ativo de origem estão associados a uma volatilidade alta (ou baixa) do ativo receptor.

. O modelo abaixo representa o teste de covolatilidade de Fry-McKibbin e Hsiao (2018):

$$CV_{22}(i \rightarrow j; r_i^2, r_j^2) = \left(\frac{\widehat{\xi}_y(r_i^2, r_j^2) - \widehat{\xi}_x(r_i^2, r_j^2)}{\sqrt{\frac{4\hat{\nu}_y^4 + 16\hat{\nu}_y^2 + 4}{T_y} + \frac{4\hat{\rho}_x^4 + 16\hat{\rho}_x^2 + 4}{T_x}}} \right)^2 \quad (16)$$

Onde,

$$\widehat{\xi}_x(r_i^2, r_j^2) = \frac{1}{T_x} \sum_{t=1}^{T_x} \left(\frac{x_{i,t} - \hat{\mu}_{x,i}}{\hat{\sigma}_{x,i}} \right)^2 \left(\frac{x_{j,t} - \hat{\mu}_{x,j}}{\hat{\sigma}_{x,j}} \right)^2 - (1 + \hat{\rho}_x^2) \quad (17)$$

$$\widehat{\xi}_y(r_i^2, r_j^2) = \frac{1}{T_y} \sum_{t=1}^{T_y} \left(\frac{y_{i,t} - \hat{\mu}_{y,i}}{\hat{\sigma}_{y,i}} \right)^2 \left(\frac{y_{j,t} - \hat{\mu}_{y,j}}{\hat{\sigma}_{y,j}} \right)^2 - (1 + 2\hat{\nu}_y^2)$$

e $\hat{\nu}$ refere-se ao modelo de ajuste na correlação da heterocedasticidade conforme apresentado em (1). Para o teste de significância estatística de mudança na covolatilidade (CV2,2) é definida como:

$$H_0: \xi_y(r_i^2, r_j^2) = \xi_x(r_i^2, r_j^2) \quad (18)$$

$$H_1: \xi_y(r_i^2, r_j^2) \neq \xi_x(r_i^2, r_j^2)$$

Sendo a hipótese nula é definida como a falta de interação significativa da volatilidade entre o ativo de origem e receptor no período de crise e do período pré-crise.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Estatísticas Descritivas

A estatística descritiva de cada índice encontra-se na tabela 2. De maneira geral a análise singular de cada ativo apresentou um maior aumento do desvio padrão assim como uma variação maior no coeficiente de correlação.

Tabela 2: Estatística Descritiva Período Pré Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
Média	0,00069	-0,00385	0,00012	0,00031	0,00079	0,00009	0,00010	0,00028
Mediana	0,00084	-0,00333	-0,00007	0,00025	0,00094	0,00011	0,00021	0,00101
Desvio padrão	0,00789	0,03840	0,00261	0,00293	0,00804	0,00125	0,00277	0,00869
Curtose	3,46952	2,95573	-0,13087	0,27380	1,61933	0,49197	0,42169	0,01378
Assimetria	-1,18060	-0,00045	0,07317	-0,18401	-0,28726	0,11767	0,00070	-0,01694
Contagem	125	125	125	125	125	125	125	125

Estatística Descritiva Período da Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
Média	-0,00033	0,00219	0,00015	0,00045	0,00125	0,00034	0,00066	0,00155
Mediana	0,00187	0,00591	0,00041	0,00109	0,00141	0,00013	0,00021	0,00226
Desvio padrão	0,02927	0,04913	0,00566	0,00652	0,01568	0,00141	0,00372	0,01568
Curtose	4,35523	9,13350	2,04275	7,64458	3,30409	5,35348	5,70026	5,04882
Assimetria	-0,61737	-1,64871	0,57785	-1,75613	0,13158	0,78547	0,46198	0,14901
Contagem	125	125	125	125	125	125	125	125

Correlação Período Pré Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
S&P 500		-0,02192	0,19208	-0,40513	-0,38635	-0,49363	-0,48083	-0,45919
Crypto	-0,02192		-0,07184	0,00397	0,08615	0,05044	0,03610	-0,00859
Dollar	0,19208	-0,07184		-0,24355	-0,37646	-0,37619	-0,33223	-0,20168
Bond	-0,40513	0,00397	-0,24355		0,54475	0,89560	0,95152	0,97045
Precious metals	-0,38635	0,08615	-0,37646	0,54475		0,61038	0,61560	0,56506
Treasury 1-5	-0,49363	0,05044	-0,37619	0,89560	0,61038		0,97950	0,85814
Treasury 5-7	-0,48083	0,03610	-0,33223	0,95152	0,61560	0,97950		0,92746
Treasury 10+	-0,45919	-0,00859	-0,20168	0,97045	0,56506	0,85814	0,92746	

Correlação Período da Crise

	<i>S&P 500</i>	<i>Crypto</i>	<i>Dollar</i>	<i>Bond</i>	<i>Precious metals</i>	<i>Treasury 1-5 Years</i>	<i>Treasury 5-7 Years</i>	<i>Treasury 10+ Years</i>
S&P 500		0,44462	0,02332	0,09596	0,20850	-0,55089	-0,57102	-0,51545
Crypto	0,4446		-0,02958	0,09777	0,38101	-0,15137	-0,14287	-0,10154
Dollar	0,0233	-0,02958		-0,59601	-0,18597	-0,35771	-0,37568	-0,35859
Bond	0,0960	0,09777	-0,59601		0,25731	0,43657	0,52301	0,53191
Precious metals	0,2085	0,38101	-0,18597	0,25731		0,04906	0,10236	0,17668
Treasury 1-5	-0,5509	-0,15137	-0,35771	0,43657	0,04906		0,96400	0,81884
Treasury 5-7	-0,5710	-0,14287	-0,37568	0,52301	0,10236	0,96400		0,90685

Treasury 10+ -0,5154 -0,10154 -0,35859 0,53191 0,17668 0,81884 0,90685

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: O resultado da estatística descritiva é referente a diferença do log dos retornos dos índices no período em análise.

A proposta da pesquisa foi buscar uma interpretação mais aprofundada do contágio relacionado ao evento da Covid19. Para isso, uma análise agrupada é mais interessante, sendo que a interpretação é realizada através dos quadrantes distribuídos nas tabelas. O primeiro quadrante, (Q1), localizado na parte superior esquerda, representa os índices de origens com maior volatilidade em relação aos índices receptores de maior volatilidade. O segundo quadrante (Q2), localizado na parte superior direita, representa os índices de origens de maior volatilidade em relação aos índices receptores de menor volatilidade. O terceiro quadrante (Q3), localizado na parte inferior esquerda, representa os índices de origens com menor volatilidade em relação aos índices receptores de maior volatilidade, e o quarto quadrante (Q4), parte inferior direita, representa os índices de origens com menor volatilidade em relação aos índices receptores de menor volatilidade.

