

Inspira

Ciências Econômicas

Matheus Silveira Meyerfreund

Transferência de entropia entre os mercados acionários mundiais antes e durante a crise da
Covid-19

SÃO PAULO

2021

MATHEUS SILVEIRA MEYERFREUND

Transferência de entropia entre os mercados acionários mundiais antes e durante a crise da Covid-19

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Economia do Insper Instituto de Ensino e Pesquisa.

Orientador: Leonidas Sandoval Junior

SÃO PAULO

2021

Meyerfreund, Matheus S.

Transferência de entropia entre os mercados acionários mundiais antes e durante a crise da Covid-19

Matheus Silveira Meyerfreund. - São Paulo, 2022

22 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) – Insper, 2022

Orientador: Leonidas Sandoval Júnior

1. Crises Financeiras. 2. Coronavírus. 3. Correlação. 4. Transferência de entropia.
5. Risco sistêmico

Matheus Silveira Meyerfreund. II .Transferência de entropia entre os mercados acionários mundiais antes e durante a crise da Covid-19

MATHEUS SILVEIRA MEYERFREUND

Transferência de entropia entre os mercados acionários mundiais antes e durante a crise da Covid-19

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Ciências Econômicas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Economia do Insper Instituto de Ensino e Pesquisa.

Orientador: Leonidas Sandoval Junior

Banca Examinadora

Prof. Leonidas Sandoval Júnior

Insper

Profa. Adriana Bruscato Bertoluzzo

Insper

Agradecimentos:

À minha família que muito me apoiou nesta mudança para São Paulo e nos anos de graduação.

Aos meus amigos que fiz nessa caminhada e levarei para a vida.

Ao meu orientador, Leonidas, que muito me ajudou e me deu luz neste trabalho.

A todos os professores, que tive o prazer de adquirir conhecimento.

À minha namorada, Mariana Abrantes, essencial para a conclusão deste trabalho

Resumo:

O mundo está passando pelo final de uma das crises que o impactou em muitos fatores, dentre eles, o econômico, com milhões de pessoas no mundo sendo obrigadas a parar de trabalhar do dia para a noite, causando danos fortes para a economia mundial, pelo lado da oferta e da demanda.

O estudo em questão, que tem como foco o impacto da crise do coronavírus, que também será abordado como covid no texto, nos mercados acionários mundiais.

Utilizando dados dos retornos de 72 índices acionários de 72 países diferentes, foram feitas análises de como foi o mercado mundial se relacionava antes da crise da covid e durante ela. Para se fazer a análise foi utilizada a correlação, força do nó e transferência de entropia, além dos mapas de calores para auxiliar na visualização dos dados.

Com os resultados, encontramos evidências de que durante o período da crise, os países se relacionaram e transmitiram mais informações uns para os outros do que se comparado ao período anterior.

Palavras-chave: Crises Financeiras, Coronavírus, Correlação, Transferência de entropia, Risco sistêmico

Abstract:

The world is going through the end of one of the crises that has impacted it in many factors, among them the economic one, with millions of people in the world being forced to stop working overnight, causing strong damage to the world economy, on the supply and demand side.

The study in question, which focuses on the impact of the coronavirus crisis, which will also be addressed as a covid in the text, on world stock markets.

Using data from the returns of 72 stock indexes from 72 different countries, analysis were done of how the world market was relating before the covid crisis and during it. Correlation, node strength and entropy transfer were used to do the analysis, as well as heat maps to help visualize the data.

With the results, we found evidence that during the crisis period, countries related and transmitted more information to each other than compared to the previous period.

Keywords: Financial Crises, Coronavirus, Correlation, Entropy Transfer, Systemic Risk

Sumário

Objetivo	9
Introdução.....	10
Revisão de Literatura	11
Base de Dados	13
Apresentação da Metodologia	15
Resultados:	18
Conclusão:	27
Referências:	28

Objetivo

O principal objetivo do estudo em questão é analisar como os mercados financeiros mundiais interagem durante uma crise internacional, neste caso, a crise do novo coronavírus, que teve seu início em 2020. Utilizando transferência de entropia, poderemos observar como os mercados interagem no momento de grande volatilidade e incerteza e analisar quais são os mercados que mais causam impactos uns nos outros e se a transferência de informação é maior do que se comparada ao período anterior à crise.

Introdução

O mundo de hoje está cada vez mais interligado, com tecnologias fazendo com que as distâncias entre um ponto e outro do mundo pareçam estar mais curtas, com o fluxo de informações fluindo cada vez mais rápido e o comércio internacional crescendo cada vez mais. Essa mudança que vem ocorrendo década a década faz com que a importância de se entender como os países se conversam e o entendimento das interações da rede de conexões entre os países se torne cada vez maior.

