



CIÊNCIAS EMPRESARIAIS

ESCOLA SUPERIOR
POLITÉCNICO SETÚBAL

KEYLA
BARBOSA
DE OLIVEIRA

"IMPACTO DOS EVENTOS GLOBAIS NA FORMAÇÃO DE PREÇOS DOS METAIS PRECIOSOS E ÍNDICES DE ENERGIA VERDE: UMA ANÁLISE DOS PERÍODOS DE 2018 A 2023"

Relatório de Dissertação de Investigação do
Mestrado em Contabilidade e Finanças

ORIENTADOR

Professor Doutor Rui Manuel Teixeira Santos Dias

Novembro, 2024

KEYLA
BARBOSA
DE OLIVEIRA

**"IMPACTO DOS EVENTOS
GLOBAIS NA FORMAÇÃO DE
PREÇOS DOS METAIS PRECIOSOS
E ÍNDICES DE ENERGIA VERDE:
UMA ANÁLISE DOS PERÍODOS DE
2018 A 2023"**

JÚRI

Presidente: Prof. Coordenador Nuno Miguel Delicado Teixeira

Orientador: Prof. Doutor Rui Manuel Teixeira Santos Dias

Vogal Arguente: Prof.^a Adjunta Convidada Rosa Maria Morgado Galvão

Novembro, 2024

Agradecimentos

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pelo dom da vida e pela orientação constante ao longo desta jornada. A Sua sabedoria e força deram-me inspiração e coragem para superar desafios. Sou grata pelos momentos de clareza e tranquilidade, essenciais para a realização desta dissertação.

Ao Instituto Politécnico de Setúbal, agradeço pelo ambiente académico enriquecedor e estimulante. Sou especialmente grata aos meus professores da licenciatura, cujos ensinamentos criaram a base sólida para o desenvolvimento do meu conhecimento e capacidades, sendo cruciais para a conclusão bem-sucedida deste trabalho.

Ao meu professor e orientador, doutor Rui Manuel Teixeira Santos Dias, sou imensamente grata pela orientação essencial na realização desta dissertação. O seu apoio, incentivo e dedicação foram fundamentais em cada etapa deste percurso, e sua capacidade de inspirar e guiar não apenas moldou este trabalho, mas também contribuiu significativamente para o meu desenvolvimento académico e pessoal.

À minha mãe, guardiã e grande incentivadora dos meus estudos, agradeço pelas orações nas madrugadas, pedindo a Deus força e proteção.

Ao meu irmão Charles e, especialmente, à minha irmã Charla, agradeço pelo apoio e encorajamento constante. A sua presença e compreensão foram fundamentais para a minha jornada, ajudando-me a superar desafios e alcançar meus objetivos.

Ao meu amado filho, minha eterna fonte de luz e inspiração, cuja presença transformou a minha vida desde o seu nascimento, agradeço com toda a profundidade do meu ser. Em ti, encontrei a força para seguir adiante e a coragem para superar os obstáculos. A tua presença iluminou os dias mais desafiadores e encheu meu coração de esperança. O meu maior desejo é ser para ti um exemplo de dedicação e perseverança, mostrando que, com amor verdadeiro e esforço sincero, os nossos sonhos podem florescer e os desafios podem transformar-se em vitórias.

Muito obrigada.

Resumo

Esta investigação tem como objetivo examinar o comportamento da formação dos preços dos metais preciosos (Ouro, Prata e Platina) e dos índices ecológicos (Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy, WilderHill Clean Energy) nos diferentes períodos económicos de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. O estudo procura responder as questões: i) "Os eventos ocorridos em 2020 e 2022 tiveram impacto nos preços dos índices de energia verde?" ii) Se sim, "os metais preciosos (Ouro, Prata e Platina) podem ser usados como estratégias de cobertura financeira para gerir riscos no mercado de energias verdes durante a pandemia da COVID-19 e a crise geopolítica?" Para o efeito, foi estimado o modelo VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald com o propósito de identificar diferentes padrões de influência em cada período. De forma adicional, foi aplicado o modelo de Detrended Fluctuation Analysis (DFA) para obter uma visão mais precisa das correlações entre as variáveis analisadas. Os resultados mostram que, no período de estabilidade, o Ouro e os índices de energia verde a apresentar eficiência de mercado. No entanto, a pandemia global causou (in) eficiências nos mercados analisados, tanto os metais preciosos quanto os índices de ecológicos exibiram persistência nas rentabilidades. No período Pré-Conflito, a rejeição da hipótese de Random Walk foi observada em todos os mercados, com os metais preciosos a exibir antipersistência, enquanto os índices de energia verde demonstraram persistência significativa, e posteriormente, ambos os mercados convergiram para persistência nas rentabilidades, com exceção da Platina, que mostrou antipersistência. Para concluir, os resultados indicaram variações nas interações entre os ativos ao longo dos diferentes contextos económicos, evidenciando a importância de compreender essas dinâmicas para uma tomada de decisão mais informada.

Palavras-chave: Eventos de 2020 e 2022; metais preciosos; energias verdes; integração financeira.