Para a análise da tabela 3, alguns fatores devem ser abordados para um maior entendimento dos resultados. Foi analisada a interação dos retornos esperados dos ativos de origem em relação a volatilidade dos ativos receptores. Uma coassimetria próxima de zero representa uma interdependência baixa ou nula entre os ativos. A direção da interação, seja positiva ou negativa, representa a tendência dos ativos de se moverem na mesma direção ou de forma oposta ao longo do tempo. Por fim, é importante notar que a troca na interação pode acontecer na direção oposta - positivo para negativo (ou vice-versa) ou na mesma direção - de positivo para mais positivo (ou vice-versa).

Tabela 3: Estatística Descritiva – Coassimetria (CS1,2)

INDEX		S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise		-0,42	-0,11	-0,29	-0,14	-0,33	-0,30	-0,41
	Crise		-0,99	-0,99	-0,38	0,30	-0,39	-0,42	-0,42
Crypto	Pré crise	0,13		-0,01	-0,11	0,21	0,06	0,04	-0,07
	Crise	-0,97		-0,01	-0,36	-0,27	-0,17	-0,13	-0,13
Dollar	Pré crise	-0,30	-0,01		0,01	0,20	-0,11	-0,09	-0,06
	Crise	0,06	0,79		1,14	0,02	0,27	0,37	0,50
Bond	Pré crise	0,56	0,08	-0,18		-0,35	-0,04	-0,08	-0,18
	Crise	-0,70	-1,54	-0,98		-0,12	-0,40	-0,60	-0,12
Precious Metals	Pré crise	0,46	0,25	-0,18	-0,31		-0,26	-0,30	-0,18
	Crise	-0,36	-0,61	-0,26	-0,26		-0,10	-0,05	-0,12
Treasury 1-5 years	Pré crise	0,64	0,18	-0,09	-0,12	-0,22		0,04	-0,03
	Crise	0,24	0,18	-0,39	-0,45	0,11		0,52	0,13
Treasury 5-7 years	Pré crise	0,62	0,13	-0,12	-0,13	-0,27	0,08		-0,06
	Crise	0,19	-0,01	-0,58	-0,80	0,03	0,62		0,15
Treasury 10+ Years	Pré crise	0,71	0,11	-0,17	-0,13	-0,23	-0,01	-0,06	
	Crise	0,17	-0,21	-0,66	-1,10	0,01	0,31	0,26	

Fonte: Elaborado pelos autores.

No período pré-crise a maioria das coassimetrias foram negativas, mas é importante destacar que todas apresentaram baixa interação (próxima a zero). No período da crise, de maneira geral, houve um suave aumento na interdependência, mas a predominância de sua baixa interação ainda foi constatada. Em particular, os índices de origens de dólar e *Treasury* de curto e longo prazo apresentaram mudanças na coassimetria, indo de positiva para negativa na maioria dos ativos receptores, enquanto o índice de cripto apresentou uma coassimetria positiva em comparação com os resultados do período pré-crise.

Tabela 4: Estatística Descritiva – Coassimetria (CS2,1)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise	0,13	-0,30	0,56	0,46	0,64	0,62	0,71
	Crise	-0,97	0,06	-0,70	-0,36	0,24	0,19	0,17
Crypto	Pré crise	-0,42	-0,01	0,08	0,25	0,18	0,13	0,11
	Crise	-0,99	0,79	-1,54	-0,61	0,18	-0,01	-0,21
Dollar	Pré crise	-0,11	-0,01	-0,18	-0,18	-0,18	-0,09	-0,17
	Crise	0,15	-0,01	-0,98	-0,26	-0,26	-0,39	-0,66
Bond	Pré crise	-0,29	-0,11	0,01	-0,31	-0,12	-0,13	-0,23
	Crise	-0,38	-0,36	1,14	-0,26	-0,45	-0,80	0,01
Precious Metals	Pré crise	-0,14	0,21	0,20	-0,35	-0,22	-0,27	-0,23
	Crise	0,30	-0,27	0,02	-0,12	0,11	0,03	0,01
Treasury 1-5 years	Pré crise	-0,33	0,06	-0,11	-0,04	-0,26	0,08	-0,01
	Crise	-0,39	-0,17	0,27	-0,40	-0,10	0,62	0,31
Treasury 5-7 years	Pré crise	-0,30	0,04	-0,09	-0,08	-0,30	0,04	-0,06
	Crise	-0,42	-0,13	0,37	-0,60	-0,05	0,52	0,26
Treasury 10+ Years	Pré crise	-0,41	-0,07	-0,06	-0,07	-0,18	-0,03	-0,06
	Crise	-0,42	-0,13	0,50	-0,80	-0,12	0,13	0,15

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quanto à análise da Tabela 4, representa a interação da volatilidade dos ativos de origem em reação aos retornos esperados dos ativos receptores. O resultado foi semelhante ao da tabela 3 para o período de pré-crise. Quanto ao período de crise, os resultados das interações mantiveram-se com um pequeno aumento na interdependência, mas sempre próximo de zero. Os índices receptores de dólar, debêntures e metais preciosos foram os que apresentaram maiores amplitudes ao comparar as coassimetrias entre o período pré-crise e crise.

Para a análise da tabela 5, relacionada à cocurtose, alguns fatores devem ser abordados para um maior entendimento dos resultados. Foram analisadas a interação dos retornos esperados dos ativos de origem em reação à assimetria dos ativos receptores. Uma cocurtose próxima de zero representa uma interdependência baixa ou nula entre os ativos. A direção da interação, positiva ou negativa, representa a tendência dos ativos de se moverem na mesma direção ou de forma oposta ao longo do tempo. Por fim, é importante notar que a troca na interação pode ocorrer na direção

oposta - positivo para negativo (ou vice-versa) ou na mesma direção – de positivo para mais positivo (ou vice-versa).

Tabela 5: Estatística Descritiva – Cocurtose (CS1,3)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise	0,34	0,06	0,01	-0,30	-0,20	-0,12	-0,20
	Crise	5,79	0,03	1,92	0,68	-3,91	-4,30	-3,05
Crypto	Pré crise	-0,55	-0,24	0,23	0,14	0,53	0,42	0,06
	Crise	2,64	0,92	0,66	1,30	-1,42	-1,51	-1,10
Dollar	Pré crise	0,98	0,21	0,13	-0,38	0,03	0,06	0,09
	Crise	0,43	-1,91	-6,03	-1,47	-2,46	-2,95	-3,25
Bond	Pré crise	-1,32	-0,57	-0,23	0,03	0,22	0,21	-0,06
	Crise	1,32	5,34	-3,48	1,02	2,69	3,33	3,53
Precious Metals	Pré crise	-1,38	-0,05	-0,14	0,10	-0,14	-0,17	-0,06
	Crise	2,05	3,25	-0,62	1,89	-0,86	-0,80	-0,13
Treasury 1-5 years	Pré crise	-1,66	-0,42	-0,17	0,16	0,16	0,30	-0,03
	Crise	-2,52	-0,07	-0,74	2,05	-0,46	4,95	4,27
Treasury 5-7 years	Pré crise	-1,49	-0,49	-0,16	0,15	0,17	0,33	-0,06
	Crise	-2,76	0,26	-1,27	3,27	0,13	4,80	4,70
Treasury 10+ Years	Pré crise	-1,68	-0,59	-0,18	0,07	0,10	0,14	
	Crise	-2,07	1,24	-1,83	4,16	0,70	4,64	5,29