As interações e as interdependências entre os países são de conhecimento de todos, mas se tornam ainda mais claras durante crises, com o risco sistêmico e o pessimismo se espalhando e contagiando países e seus setores econômicos. Os mercados financeiros são altamente impactados nas crises, e dentro deles tem uma grande quantidade de informações embutidas nos índices, preços e em suas respectivas variações.

Estudar como os mercados financeiros mundiais se conversam tem diversas importâncias, como entender mais sobre a dinâmica dos países e pelo alto fluxo financeiro que flui todo dia nas bolsas mundiais, e entendendo melhor o relacionamento delas pode ser de grande valia para decisões de investimento e por isso, é um tema bastante estudado na área de finanças.

Dentre os estudos dessa área, Leonidas e De Paula Franca (2012) estudaram a correlação dos mercados acionários mundiais nas crises de 1987 (Black-Monday), 1998 (crise da Rússia), 2001 (Bolha.com) e 2008 (Subprime) utilizando autovalores e autovetores. Como resultado, eles encontraram que durante períodos de alta volatilidade, os mercados apresentam uma correlação muito maior do que em comparação com períodos de menor turbulência.

Nos últimos anos, fomos surpreendidos e até o momento de escrita do trabalho, continuamos sendo surpreendidos com o novo coronavírus, que parou o mundo no ano de 2020 e foi o responsável pela última grande crise vista. O trabalho em questão tem um objetivo similar ao de Sandoval e De Paula Franca (2012), mas utilizando metodologias diferentes. Para fazer a análise de como os mercados mundiais se relacionam e como foram as transferências de informação no período anterior e durante a crise, irá ser utilizada a transferência de entropia de Shannon, que será melhor explicada mais adiante.

Revisão de Literatura

Como foi explicitado anteriormente, o principal tema do estudo em questão é entender como o mundo está conectado e como as informações são transmitidas entre os índices dos mercados acionários mundiais. Para isso, é necessário entender melhor como as crises se propagam entre os países e como as informações dos mercados que estão em fusos-horários diferentes se espalham.

Para analisar como os mercados interagem durante a crise do Subprime de 2008, Luchtenberg e Viet Vu (2015) estudaram o efeito contágio unidirecional e bidimensional entre os anos de 2003 e 2009, e encontraram que os Estados Unidos e mercados mais maduros são os principais mercados que transmitem e recebem o contágio e que os fatores que mais contribuem para o contágio internacional são os próprios fatores regionais, a estrutura do mercado e a aversão ao risco dos investidores.

Tendo como tema principal a crise do covid-19, Abuzayed, Bouri, Al-Fayoumi e Jalkh (2021) estudaram o risco sistêmico mundial por meio de VaR e GARCH e encontraram que o contágio do risco sistêmico entre não só as bolsas mundiais, mas como também em nível individual aumentou durante a crise da covid-19 e que mercados mais desenvolvidos, como os EUA e o da Europa recebiam e transmitiam mais risco do que se comparado aos menos desenvolvidos. Nesse mesmo tema, pode-se também citar o trabalho de Sandoval e De Paula Franca (2012), abordado na Introdução.

Entrando no segundo ponto, duas coisas que são muito abordadas quando se trata de estudos comparativos de mercados que atuam em horários diferentes são como eles se conversam e os efeitos que um dia em um causa no outro. Entrando nos estudos já realizados, encontramos uma certa divergência nos resultados encontrados, com alguns estudos encontrando clara transferência de informação entre os mercados e outros não.

Dentre alguns dos que não encontraram relação clara, temos o artigo de Eum e Shim (1989), que encontraram que os mercados acionários eram muito independentes uns dos outros, mas com os Estados Unidos sendo o mais influente, Kwapién (2006), em seu estudo, teve dificuldade de achar evidência de informação transmitida do mercado americano para o alemão.

Dentre estudos que encontraram algum tipo de relação entre bolsas mundiais, a maioria já aborda o assunto de como o dia de um mercado pode afetar o dia seguinte do outro, principalmente indo do Leste para o Oeste. Dentre eles, Lin (1994) encontrou que os retornos do mercado japonês tinham uma alta correlação com o retorno overnight dos EUA, Mian e Adam (2000) encontraram que o retorno da bolsa americana impacta o retorno do dia seguinte da bolsa australiana, Vandewalle (2000) coletou dados do Dow Jones, DAX e Nikkei e concluiu que, dependendo da hora de abertura do mercado, eles se influenciam.

Finalmente, para calcular a transferência de informação entre um mercado e outro, o principal trabalho que será usado como base é o de Schreiber (2000), essa transferência via transferência de entropia., que teve como base o artigo de Shannon (1948), que abordou o assunto de entropia no campo da teoria da informação. Não só utilizada no campo da teoria de informação, mas a entropia é uma ferramenta que é utilizada em diversos outros campos, como em finanças. Tendo como base para o artigo em questão, Sandoval (2017) utiliza a entropia de Shannon para medir a transferência de entropia entre 97 índices acionários mundiais entre os anos de 2000 e 2016. Nesse mesmo artigo, ele também aborda temas como a transferência de entropia efetiva e transferência de entropia efetiva defasada, temas que serão discutidos mais posteriormente.