Fonte: Elaborado pelos autores

De maneira geral, todos os ativos apresentaram baixa interação no período pré-crise. Suas variações, tanto positivas quanto negativas, estavam próximas de zero, confirmando sua baixa interdependência. Quanto ao período de crise, o índice S&P (Q1) apresentou alta cocurtose positiva para o ativo receptor de cripto e alta cocurtose negativa para todos os índices de *Treasury* (Q4). O índice de origem dólar demonstrou alta cocurtose negativa para os índices de baixa volatilidade (Q2), em particular para o índice de debênture. De forma consolidada, os índices de baixa volatilidade apresentaram alta cocurtose positiva para os índices de baixa volatilidade (Q4). No entanto, o índice de metais preciosos apresentou cocurtose negativa para todos os índices de *Treasury*.

Quanto a tabela 6, a interação da assimetria dos ativos de origem em relação aos retornos esperados dos ativos receptores foi igual à tabela 5 para o período Pré-crise.

Tabela 6: Estatística Descritiva – Cocurtose (CS3,1)

INDEX		S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise		-0,55	0,98	-1,32	-1,38	-1,66	-1,49	-1,68
	Crise		3,32	0,44	1,38	2,21	-3,51	-3,59	-2,54
Crypto	Pré crise	0,34		0,21	-0,57	-0,05	-0,42	-0,49	-0,59
	Crise	5,10		-1,88	5,25	2,95	-0,11	0,27	1,31
Dollar	Pré crise	0,06	-0,24		-0,23	-0,14	-0,17	-0,16	-0,18
	Crise	0,01	0,89		-3,45	-0,65	-1,18	-1,59	-1,93
Bond	Pré crise	0,01	0,23	0,13		0,10	0,16	0,15	0,07
	Crise	1,86	0,76	-6,06		1,94	2,60	3,73	4,33
Precious Metals	Pré crise	-0,30	0,14	-0,38	0,03		0,16	0,17	0,10
	Crise	0,52	1,60	-1,44	0,97		-0,41	0,20	0,72
Treasury 1-5 years	Pré crise	-0,20	0,53	0,03	0,22	-0,14		0,33	0,16
	Crise	-2,92	-1,37	-2,01	2,14	-0,92		4,75	4,15
Treasury 5-7 years	Pré crise	-0,12	0,42	0,06	0,21	-0,17	0,30		0,14
	Crise	-3,47	-1,53	-2,63	2,88	-0,87	5,00		5,04
Treasury 10+ Years	Pré crise	-0,20	0,06	0,09	-0,06	-0,06	-0,03	-0,06	
	Crise	-2,59	-1,17	-3,15	3,35	-0,15	4,76	4,95	

Fonte: Elaborado pelos autores

No que diz respeito aos ativos de origens de alta volatilidade, a interação mútua entre os índices do S&P e cripto apresentou alta cocurtose positiva, enquanto o índice de cripto para o índice de dólar revelou um aumento da cocurtose negativa, visto que antes da crise sua interação era baixa (Q1). A relação entre os índices de alta volatilidade para os índices de baixa volatilidade (Q2) mostrou uma pluralidade maior; para o S&P e o dólar, os índices de *Treasury's* apresentaram alta cocurtose negativa.

Os três índices de alta volatilidade demonstraram uma alta cocurtose positiva para debênture, mas para o dólar essa cocurtose foi negativa. Para os índices de baixa volatilidade em relação aos índices de Alta volatilidade (Q3), as aumentaram as cocurtose de forma negativa, em particular pelo valor expressivo da relação entre debêntures e dólar. Quanto aos índices relacionados ao (Q4), eles demonstraram uma alta cocurtose positiva, mas o comportamento do índice de metais preciosos evidenciou uma relação de baixa interação e, por vezes, negativa.

Tabela 7: Estatística Descritiva – Covolatilidade (CS3,3)

INDEX		S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 years	Treasury 5-7 years	Treasury 10+ Years
S&P 500	Pré crise		1,00	-0,28	1,58	1,58	2,16	1,93	2,13
	Crise		3,35	1,78	2,18	2,25	3,55	4,00	3,01
Crypto	Pré crise	1,00		0,43	-0,16	-0,55	-0,09	-0,13	0,07
	Crise	1,98		2,29	4,25	-0,33	0,59	0,50	0,61
Dollar	Pré crise	-0,28	0,43		1,00	1,38	1,41	1,24	0,83
	Crise	1,76	2,25		5,56	1,21	2,22	2,43	2,76
Bond	Pré crise	1,58	-0,16	1,00		-2,62	-5,01	-5,46	-5,77
	Crise	2,10	4,40	5,55		0,81	1,22	1,66	2,00
Precious Metals	Pré crise	1,58	-0,55	1,38	-2,62		-3,06	-3,13	-2,93
	Crise	2,01	0,28	1,24	0,73		1,89	1,81	0,70
Treasury 1-5 years	Pré crise	2,16	-0,09	1,41	-5,01	-3,06		-5,53	-4,85
	Crise	3,97	0,64	2,52	0,05	1,81		-0,89	-0,32
Treasury 5-7 years	Pré crise	1,93	-0,13	1,24	-5,46	-3,13	-5,53		-5,41
	Crise	4,39	0,49	2,65	0,65	1,70	-0,69		-0,01
Treasury 10+ Years	Pré crise	2,13	0,07	0,83	-5,77	-2,93	-4,85	-5,41	
	Crise	3,34	0,53	2,85	1,64	0,67	1,27	0,85	

Fonte: Elaborado pelos autores

Na análise da tabela 7, é crucial abordar alguns fatores para um melhor entendimento dos resultados. Foi examinada a interação da volatilidade dos ativos de origem em relação a volatilidade dos ativos receptores. Uma Covolatilidade próxima de zero representa uma interdependência baixa ou nula entre os ativos. A direção da interação, positiva ou negativa, indica a tendência dos ativos de moverem-se na mesma direção ou de forma oposta ao longo do tempo. Por fim, é importante notar que a mudança na interação pode acontecer na direção oposta – de positivo para negativo (ou vice-versa) ou na mesma direção – de positivo para mais positivo (ou vice-versa).

A tabela 7, cuja a análise da cocurtose também pode ser verificada pela interação entre as volatilidades dos ativos de origens e receptores, apresentou uma interação mais alta mesmo durante o pré-crise, principalmente na análise do (Q4), na interação entre ambos ativos de baixa volatilidade, o resultado demonstra uma alta cocurtose negativa. Quanto a análise do período da crise, é possível generalizar que houve um forte aumento da cocurtose, e as cocurtoses que eram positivas mudaram para negativas e vice-versa.

As tabelas das análises descritivas mostraram o impacto causado pela COVID19 na interação entre os ativos, sob a perspectiva da correlação, coassimetria, cocurtose e covolatilidade. Embora alguns resultados tenham sido mais expressivos, não é possível afirmar categoricamente que houve contágio. Para isso, na seção a seguir, serão apresentados os resultados dos testes estatísticos qui-quadrado para contágio, cujo propósito é determinar se existe alguma associação significativa entre o período pré-crise (frequência observada) e crise (frequência esperada).

4.2 Teste Baseado Na Mudança De Correlação

O teste baseado na troca de correlação com a heterocedasticidade dos retornos ajustada apresentou 29 valores significativos em um total de 56 análises ao nível de significância de 5%. Na análise do teste dos índices de origens e receptores entre os índices de alta volatilidade (Q1), não houve contágio, com exceção do índice de criptomoeda, que transmitiu contágio para o índice de ações.

Na análise do (Q2), o índice de ações demonstrou ser um forte transmissor de contágio para todos os índices de baixa volatilidade, ao passo que o índice de criptomoeda não apresentou transmissão de contágio para nenhum índice de baixa volatilidade. Para o teste de Forbes e Rigobon (2002), sugere-se que o índice de criptomoeda pode representar um bom ativo para diversificação ou *hedge* junto a títulos de renda fixa.

Tabela 8: Teste de Contágio de Correlação

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		1,21 (0,22)	-1,47 (0,14)	3,56 (0,00)	3,63 (0,00)	2,84 (0,00)	2,64 (0,00)	2,61 (0,00)
Crypto	3,13 (0,00)		0,38 (0,70)	0,57 (0,56)	1,80 (0,07)	-1,33 (0,18)	-1,16 (0,24)	-0,56 (0,57)
Dollar	-1,43 (0,15)	0,46 (0,64)		-0,68 (0,49)	2,41 (0,01)	1,72 (0,08)	1,24 (0,21)	0,22 (0,82)
Bond	3,70 (0,00)	0,31 (0,75)	-0,62 (0,53)		-3,84 (0,00)	-9,63 (0,00)	-12,30 (0,00)	-14,22 (0,00)
Precious Metals	4,04 (0,00)	0,96 (0,33)	2,34 (0,01)	-3,71 (0,00)		-5,34 (0,00)	-5,19 (0,00)	-4,28 (0,00)
Treasury 1-5 Years	-0,13 (0,89)	-1,45 (0,14)	0,48 (0,63)	-8,05 (0,00)	-5,20 (0,00)		-3,12 (0,00)	-1,78 (0,07)
Treasury 5-7 Years	0,20 (0,83)	-1,12 (0,26)	0,37 (0,71)	-10,97 (0,00)	-5,01 (0,00)	-4,41 (0,00)		-3,03 (0,00)
Treasury 10+ Years	1,32 (0,18)	-0,37 (0,70)	-0,05 (0,95)	-13,73 (0,00)	-4,22 (0,00)	-4,38 (0,00)	-4,91 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: A coluna indica os ativos de origem (i), enquanto a linha indica os ativos receptores (j). A hipótese nula do teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

No terceiro quadrante (Q3), há evidência de contágio, sendo os metais preciosos transmissores para quase todos os índices de alta volatilidade, no entanto, nenhum índice de baixa volatilidade foi transmissor de contágio para o índice de criptomoeda. Quanto ao (Q4), os índices de baixa volatilidade são transmissores de contágio para todos os índices de baixa volatilidade, com exceção do índice de *Treasury* de curto prazo como transmissor para o índice de *Treasury* de longo prazo, que não foi significativo.

4.3 Teste Baseado Na Mudança De Coassimetria

Os testes baseados na troca de coassimetria apresentaram para CS1,2 um total de 22 resultados significativos enquanto o teste para CS2,1 um total de 23 resultados significativos. Ambos ao

nível de significância de 5% e com 56 testes ao todo. Os resultados divergem do estudo de Fry et al., (2010) que modelos de ordem superior evidenciam melhor o contágio que modelos com base em correlação.

Tabela 9: Teste de Contágio – Coassimetria (CS1,2)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		9,88 (0,00)	2,02 (0,15)	0,21 (0,15)	5,18 (0,02)	0,07 (0,79)	0,37 (0,54)	0,00 (0,96)
Crypto	32,93 (0,00)		0,00 (0,98)	1,98 (0,15)	6,32 (0,01)	1,62 (0,20)	0,95 (0,33)	0,11 (0,73)
Dollar	3,97 (0,04)	19,97 (0,00)		34,60 (0,00)	0,79 (0,37)	3,89 (0,04)	5,67 (0,01)	9,06 (0,00)
Bond	42,42 (0,00)	81,22 (0,00)	17,44 (0,00)		1,36 (0,24)	2,26 (0,13)	4,25 (0,03)	0,10 (0,75)
Precious Metals	17,69 (0,00)	21,97 (0,00)	0,15 (0,70)	0,06 (0,80)		0,62 (0,43)	1,43 (0,23)	0,10 (0,75)
Treasury 1-5 Years	3,32 (0,06)	0,00 (0,99)	2,30 (0,12)	1,80 (0,17)	2,57 (0,10)		2,50 (0,11)	0,37 (0,54)
Treasury 5-7 Years	3,95 (0,04)	0,64 (0,42)	5,55 (0,01)	6,69 (0,00)	1,98 (0,15)	3,22 (0,07)		0,52 (0,47)
Treasury 10+ Years	6,81 (0,00)	3,13 (0,07)	6,96 (0,00)	14,57 (0,00)	1,35 (0,24)	1,48 (0,22)	1,30 (0,25)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota¹: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Nota²: O teste CS1,2 representa a identificação de contágio com base na distribuição dos retornos dos índices (i) para volatilidade dos índices (j). A coluna indica os ativos de origem (i), enquanto a linha indica os ativos receptores (j). A hipótese nula do teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Na análise da tabela 9 buscou-se identificar o contágio através da mudança da coassimetria pela interação de retornos esperados e assimetria entre os ativos. Os índices de alta volatilidade (Q1) não apresentaram evidência de contágio de nenhum índice de origem para o índice receptor do dólar. Quanto ao (Q2), os índices de ações e criptomoedas são transmissores de contágio apenas para metais preciosos, e em relação a todos os outros índices de baixa volatilidade, não há evidência de contágio. No entanto, para o índice do dólar, o seu comportamento é completamente oposto ao de seus pares. Na análise do (Q3), em particular o *Treasury* de curto prazo, não apresentou transmissão de contágio para nenhum índice de alta volatilidade; apesar disso, no (Q4), o índice de debênture foi o único a mostrar evidência de contágio para o *Treasury* de curto prazo. Com exceção do índice de debêntures, não foram identificadas evidências de transmissão de contágio para os outros índices de baixa volatilidade. Os resultados sugerem que os *Treasury's*, cuja diferença esteja relacionada ao seu vencimento, pode ser um alerta para transmissão ou recebimento de contágio.