Base de Dados

Para se conseguir medir a transferência de entropia entre os mercados acionários mundiais durante a crise da covid-19 e verificar se durante essa crise, especificamente, a transferência foi maior do que o no período pré-crise a base de dados vai ser composta pelo fechamento dos índices de 72 índices entre janeiro de 2018 e abril de 2022. Os respectivos dados serão coletados da plataforma Bloomberg. A seguir, os índices utilizados para os cálculos:

Tabela 1 - Índices da amostra

Índice	País	Continente
AEX	Holanda	Europa
AS51	Austrália	Oceania
ASE	Grécia	Europa
ATX	Áustria	Europa
BEL20	Bélgica	Europa
BELEX15	Sérvia	Europa
BET	Romênia	Europa
BGSMDC	Botswana	África
BHSEASI	Bahrain	Ásia
BLOM	Líbano	Ásia
BSX	Bermuda	América Central
BUX	Hungria	Europa
BVPSBVPS	Panamá	América Central
CAC	França	Europa América do
CCMP	Estados Unidos	Norte
CRO	Croácia	Europa
CSEALL	Sri Lanka	África
CYSMAPA	Chipre	Ásia
DAX	Alemanha	Europa
DSM	Qatar	Ásia
FBMKLCI	Malásia	Ásia
FSSTI	Singapura	Ásia
FTN098	Namíbia	África
FTSEMIB	Itália	Europa
GGSECI	Ghana	África
HEX	Finlândia	Europa
HSI	Hong Kong	Ásia
IBEX	Espanha	Europa
IBOV	Brasil	América do Sul
ICEXI	Islândia	Europa
IPSA	Chile	América do Sul
ISEQ	Irlanda	Europa

JALSH	África do Sul	África
JCI	Indonésia	Ásia
JMSMX	Jamaica	América Central
JOSMGNFF	Jordânia	Ásia
KFX	Dinamarca	Europa
KNSMIDX	Quênia	Europa
KOSPI	Coréia do Sul	Ásia
KSE100	Paquistão	Ásia
KZKAK	Cazaquistão	Ásia
MALTEX	Malta	Europa
MBI	Macedônia	Europa
MCS	Tailândia	Ásia
MERVAL	Argentina	América do Sul
		América do
MEXBOL	México	Norte
MSETOP	Mongólia	Ásia
MSM30	Oman	Ásia
NGSEINDX	Nigéria	África
NKY	Japão	Ásia
NZSE50FG	Nova Zelândia	Oceania
OBX	Noruega	Europa
OMX	Finlândia	Europa
PASISI	Palestina	Ásia
PCOMP	Filipinas	Ásia
PSI20	Portugal	Europa
	República	
PX	Tcheca	Europa
RIGSE	Letonia	Europa
SASEIDX	Arabia Saudita	Ásia
SASX10	Bósnia	Europa
SBITOP	Eslovenia	Europa
SEMDEX	Ilhas Maurício	África
SENSEX	Índia	Ásia
SHCOMP	China	Ásia
SKSM	Eslováquia	Europa
SOFIX	Bulgaria	Europa
		América do
SPTSX	Canadá	Norte
		América do
SPX	Estados Unidos	Norte
TA-25	Israel	Ásia
TALSE	Estônia	Europa
UGSINDX	Uganda	África
VILSE	Lituânia	Europa
WIG	Polônia	Europa

Apresentação da Metodologia:

Utilizando como base o trabalho de Sandoval (2014), que estuda qual a melhor maneira de comparar mercados acionários que operam em diferentes fusos-horários, serão analisados tanto os índices defasados quanto os não defasados, com base no NYSE. Assim como no paper, o NYSE será o benchmark principal por ser a bolsa de valores de maior relevância mundial e serão estudados tanto sem defasagem, tanto com uma defasagem de 1 dia. Isso porque, foi encontrado que mercados que seu horário de operação tem interseção com o S&P 500, os índices têm uma maior correlação quando não defasados, e para mercados que o horário de operação não tem interseção com o S&P 500, a correlação é maior se comparada ao dia anterior do S&P 500.

Ainda, para se ter menor perda de dados possível, que ocorreria dias que determinado mercado abre e outro não, foram retirados os dados dos mercados que abriram nos dias que o NYSE não, e a repetição do dia anterior dos respectivos mercados que abriram enquanto o NYSE não.

Definindo como será feita a análise, os logs retornos de cada índice serão calculados, via

$$R_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1}), \quad (1)$$

onde P_t é o fechamento de mercado de determinado índice no dia e P_{t-1} o fechamento do mesmo índice no dia anterior.

Após o cálculo do log retorno dos mercados, duas medidas principais serão calculadas: a correlação de Pearson, e a transferência de entropia, e com elas será possível construir uma rede de dependência entre os mercados antes e durante a crise do coronavírus, observando quais mercados transferem mais informações para o outro, seja pelo seu tamanho ou eventos que ocorreram durante o período analisado.