Tabela 10: Teste de Contágio – Coassimetria (CS2,1)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		36,59 (0,00)	3,97 (0,04)	42,46 (0,00)	17,83 (0,00)	3,90 (0,04)	4,51 (0,03)	7,22 (0,00)
Crypto	8,89 (0,00)		19,96 (0,00)	80,90 (0,00)	20,95 (0,00)	0,00 (0,99)	0,64 (0,42)	3,12 (0,07)
Dollar	2,02 (0,15)	0,00 (0,98)		17,37 (0,00)	0,15 (0,70)	2,44 (0,11)	5,79 (0,01)	7,04 (0,00)
Bond	0,21 (0,64)	1,99 (0,15)	34,74 (0,00)		0,06 (0,80)	1,91 (0,16)	7,03 (0,00)	1,35 (0,24)
Precious Metals	5,15 (0,02)	6,63 (0,01)	0,79 (0,37)	1,35 (0,24)		2,58 (0,10)	1,99 (0,15)	1,35 (0,24)
Treasury 1-5 Years	0,06 (0,81)	1,62 (0,20)	3,66 (0,06)	2,13 (0,14)	0,62 (0,43)		3,19 (0,07)	1,33 (0,00)
Treasury 5-7 Years	0,32 (0,56)	0,95 (0,32)	5,43 (0,01)	4,04 (0,04)	1,43 (0,23)	2,53 (0,11)		1,24 (0,26)
Treasury 10+ Years	0,00 (0,96)	0,11 (0,73)	8,95 (0,00)	8,08 (0,00)	0,10 (0,75)	0,41 (0,52)	0,54 (0,46)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota¹: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Nota²: O teste CS2,1 representa a identificação de contágio com base na volatilidade dos índices (i) para distribuição dos retornos dos índices (j). A coluna indica os ativos de origem (i), enquanto a linha indica os ativos receptores (j). A hipótese nula do teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Na análise da tabela 10 buscou-se identificar o contágio pela mudança da coassimetria através da interação da assimetria e retornos esperados entre os ativos. Os índices (Q1) de origem das ações e criptomoedas apresentaram transmissões de contágio para todos os outros índices de alta volatilidade, exceto o índice do dólar, que não atua como transmissor. Em geral, no (Q2), há presença de contágio por todos os índices, mas a criptomoeda é o menor transmissor, visto que tem contágio apenas para debêntures e metais preciosos. Na análise relacionada ao (Q3), o índice de *Treasury* de curto prazo foi o único que não apresentou evidência de transmissão de contágio para os índices de alta volatilidade. Quanto ao (Q4), no geral, os índices de baixa volatilidade não são transmissores de contágio para os índices da mesma natureza, mas, houve duas exceções quanto aos índices de debênture e *Treasury* de curto prazo, que foram transmissores de contágio para os índices de *Treasury* de médio e longo prazo, respectivamente.

4.4 Teste De Contágio Baseado Na Mudança De Cocurtose

Os testes CS1,3 e CS3,1 baseados na troca de cocurtose apresentaram respectivamente um total de 43 e 46 resultados significativos para ambos os testes ao nível de significância de 5% e com 56 testes ao todo. O Modelo de contágio de dependência extrema apresentou uma significância maior nos resultados em comparação aos modelos de correlação e assimetria.

Tabela 11: Teste de Contágio – Cocurtose (CS1,3)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		301,06 (0,00)	0,01 (0,90)	30,49 (0,00)	8,11 (0,00)	101,84 (0,00)	129,89 (0,00)	62,84 (0,00)
Crypto	88,25 (0,00)		13,82 (0,00)	1,97 (0,16)	12,21 (0,00)	38,76 (0,00)	38,19 (0,00)	14,05 (0,00)
Dollar	3,06 (0,08)	46,32 (0,00)		317,96 (0,00)	10,22 (0,00)	51,34 (0,00)	77,29 (0,00)	104,86 (0,00)
Bond	58,25 (0,00)	362,78 (0,00)	88,79 (0,00)		6,95 (0,00)	27,85 (0,00)	41,24 (0,00)	52,96 (0,00)
Precious Metals	98,76 (0,00)	105,61 (0,00)	1,96 (0,16)	22,74 (0,00)		3,47 (0,06)	2,67 (0,10)	0,04 (0,84)
Treasury 1-5 Years	4,33 (0,03)	1,29 (0,25)	2,46 (0,11)	15,29 (0,00)	2,57 (0,10)		59,12 (0,00)	63,51 (0,00)
Treasury 5-7 Years	10,17 (0,00)	5,77 (0,01)	10,10 (0,00)	38,95 (0,00)	0,01 (0,92)	55,46 (0,00)		70,06 (0,00)
Treasury 10+ Years	1,10 (0,29)	34,98 (0,00)	24,95 (0,00)	67,74 (0,00)	2,54 (0,11)	77,84 (0,00)	86,85 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota¹: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Nota²: O teste CS1,3 representa a identificação de contágio com base nos retornos esperados dos índices (i) para assimetria dos índices (j). A coluna indica os ativos de origem (i), enquanto a linha indica os ativos receptores (j). A hipótese nula do teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Na tabela 11 o contágio está presente na maioria dos resultados. Os achados se concentram na ausência de evidência significativa. Entre os índices de origem de alta volatilidade e receptores também de alta volatilidade (Q1), observa-se que o índice de ações não transmite contágio para o dólar, ao passo que oposto também é verdadeiro. Para o resultado do contágio entre os índices de maior volatilidade e baixa volatilidade (Q2), destaca-se que o índice de criptomoeda não transmite contágio para os índices de debênture. Quanto aos resultados relacionados aos índices de baixa volatilidade como índice de origem para os receptores de alta volatilidade (Q3), tanto os *Treasury* de curto prazo quanto os *Treasury* de longo prazo apresentaram resiliência, não transmitindo contágio para alguns índices de alta volatilidade. Em relação ao (Q4), destaca-se a ausência de evidência de contágio entre o índice de metais preciosos e todas as *Treasury*'s.

Tabela 12: Teste de Contágio – Cocurtose (CS3,1)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		152,01 (0,00)	2,91 (0,08)	60,65 (0,00)	108,95 (0,00)	25,09 (0,00)	32,98 (0,00)	5,72 (0,01)
Crypto	197,30 (0,00)		45,06 (0,00)	348,90 (0,00)	81,52 (0,00)	0,98 (0,32)	5,99 (0,01)	37,48 (0,00)
Dollar	0,03 (0,87)	13,15 (0,00)		87,08 (0,00)	2,21 (0,13)	8,50 (0,00)	17,66 (0,00)	28,62 (0,00)
Bond	28,81 (0,00)	2,97 (0,08)	322,10 (0,00)		24,11 (0,00)	27,29 (0,00)	54,17 (0,00)	75,02 (0,00)
Precious Metals	5,70 (0,01)	20,68 (0,00)	9,67 (0,00)	6,24 (0,01)		2,13 (0,14)	0,01 (0,93)	2,73 (0,09)
Treasury 1-5 Years	44,17 (0,00)	36,67 (0,00)	31,87 (0,00)	15,69 (0,00)	4,02 (0,04)		54,55 (0,00)	54,55 (0,00)
Treasury 5-7 Years	70,03 (0,00)	38,85 (0,00)	58,24 (0,00)	28,42 (0,00)	3,30 (0,06)	61,20 (0,00)		74,02 (0,00)
Treasury 10+ Years	40,58 (0,00)	15,83 (0,00)	96,90 (0,00)	47,06 (0,00)	0,06 (0,80)	89,17 (0,00)	82,42 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota¹: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Nota²: O teste CS3,1 representa a identificação de contágio com base nas assimetrias dos índices (i) para retornos esperados dos índices (j). A coluna indica os ativos de origem (i), enquanto a linha indica os ativos receptores (j). A hipótese nula do teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Quanto à análise da tabela 12, os resultados do teste CS3,1 assemelham-se pela grande quantidade de presença de contágio. Quanto ao (Q1), o resultado é semelhante ao da tabela anterior. Quanto ao (Q2), não a evidência de transmissão de contágio dos índices de criptomoedas e dólar para *Treasury* de curto prazo e metais preciosos, respectivamente. Em relação ao (Q3), todos os resultados apontam relação de contágio. Por fim, o (Q4) se assemelha a tabela anterior, com a exceção da transmissão de contágio do índice *Treasury* de curto prazo para os metais preciosos.

4.5 Teste De Contágio Baseado Na Mudança De Covolatilidade

O teste baseado na troca de covolatilidade evidenciou 50 valores significativos em um total de 56 análises ao nível de significância de 5%. O Modelo de contágio de dependência extrema, com base na covolatilidade, apresentou resultados com mais significância em comparação com todos os outros modelos.

Tabela 13: Teste de Contágio – Covolatilidade (CS3,3)

INDEX	S&P 500	Crypto	Dollar	Bond	Precious Metals	Treasury 1-5 Years	Treasury 5-7 Years	Treasury 10+ Years
S&P 500		82,70 (0,00)	61,53 (0,00)	4,10 (0,04)	5,28 (0,02)	19,22 (0,00)	43,08 (0,00)	8,09 (0,00)
Crypto	11,64 (0,00)		53,14 (0,00)	300,67 (0,00)	0,63 (0,42)	7,16 (0,00)	6,14 (0,01)	4,47 (0,03)
Dollar	60,44 (0,00)	51,10 (0,00)		242,94 (0,00)	0,34 (0,56)	7,65 (0,00)	17,11 (0,00)	51,31 (0,00)
Bond	3,14 (0,07)	323,31 (0,00)	243,62 (0,00)		110,46 (0,00)	201,35 (0,00)	235,17 (0,00)	271,64 (0,00)
Precious Metals	2,14 (0,14)	9,64 (0,00)	0,22 (0,63)	104,68 (0,00)		210,60 (0,00)	207,14 (0,00)	120,53 (0,00)
Treasury 1-5 Years	24,99 (0,00)	8,12 (0,00)	12,84 (0,00)	123,09 (0,00)	203,68 (0,00)		59,97 (0,00)	77,11 (0,00)
Treasury 5-7 Years	49,03 (0,00)	5,86 (0,01)	22,33 (0,00)	162,54 (0,00)	197,53 (0,00)	66,26 (0,00)		95,01 (0,00)
Treasury 10+ Years	13,80 (0,00)	3,27 (0,07)	54,56 (0,00)	241,75 (0,00)	118,03 (0,00)	163,05 (0,00)	138,02 (0,00)	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota¹: As colunas indicam os ativos de origens (i), enquanto as linhas indicam os ativos receptores (j). A hipótese nula de cada teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

Nota²: O teste CS3,3 representa a identificação de contágio com base na interação entre as volatilidades dos índices (i) para os índices (j). A coluna indica os ativos de origem (i), enquanto a linha indica os ativos receptores (j). A hipótese nula do teste de contágio indica que “não há contágio”. Os números entre parênteses representam o p-valor e os resultados em negrito rejeitam a hipótese nula ao nível de significância de 5%.

O índice de metais preciosos não apresentou transmissão de contágio para o índice de ações. No entanto, o mesmo índice, metais preciosos, como receptor, não mostrou significância estatística para os índices de cripto e dólar. Por fim, os índices de debênture e *Treasury* de longo prazo não apresentaram significância estatística para os índices de ações e cripto respectivamente.

Os achados vão de encontro com os estudos de Fry-McKibbin et al. (2018) e Apergis et al. (2019), demonstrando que testes de contágio de dependência extrema baseados em covolatilidade demonstram ser mais sensíveis para a identificação de contágio em comparação com qualquer outro modelo.

4.6 Análise Conjunta Dos Testes De Contágios

Os diferentes tipos de testes buscaram evidenciar o contágio financeiro no período da crise da Covid19. Estudos de Fry-McKibbin et al. (2018) e Apergis et al. (2019) já mostraram que testes baseados na troca da correlação são menos eficazes em comparação com testes focados na troca da assimetria, apresentando, por sua vez, limitações em relação aos testes de dependência extrema. No entanto, os resultados dessa pesquisa mostraram divergência, visto que os testes de correlação foram mais eficazes que o teste de assimetria. Uma resposta plausível para esse comportamento pode estar relacionada à exagerada queda dos ativos devido à desconfiança que uma pandemia poderia causar

e, em seguida, uma rápida recuperação nos meses seguintes, ainda sob o efeito da incerteza futura do Covid19 (Ganie et al., 2022).

Entre os índices estudados destacam-se três, o índice de criptomoeda, metais preciosos e os *Treasury's*. A crise da Covid19 foi a primeira grande crise que impactou as criptomoedas como um instrumento financeiro. Entre todos os testes utilizados os índices de criptomoedas mesmo sendo um ativo de alta volatilidade apresentou alguns resultados referente a não transmissão e recepção de contágio em comparação com ativos de baixa volatilidade como índices de debênture, metais preciosos e títulos públicos. Os achados confirmam em partes uma segunda vertente da literatura que as criptomoedas podem servir como ativos diversificadores de baixa volatilidade (Corbet et al., 2018). Mas, devem ser tratados com precaução, pois embora se comporte como ativos diversificadores, para ativos tradicionais como ouro e mercado de títulos atuam como receptores divergindo do estudo de Guo et al. (2021).

Os índices de metais preciosos se destacaram, principalmente, no teste de covolatilidade, pois é um teste mais sensível para identificação de contágio, corroborando a literatura já existente que momentos de terceira e quarta ordem são dimensões de riscos importantes (Fry-McKibbin & Hsiao, 2018). Ainda quanto ao índice de metais preciosos, foi resiliente tanto como transmissor assim como receptor para ativos de alta volatilidade, seguindo com a literatura existente (Corbet et al., 2018; Yang et al., 2018). O resultado sugere que em períodos de forte incerteza o investimento em ouro, como um metal precioso, pode ser uma forma mais segura de proteger seu investimento.