Iniciando pela Correlação de Pearson, temos:

$$C_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)(x_{jk} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{jk} - \bar{x}_j)^2}}. \quad (2)$$

Na respectiva fórmula, é o elemento k da série temporal das variáveis x_i e x_j , onde \bar{x}_i e \bar{x}_{ij} são suas respectivas médias

Com a correlação de Pearson calculada, conseguimos estabelecer se os índices acionários apresentam relação uns com os outros. De acordo com Sandoval (2017) esta não é a melhor maneira de medir causalidade ou influência de um mercado para outro, por conta do efeito de um mercado para outro não ser necessariamente simétrico. Para que a gente consiga medi-las de modo mais assertivo, iremos utilizar a transferência de entropia (TE) de Shannon (1948). Assumindo que a série temporal dos mercados acionários são uma cadeia de Markov, a transferência de entropia diz que a série temporal de uma variável X pode influenciar a série temporal de uma variável Y no futuro. Ou seja, a TE pode ser definida como a média de informação que uma série temporal X transfere para uma outra série temporal Y no futuro, podendo interferir em t+1, t+2, t+3... períodos a frente. Para o mercado financeiro, de acordo com Sandoval (2014), o único período que importa para influenciar o período corrente é o anterior, com os períodos sendo dias. Desse modo as fórmulas de transferência de entropia de uma série temporal X para uma Y, das séries não defasadas (TE) e defasadas (LTE), ficam

$$TE_{X \rightarrow Y} = \sum_{i_{n+1}, i_n, j_n} p(i_{n+1}, i_n, j_n) \log_2 \frac{p(i_{n+1} | i_n, j_n)}{p(i_{n+1} | i_n)} \quad (3)$$

$$LTE_{X \rightarrow Y} = \sum_{i_{n+1}, i_n, j_n} p(i_{n+1}, i_n, j_n) \log_2 \frac{p(i_{n+1} | i_n, j_{n-1})}{p(i_{n+1} | i_n)} \quad (4)$$

Finalmente, é possível construir as matrizes de transferência de entropia, mas um problema ainda tem que ser resolvido, que é a quantidade de ruído que uma matriz de TE apresenta. Para se tratar o problema, irá ser criada a matriz de transferência de entropia randomizada (TER), como Marschinski e Kantz (2002) fizeram para calcular a TE de séries temporais financeiras. Com o “embaralhamento” das séries temporais, vai ser quebrada as relações de causalidade das variáveis mantendo a distribuição de probabilidade dos logs retornos. Finalmente, subtraindo a TER de Y para X da TE de Y para X conseguimos chegar na transferência de entropia efetiva:

$$ETE_{X \rightarrow Y} = TE_{X \rightarrow Y} - TER_{X \rightarrow Y}. \quad (5)$$

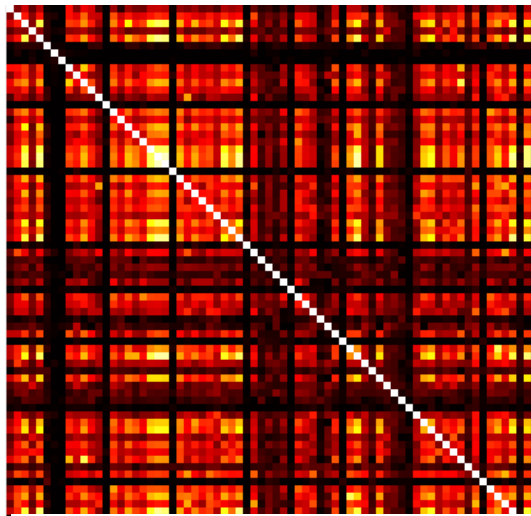
Com a transferência de entropia efetiva e a correlação calculadas, para ver como a dinâmica das relações unidimensionais e bidimensional dos mercados durante antes o período de crise da covid-19, será calculada a força de nó, baseado no trabalho de Newman (2010), com cada um sendo representado por um índice. Para o cálculo, temos:

$$NS_i = \sum_{j=1}^n C_{ij}, \quad (6)$$

onde n é o número total de nós da amostra e C_{ij} é a correlação observada entre os índices i e j , e desse modo NS_i representa o número de conexões que o determinado nó possui, que também pode ser interpretado pela força de cada nó.

Resultados:

Primeiramente, para se ter uma compreensão inicial de como os índices mundiais estão relacionados, foi construída um mapa de calor dos logs retornos de todo o período analisado, com as cores mais claras representando uma correlação mais forte entre os índices e as mais escuras uma correlação mais fraca.



*Figura 1 - Correlação no período total
Fonte: Elaborado pelo autor*

Agora, foram feitos dois mapas de calores para dois períodos distintos, antes da covid-19, considerado o período de janeiro de 2018 até o final de fevereiro de 2020 e durante o coronavírus, sendo considerado o período de março de 2020 até abril de 2022. Observando os mapas, é notável que a correlação durante o período do coronavírus aumentou consideravelmente, resultado em linha com o esperado, com o aumento do risco sistêmico no período fazendo com que a correlação entre os índices aumentasse.

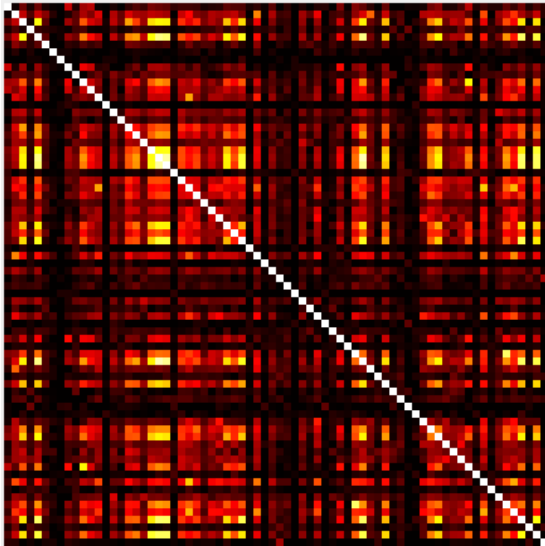


Figura 2 - Correlação dos índices antes do covid-19.

Fonte: Elaborado pelo autor

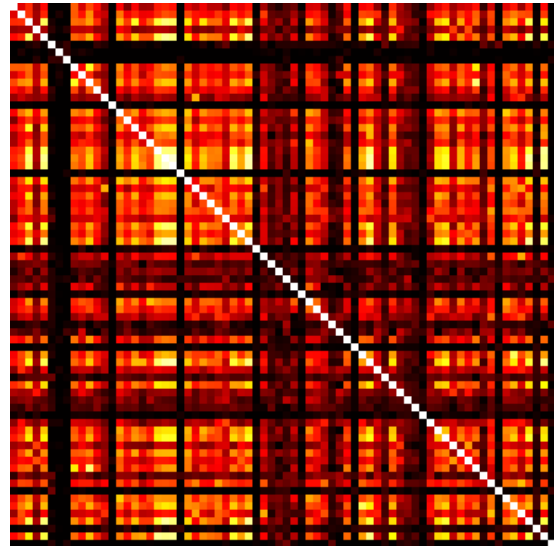


Figura 3 - Correlação dos índices no período do covid-19.

Fonte: Elaborado pelo autor

Entrando em maiores detalhes dos motivos que de a correlação ter aumentado, quando os países começaram a sofrer os efeitos da pandemia e lockdowns começaram a ser impostos, a incerteza quanto ao que iria acontecer estava muito alta e a economia sofreu bastante com a diminuição com uma contração da demanda e da oferta, já que muitas das pessoas deixaram de trabalhar, ocasionando em produção de bens e serviços menor, a cadeia logística se deteriorasse e a renda da população diminuísse, sendo motivos para que todos os mercados desabassem. Ainda mais, os mercados acionários reagiam de modo muito similar a qualquer nova notícia que vinha a se tornar pública, com notícias de novas variantes fazendo os mercados desabarem, aumentando a preocupação de que os lockdowns poderiam durar mais e a economia demorasse mais tempo para voltar a normalidade e notícias sobre o avanço das vacinas tendo um efeito positivo em todos os mercados.

Os governos também tiveram uma grande influência na economia durante o período, com expansões fiscais para dar suporte aos cidadãos que perderam suas rendas, ajudando a fazer a economia girar e com os bancos centrais mundiais oferecendo muita liquidez no mercado e mantendo a taxa de juros baixa. Desse modo, as ações dos governos atrelada com as novas informações sobre a doença fez com que todos os mercados andassem em direções muito

similares, fazendo com que a correlação entre os mercados mundiais fosse substancialmente maior se comparada ao período pré-covid.

Após o cálculo da correlação nos períodos, para entender melhor como os índices se conversam a primeira análise feita foi o cálculo da força do nó nas séries não defasadas, com o intuito de ver a força das relações bidimensionais de um determinado índice com o resto da amostra. Com elas calculadas, foram encontrados que para os períodos de antes e depois da covid, os índices de países europeus foram os que mais se relacionaram com os outros índices dos outros países da amostra. Abaixo, o resultado do período anterior ao coronavírus:

**Tabela 2 - Países com maior relação bidimensional
- Pré Covid**

Índice	País	Força do nó
AEX	Holanda	22,969
BEL20	Bélgia	22,794
CAC	França	22,618
DAX	Alemanha	21,707
OMX	Finlândia	21,223