Quanto aos índices de *Treasury's* americanos os resultados dos testes de contágios não indicaram convergência para o mesmo ativo com maturidades distintas, ou seja, os títulos de curto, médio e longo prazo apresentaram contágio de maneira independente para diferentes ativos e período de tempo distinto. Uma explicação para isso, é que os títulos públicos com diferentes graus de maturidade são influenciados por diferentes ambientes macroeconômicos (Yang et al., 2018).

Choques como a Covid19, de impacto sistêmico, abre espaço para investigações mais abrangentes como o estudo de canais bancários, venda forçada de ativos e efeitos comportamentais. Em um contexto de proteção de portfólios de investimentos é interessante mapear ativos que contribuem para atenuar os impactos do contágio indireto, que são ativos comuns natural de diversificação (Cont & Schaanning, 2019) e, esse tipo de evento é comum observar remanejamento de grandes valores administrados por fundos, seja com o intuito de desalavancar ou reorganizar suas respectivas carteiras (Caccioli et al., 2024b; Coval & Stafford, 2007; Khandani & Lo, 2011), esse tipo de movimentação gera um sentimento de medo para outros *players*, principalmente para investidores pessoas físicas, gerando um sentimento de medo (Yuan et al., 2022) pois, de maneira geral foi possível observar nos resultados o impacto generalizado da transmissão de contágio.

Cabe salientar que os resultados devem ser encarados com parcimônia, uma vez que é necessário a continuidade da pesquisa relacionada à criptomoeda, não apenas para a bitcoin, a mais popular, mas também para outras criptomoedas que continuam ganhando popularidade ao longo dos anos. Quanto aos *Treasury's* há pouca evidência de estudos relacionados a títulos com baixa volatilidade e os resultados da pesquisa mostraram a importância da escolha com base em sua maturidade uma vez que a identificação do contágio não é igual para o mesmo título.

O estudo sugere além da continuidade das novas pesquisas com a abordagem no contágio financeiro, novas pesquisas relacionadas a hedge utilizando como ativos as criptomoedas e os *Treasury's* uma vez que podem contribuir para uma maior segurança na construção de portfólios.

5. CONCLUSÕES

A pesquisa apresentou quatro tipos diferentes de testes de contágio, baseados na troca de correlação (Forbes & Rigobon, 2002), na mudança de assimetria (Fry et al., 2010) e na mudança de

cocurtose e covolatilidade (Fry-McKibbin & Hsiao, 2018), também conhecida como teste de dependência extrema.

O dia 31 de dezembro de 2019, data do primeiro alerta recebido pela OMS de um novo coronavírus, foi determinado como o início da pandemia causada pelo Covid19. Foram estudados oito índices distribuídos entre índices de alta e baixa volatilidade, abrangendo o período de julho de 2019 até junho de 2020. Os resultados primários mostram que o teste de correlação evidenciou mais contágio em comparação com os testes de assimetria; na literatura, os resultados para esses dois tipos de testes são opostos.

Os resultados para os índices de criptomoeda e metais preciosos sugerem certa resiliência quanto a contágio, e para os índices de *Treasury's* americano as evidências mostraram que o contágio se comporta de forma diferente de acordo com a sua maturidade.

As descobertas podem contribuir para uma maior discussão nas escolhas relacionadas aos ativos de baixa volatilidade para a construção de um portfólio de investimentos, visto que títulos do tesouro americano são ativos amplamente utilizados na construção do mesmo e a transmissão de contágio é diferente para cada tipo de *Treasury* ao longo do tempo.

Quanto às criptomoedas, embora sejam ativos digitais cuja característica se destaca por sua alta volatilidade, a pesquisa mostrou uma janela de oportunidade relacionada a utilizar os ativos digitais para *hedge* em um portfólio. Pesquisas futuras são necessárias para a confirmação, mas sua resiliência para contágio pode ser um indicador. Uma segunda linha de pesquisa, surge no mapeamento e extensão do contágio financeiro através da comparação entre a crise do Covid19 com as outras crises existentes.

REFERÊNCIAS

- Abduraimova, K. (2022). Contagion and tail risk in complex financial networks. *Journal of Banking & Finance*, 143, 106560. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2022.106560>
- Akhtaruzzaman, M., Boubaker, S., & Sensoy, A. (2021). Financial contagion during COVID-19 crisis. *Finance Research Letters*, 38, 101604. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2020.101604>
- Apergis, N., Christou, C., & Kynigakis, I. (2019). Contagion across US and European financial markets: Evidence from the CDS markets. *Journal of International Money and Finance*, 96, 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.JIMONFIN.2019.04.006>
- Battiston, S., Puliga, M., Kaushik, R., Tasca, P., & Caldarelli, G. (2012). DebtRank: Too central to fail? Financial networks, the FED and systemic risk. *Scientific Reports*, 2. <https://doi.org/10.1038/srep00541>
- Bostanci, G., & Yilmaz, K. (2020). How connected is the global sovereign credit risk network? *Journal of Banking & Finance*, 113, 105761. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2020.105761>
- Bouri, E., Gupta, R., Tiwari, A. K., & Roubaud, D. (2017). Does Bitcoin hedge global uncertainty? Evidence from wavelet-based quantile-in-quantile regressions. *Finance Research Letters*, 23, 87–95. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2017.02.009>
- Brunnermeier, M. K., & Pedersen, L. H. (2009). Market liquidity and funding liquidity. *Review of Financial Studies*, 22(6), 2201–2238. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhn098>
- Caccioli, F., Ferrara, G., & Ramadiah, A. (2024a). Modelling fire sale contagion across banks and non-banks. *Journal of Financial Stability*, 71, 101231. <https://doi.org/10.1016/J.JFS.2024.101231>
- Caccioli, F., Ferrara, G., & Ramadiah, A. (2024b). Modelling fire sale contagion across banks and non-banks. *Journal of Financial Stability*, 71, 101231. <https://doi.org/10.1016/J.JFS.2024.101231>
- Choi, S. Y. (2022). Credit risk interdependence in global financial markets: Evidence from three regions using multiple and partial wavelet approaches. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 80, 101636. <https://doi.org/10.1016/J.INTFIN.2022.101636>

- Cont, R., & Schaanning, E. (2019). Monitoring indirect contagion. *Journal of Banking & Finance*, 104, 85–102. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2019.04.007>
- Corbet, S., Larkin, C., & Lucey, B. (2020). The contagion effects of the COVID-19 pandemic: Evidence from gold and cryptocurrencies. *Finance Research Letters*, 35, 101554. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2020.101554>
- Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018a). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, 165, 28–34. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2018.01.004>
- Corbet, S., Meegan, A., Larkin, C., Lucey, B., & Yarovaya, L. (2018b). Exploring the dynamic relationships between cryptocurrencies and other financial assets. *Economics Letters*, 165, 28–34. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2018.01.004>
- Coval, J., & Stafford, E. (2007). Asset fire sales (and purchases) in equity markets. *Journal of Financial Economics*, 86(2), 479–512. <https://doi.org/10.1016/J.JFINECO.2006.09.007>
- Da Gama Silva, P. V. J., Klotzle, M. C., Pinto, A. C. F., & Gomes, L. L. (2019). Herding behavior and contagion in the cryptocurrency market. *Journal of Behavioral and Experimental Finance*, 22, 41–50. <https://doi.org/10.1016/J.JBEF.2019.01.006>
- Dias, R., da Silva, J. V., & Dionísio, A. (2019). Financial markets of the LAC region: Does the crisis influence the financial integration? *International Review of Financial Analysis*, 63, 160–173. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2019.02.008>
- Doornik, J. A., & Hansen, H. (2008). An omnibus test for univariate and multivariate normality. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70(SUPPL. 1), 927–939. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00537.x>
- Forbes, K. J., & Rigobon, R. (2002). No Contagion, Only Interdependence: Measuring Stock Market Comovements. *The Journal of Finance*, *Doi:10.1111/0022-1082.00494*, 57(5), 2223–2261. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00494>
- Fry, R., Martin, V. L., & Tang, C. (2010). A new class of tests of contagion with applications. *Journal of Business and Economic Statistics*, 28(3), 423–437. <https://doi.org/10.1198/jbes.2010.06060>
- Fry-McKibbin, R., & Hsiao, C. Y. L. (2018). Extremal dependence tests for contagion. *Econometric Reviews*, 37(6), 626–649. <https://doi.org/10.1080/07474938.2015.1122270>
- Fry-McKibbin, R., Hsiao, C. Y. L., & Martin, V. L. (2018). Joint tests of contagion with applications. *Quantitative Finance*, 19(3), 473–490. <https://doi.org/10.1080/14697688.2018.1475747>
- Ganie, I. R., Wani, T. A., & Yadav, M. P. (2022). Impact of COVID-19 Outbreak on the Stock Market: An Evidence from Select Economies. *Business Perspectives and Research*. <https://doi.org/10.1177/22785337211073635>
- Grillini, S., Ozkan, A., & Sharma, A. (2022). Static and dynamic liquidity spillovers in the Eurozone: The role of financial contagion and the Covid-19 pandemic. *International Review of Financial Analysis*, 83, 102273. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2022.102273>
- Guo, X., Lu, F., & Wei, Y. (2021). Capture the contagion network of bitcoin – Evidence from pre and mid COVID-19. *Research in International Business and Finance*, 58, 101484. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2021.101484>
- Huang, W., Lan, C., Xu, Y., Zhang, Z., & Zeng, H. (2022). Does COVID-19 matter for systemic financial risks? Evidence from China's financial and real estate sectors. *Pacific-Basin Finance Journal*, 74, 101819. <https://doi.org/10.1016/J.PACFIN.2022.101819>
- Kahneman, D., & Tversky, A. (1979). Discussion On the interpretation of intuitive probability: A reply to Jonathan Cohen. In *Cognition* (Vol. 7).
- Khandani, A. E., & Lo, A. W. (2011). What happened to the quants in August 2007? Evidence from factors and transactions data. *Journal of Financial Markets*, 14(1), 1–46. <https://doi.org/10.1016/J.FINMAR.2010.07.005>

- Kim, N. (2016). A robustified Jarque–Bera test for multivariate normality. *Economics Letters*, 140, 48–52. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2016.01.007>
- King, M. A., & Wadhvani, S. (1990). Transmission of Volatility between Stock Markets. *The Review of Financial Studies*, 3(1), 5–33. <https://doi.org/doi.org/10.1093/rfs/3.1.5>
- Lai, Y., & Hu, Y. (2021). A study of systemic risk of global stock markets under COVID-19 based on complex financial networks. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 566, 125613. <https://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2020.125613>
- Lim, S. Y., & Choi, S. Y. (2024). Dynamic credit risk transmissions among global major industries: Evidence from the TVP-VAR spillover approach. *The North American Journal of Economics and Finance*, 74, 102251. <https://doi.org/10.1016/J.NAJEF.2024.102251>
- Meyer, E. A., Sandner, P., Cloutier, B., & Welpel, I. M. (2023). High on Bitcoin: Evidence of emotional contagion in the YouTube crypto influencer space. *Journal of Business Research*, 164, 113850. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2023.113850>
- Poti, V., & Wang, D. L. (2010). The coskewness puzzle. *Journal of Banking & Finance*, 34(8), 1827–1838. <https://doi.org/10.1016/J.JBANKFIN.2009.12.003>
- Sabkha, S., de Peretti, C., & Mezzez Hmaied, D. (2019). International risk spillover in sovereign credit markets: an empirical analysis. *Managerial Finance*, 45(8), 1020–1040. <https://doi.org/10.1108/MF-11-2017-0490>
- Shanaev, S., Sharma, S., Ghimire, B., & Shuraeva, A. (2020). Taming the blockchain beast? Regulatory implications for the cryptocurrency Market. *Research in International Business and Finance*, 51, 101080. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2019.101080>
- Smith, D. R. (2007). Conditional coskewness and asset pricing. *Journal of Empirical Finance*, 14(1), 91–119. <https://doi.org/10.1016/J.JEMPFIN.2006.04.004>
- Tamakoshi, G., & Hamori, S. (2016). Time-varying co-movements and volatility spillovers among financial sector CDS indexes in the UK. *Research in International Business and Finance*, 36, 288–296. <https://doi.org/10.1016/J.RIBAF.2015.09.027>
- Urquhart, A., & Zhang, H. (2019). Is Bitcoin a hedge or safe haven for currencies? An intraday analysis. *International Review of Financial Analysis*, 63, 49–57. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2019.02.009>
- Wang, H., Wang, X., Yin, S., & Ji, H. (2022). The asymmetric contagion effect between stock market and cryptocurrency market. *Finance Research Letters*, 46, 102345. <https://doi.org/10.1016/J.FRL.2021.102345>
- Yang, L., Yang, L., & Hamori, S. (2018). Determinants of dependence structures of sovereign credit default swap spreads between G7 and BRICS countries. *International Review of Financial Analysis*, 59, 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.06.001>
- Yuan, Y., Wang, H., & Jin, X. (2022). Pandemic-driven financial contagion and investor behavior: Evidence from the COVID-19. *International Review of Financial Analysis*, 83, 102315. <https://doi.org/10.1016/J.IRFA.2022.102315>
- Zhang, X., Wei, C., Lee, C. C., & Tian, Y. (2023). Systemic risk of Chinese financial institutions and asset price bubbles. *The North American Journal of Economics and Finance*, 64, 101880. <https://doi.org/10.1016/J.NAJEF.2023.101880>