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados acima também estão de acordo com o esperado por conta do peso dos países no mercado acionário como um todo, com todos os 33 índices tendo um valor de mercado de 14,2 trilhões de dólares em 2021 de acordo com dados da WFE e da FESE. Mesmo não sendo o maior mercado, estando atrás do Estados Unidos que tem o valor de 38 trilhões de dólares, o fato de terem muitos índices europeus no mercado acionário e os países terem aspectos econômicos similares, os índices agem quase que como bloco, apresentando uma alta correlação entre eles. Como os países do continente em questão são muito próximos, são geograficamente pequenos em área e apresentam uma infraestrutura de qualidade, as trocas e acordos comerciais são facilitados, ocasionando em uma economia ainda mais interdependente. Ainda mais, na Europa se tem o bloco econômico mais forte e maduro do mundo, com os países de dentro dele tendo preferência para a realização de acordos comerciais, por conta da livre circulação de bens, eles também têm a mesma moeda, estando expostos a mesma depreciação ou apreciação da moeda e um banco central em comum. Todas essas características da economia europeia fazem com que a relação econômica entre os países se intensifique ainda mais e qualquer evento que ocorra em algum país do bloco cause

um contágio maior nos países da proximidade, impactando diretamente também a bolsa de valores deles e sendo um possível motivo para o resultado exposto acima.

Após analisar as relações bidimensionais no período anterior à crise, foi analisado essa relação no período da crise:

Tabela 3 - Países com maior relação bidimensional - Covid

Índice	País	Força do nó
CAC	Bélgica	30,394
DAX	Alemanha	29,652
HEX	Finlândia	29,539
ATX	Áustria	29,359
FTSEMIB	Itália	29,310
BEL20	Bélgica	29,096

Fonte: Elaborado pelo autor

Olhando para esta relação bidimensional durante a covid-19, a relação fica aparentemente ainda mais forte na crise, novamente em linha com a ideia de que em tempos de alta volatilidade nos mercados, a correlação entre os ativos e índices tendem a aumentar. Na Europa, especificamente, o Banco Central Europeu, que com o pandemic emergency purchase programme (PEPP) injetou quase 2 trilhões de euros, visando aumentar a concessão de crédito na zona do euro e ajudar empresas e cidadãos a ter liquidez para superar a crise e a própria União Europeia também realizava compras de vacinas, que eram distribuídas entre os países do bloco, diminuindo alguma assimetria e sendo outro exemplo do porquê os mercados se relacionaram de maneira similar.

Após analisar o relacionamento bidimensional dos índices, foram feitas as análises das séries defasadas, comparando o os logs retornos dos índices de um dia com os logs retornos do outro dia, e com isso foi possível ver quais índices recebiam e transmitiam uma maior quantidade de informação para o outro, ou seja, quais eram os países mais influentes e quais eram os mais influenciados, com a tabela abaixo mostrando estes resultados para os períodos analisados:

Tabela 4 - Países que mais sofreram influência - Pré Covid

Índice	País	Força do nó
AS51	Austrália	9,839
NKY	Japão	8,698
NZSE50FG	Nova Zelândia	8,496
FSSTI	Singapura	7,557
KOSPI	Coréia do Sul	7,157

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 - Países que mais influenciaram - Pré Covid

Índice	País	Força do nó
SPX	Estados Unidos	13,076
SPTSX	Canadá	10,751
BEL20	Bélgica	8,727
IBOV	Brasil	8,674
CAC	França	8,044

Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando o período pré-covid da amostra, se tem evidências de que os Estados Unidos é o país que mais influencia o retorno dos índices acionários do dia seguinte dos outros países, em linha com o trabalho de Viet Vu (2015) e Eum e Shim (1989). Existem duas hipóteses que corroboram com essa ideia, a primeira é o fato do mercado americano ser o mais relevante de todos, sendo o de maior valor de mercado e mais maduro, além dos Estados Unidos ser grande parceiro comercial de diversos outros países.

Observando agora os países que foram os mais influenciados, é notável a presença de países que se localizam mais para o Oeste do globo, com o primeiro sendo o índice das Ilhas Maurício, seguido do da Nova Zelândia, Japão e Malásia. Esses dados corroboram com a segunda hipótese, de que o fluxo de informação dos mercados de capitais segue a direção do Leste para o Oeste, de maneira similar a resultados de outros estudos como o de Vandewalle (2000) e Lin (1994).

Tabela 6 - Países que mais sofreram influência - Covid

Índice	País	Força do nó
SEMDEX	Ilhas Maurício	12,078
BELEX15	Sérvia	9,591
NZSE50FG	Nova Zelândia	9,177
MALTEX	Malta	9,162
FBMKLCI	Malásia	8,768

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7 - Países que mais influenciaram - Covid

Índice	País	Força do nó
NKY	Japão	6,317
MEXBOL	México	6,189
PX	República Tcheca	5,807
SPX	Estados Unidos	5,794
HEX	Finlândia	4,799

Fonte: Elaborado pelo autor

Quando olhamos para o período da amostra quando o coronavírus ocorreu, chegamos em resultados diferentes do esperado, com o Japão aparecendo como o país que mais transmite informação para os outros da amostra, contraintuitivo com o que foi discutido anteriormente, pelo tamanho do mercado japonês e pela questão do fuso-horário, com o Japão estando horas a frente de países como os Estados Unidos e do continente Europeu, mercados com capitalização muito maior.

Observando a tabela dos índices que mais sofreram influência dos logs retornos do dia anterior dos outros mercados os resultados estão mais de acordo com o esperado e o que foi encontrado na análise anterior, com países como Ilhas Maurício, Nova Zelândia e Malásia presentes no topo, além de Malta e Sérvia.

Agora, fazendo as análises com a metodologia da transferência de entropia, também foram construídos mapas de calores para as séries defasadas da transferência de entropia efetiva.

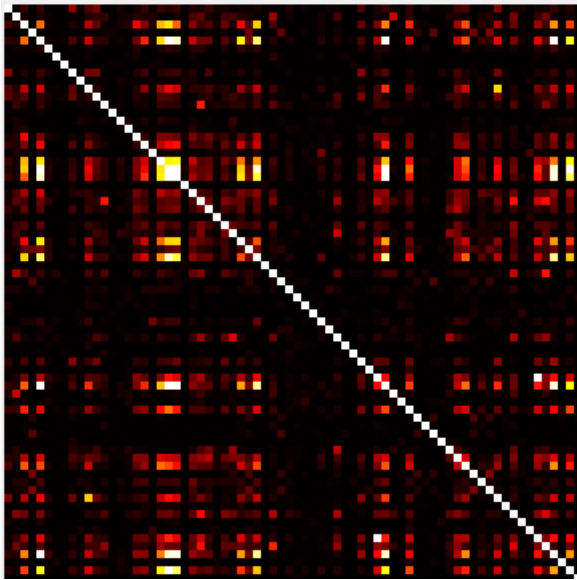


Figura 4 – Transferência de Entropia Efetiva defasada dos índices antes do covid-19.
 Fonte: Elaborado pelo autor

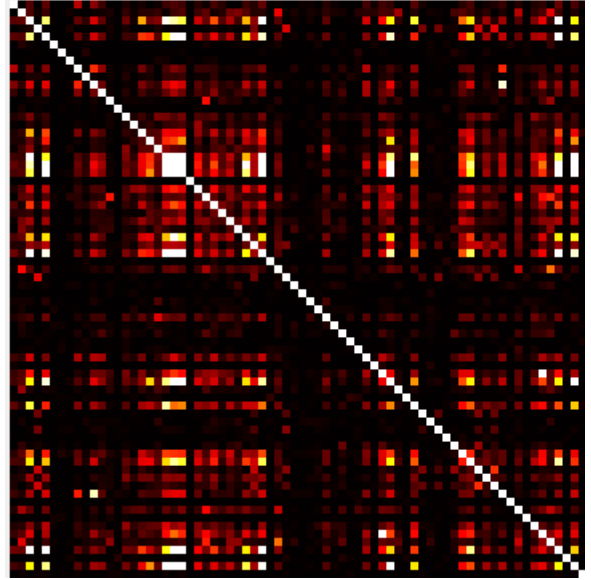


Figura 3 – Transferência de Entropia Efetiva defasada dos índices no período do covid-19.
 Fonte: Elaborado pelo autor

Mais uma vez, agora utilizando a transferência de entropia efetiva, o resultado encontrado é similar ao encontrado utilizando a correlação, com a transferência de informações entre um mercado e outro sendo maior durante o período de crise. Porém, ao se medir as forças dos nós, para ver como os mercados conversaram uns com os outros, os resultados foram muito diferentes, como mostram as tabelas a seguir:

Tabela 8 - Países que mais influenciaram (via ETE) - Covid

Índice	País	Força do Nó
CAC	França	5,847
DAX	Alemanha	5,767
FTSEMIB	Itália	5,352
IBEX	Espanha	5,205
HEX	Finlândia	5,119

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 9 - Países que mais sofreram influência (via ETE) - Covid

Índice	País	Força do Nó
CAC	França	5,797
DAX	Alemanha	5,747
FTSEMIB	Itália	5,371
AEX	Holanda	5,150
IBEX	Espanha	5,140

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 10 - Países que mais influenciaram (via ETE) - Pré Covid

Índice	País	Força do Nó
CAC	França	5,234
AEX	Holanda	5,095
DAX	Alemanha	4,904
BEL20	Bélgica	4,877
IBEX	Espanha	4,651

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 11 - Países que mais sofreram influência (via ETE) - Covid

Índice	País	Força do Nó
CAC	França	5,248
AEX	Holanda	5,084
DAX	Alemanha	4,959
BEL20	Bélgica	4,837
IBEX	Espanha	4,572

Fonte: Elaborado pelo autor

Utilizando a Transferência de Entropia foi encontrado que os países que mais transmitem formação para o próximo dia do outro e os que mais recebem, foram ambos, países europeus, tanto para o período anterior ao coronavírus, quanto para o período dele. O resultado, mesmo que inicialmente possa parecer contraintuitivo, da força para a ideia de que os índices do continente agem como se fosse um bloco, com cada um dos países transferindo informações e recebendo informações uns dos outros. Além disso, por serem quase que os mesmos índices

ocupando as 5 primeiras posições, este resultando também pode mostrar como o retorno do índice do dia anterior pode ter impacto no dia vigente dos mercados.

Conclusão:

Tendo como proposta estudar como os mercados acionários mundiais se comportaram antes e durante a crise do coronavírus, utilizando ferramentas estatísticas para isso, como correlação, força dos nós e transferência de entropia. Com o auxílio dessas ferramentas, o foco do trabalho foi verificar se a relação e a transferência de informação entre os países foi maior durante o período de crise vivenciado e como as relações entre os países eram no período analisado e se tiveram alguma alteração nos períodos pré e pós crise.

A partir de estudos utilizando as ferramentas citadas anteriormente e com a utilização de mapas de calor para auxílio, do mesmo modo que a teoria econômica e estudos sobre o tema sugerem, foi encontrado que durante o período da crise do coronavírus, em que observamos alta volatilidade, a relação entre os mercados foi maior. Utilizando tanto a correlação, quanto a transferência de entropia, os resultados encontrados chegavam na mesma conclusão, de que os mercados se relacionam de maneira mais forte em crise se comparado ao período sem.

Sobre como os índices acionários se conversam durante o período que anteviu a crise e o da crise, os resultados dos países que mais recebem informação utilizando a força dos nós pela correlação foi de acordo com o esperado, com a presença forte de países da Oceania e da Ásia, corroborando com a hipótese do impacto do fuso-horário na análise. Sobre os países que mais transmitem informação, para o período anterior a crise, o resultado encontrado foi de que o índice dos Estados Unidos foi o país que mais transmitiu informação e para o período da crise o resultado encontrado foi índice o Japão, contraintuitivo tanto pelo tamanho, tanto pela sua localização, sendo necessário fazer uma análise mais profunda com maior granularidade para se entender melhor como é foram as relações do Nikkei com os outros da amostra, que poderia ser feito com redes complexas.

Além disso, foi possível observar como os índices dos mercados europeus agem de modo muito similar uns com outros. Os resultados encontrados mostraram que eles são os países com maior relação bidimensional e os que mais transferem entropia, mostrando como os índices dos agem como se fosse um bloco, o que pode ser explicado pela proximidade dos países e do impacto da Zona do Euro.

Referências:

- SANDOVAL, Leonidas. To lag or not to lag? How to compare indices of stock markets that operate on different time. **Physica A**, [S. l.], p. Physica A 403, 227-243, 2014
- SANDOVAL, Leonidas; DE PAULA FRANCA, Italo. Correlation of financial markets in times of crisis. **Physica A**, [S. l.], p. Physica A391(1-2), 187-208, 2012
- KIMBERLY, F.; VU, Luchtenberg. The 2008 financial crisis: Stock market contagion and its determinants. **Research in International Business and Finance**, [S. l.], p. 15-17, 2015.
- ABUZAYED, Bana; BOURI, Elie; AL-FAYOUMI, Nedal; JALKH, Naji. Systemic risk spillover across global and country stock markets during the COVID-19 pandemic. **Economic Analysis and Policy**, [S. l.], p. 180-197, 2021.
- EUN, Cheol; SHIM, Sangdal. International transmission of stock market movements. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, [S. l.], p. 24, 241-256, 1989
- LIN, Wen-Ling; ENGLE, Robert; ITO, Takatoshi. Do bulls and bears move across borders? International transmission of stock returns and volatility. **Review of Financial Studies**, [S. l.], p. 507-538, 1994
- MIAN, Mujtaba; ADAM, Christopher. Does more market-wide information originate while an exchange is open: some anomalous evidence from the ASX. **Australian Journal of Management**, [S. l.], p. 339-352, 2000
- MANTEGNA, Rosario; VANDEWALLE, Nicolas; BONANNO, Giovanni. Taxonomy of stock market indices. **Physical Review**, [S. l.], p. 615-618, 2000
- SHANNON, Claude. A mathematical theory of communication. **Bell System Technical Journal**, [S. l.], p. 379-423, 623-656, 1948
- MARSCHINSKI, R; KANTZ, H. Analysing the information flow between financial time series – an improved estimator for transfer entropy. **European Physical Journal**, [S. l.], p. 275-281, 2002.
- NEWMAN, M. E. J. . Networks: An Introduction. **Oxford University Press**, 2014
- SANDOVAL, Leonidas. Networks of log returns and volatilities of international stock market indexes. **The journal of network theory in finance**, [S. l.], p. 3, p. 41-82, 2017