JEL Classificação: C01, C32, C38, G10, G11, G14, Q42

Abstract

This investigation aims to examine the behavior of the price formation behavior of precious metals (Gold, Silver, and Platinum) and ecological indexes (Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy, WilderHill Clean Energy) during different economic periods from January 1st, 2018, to November 23rd, 2023. The study seeks to answer the questions: i) "Did the events that occurred in 2020 and 2022 had impact on the prices of clean energy indexes?" ii) If yes, "can precious metals (Gold, Silver, and Platinum) be used as financial hedging strategies to manage risks in the clean energy market during the COVID-19 pandemic and the geopolitical crisis?" For this purpose, the VAR Granger Causality/Test Wald model was estimated to identify different influence patterns in each period. Additionally, the Detrended Fluctuation Analysis (DFA) model was applied to obtain a more accurate view of the correlations between the analyzed variables. The results showed that during the stability period, Gold and green energy indexes exhibit market efficiency. However, the global pandemic caused (in)efficiencies in the analyzed markets, with precious metals and ecological indices exhibiting persistence in returns. In the Pre-Conflict period, the rejection of the Random Walk hypothesis was observed in all markets. The precious metals exhibited anti-persistence, while clean energy indices demonstrated significant persistence. Subsequently, both markets converged to return persistence, except for Platinum, which showed anti-persistence. In conclusion, the results pointed out variations in the interactions between assets across different economic contexts, highlighting the importance of understanding these dynamics for a more informed decision-making.

Keywords: *Events of 2020 and 2022; precious metals; clean energy; financial integration.*

JEL Classification: C01, C32, C38, G10, G11, G14, Q42

Índice

Resumo.....	II
Abstract	III
Índice de Figuras	VI
Índice de Tabelas.....	VII
Lista de Abreviatura	VIII
Introdução	1
Fundamentação do tema.....	1
Fundamentação dos mercados selecionados.....	2
Justificação do período do estudo.....	4
Objetivos desta investigação	4
Pertinência e respetivos contributos académicos e profissionais.....	5
Estrutura.....	7
Capítulo I: Revisão da literatura	7
1.1. Introdução teórica.....	7
1.2. Evidências empíricas sobre a integração entre os mercados financeiros.....	8
1.2.1. Evidências sobre os mercados de ações.....	8
1.2.2. Estudos Relacionados sobre a integração nos mercados financeiros.....	9
Capítulo II: Dados e Metodologia	11
2.1. Dados	11
2.2. Metodologia	12
2.3. Caracterização da amostra.....	14
2.4. Medidas de estatística descritiva	15
2.5. Teste de aderência de Jarque e Bera (1980).....	16
2.6. Diagnóstico de estacionariedade das séries temporais	16
2.7. Testes de raiz unitária em painel.....	18
2.8. Teste de cointegração - Granger	21
2.9. Detrended Fluctuation Analysis αDFA	22
Capítulo III: Resultados e Discussão	24
3.1. Caracterização da amostra.....	24
3.2. Estatística descritiva	25
3.3. Diagnóstico	31
3.3.1. Estacionariedade das Séries Temporais	31
3.3.2. Teste de Dickey-Fuller.....	32
3.3.3. Teste VAR Granger Causality	35
3.3.4. Teste do expoente da Detrended Fluctuation Analysis (DFA): Análise Global.....	40
Capítulo IV: Conclusões	43

Implicações práticas	45
Limitações e sugestões para futuras investigações	46
Linhas de investigação futuras	46
<i>Referências Bibliográficas</i>	<i>XLVII</i>

Índice de Figuras

Figura 1: Deslocação local no algoritmo DFA	23
Figura 2: Evolução, em rentabilidades, dos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	25
Figura 3: Gráficos de quantis, em rentabilidades, relativos aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	27
Figura 4: Evolução das rentabilidades médias relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	28
Figura 5: Evolução dos desvios-padrão, relativos aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	29
Figura 6: Evolução das assimetrias, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023	30
Figura 7: Evolução das curtoses, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	31
Figura 8: Teste de raiz unitária, com quebras estruturais de Clemente, em rentabilidades aplicadas às séries temporais, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	33

Índice de Tabelas

Tabela 1: Países e respetivos índices	12
Tabela 2: Síntese das características dos testes de raiz unitária.....	21
Tabela 3: Detrended Fluctuation Analysis αDFA	23
Tabela 4: Quadro resumo das estatísticas, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.	26
Tabela 5: Quadro resumo dos testes de estacionariedade aplicados às séries temporais, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.....	32
Tabela 6: Teste de VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o período Tranquilo.....	36
Tabela 7: Teste de VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o período da pandemia Covid-19	37
Tabela 8: Teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o subperíodo de Pré-Conflito	38
Tabela 9: Teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o subperíodo de conflito.....	39
Tabela 10: Expoente de DFA para as rentabilidades, no período Tranquilo e da Pandemia de 2020 Os valores de ajustamentos lineares tiveram $R^2 > 0.99$	41
Tabela 11: Expoente DFA para as rentabilidades, no período de conflito. Os valores de ajustamentos lineares tiveram $R^2 > 0.99$	43

Lista de Abreviatura

ADF	Dickey-Fuller Aumentado.
ARCH	Heteroscedasticidade condicional autorregressiva.
ASEAN	Associação das Nações do Sudeste Asiático.
BRICS	Grupo de países de mercado emergente formado por Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul.
DFA	Análise de Flutuação sem Tendência.
FAANA	Grupo de empresas formado por Meta (antigo Facebook), Apple, Amazon, Netflix e Alphabet (Google).
G7	Grupo de países mais industrializados do mundo, composto por: Alemanha, Canadá, Estados Unidos, França, Itália, Japão e Reino Unido.
GARCH	Heteroscedasticidade condicional autorregressiva generalizada.
JB	Jarque e Bera.
K	Curtoses.
LLC	Levin, Lin e Chu.
LM	Multiplicador de Lagrange.
MENA	Grupo de países das regiões do Médio Oriente e Norte de África.
MGARCH	Estima os Parâmetros de Heteroscedasticidade Condicional Autorregressiva Generalizada Multivariada.
NASDAQ	Sistema de Cotação Automatizada da Associação Nacional de Corretores de Títulos.
OPEP	Organização de Países Exportadores de Petróleo.
SK	Coeficiente de Assimetria
VAR	Modelos Autorregressivos Vetoriais
WTI	West Texas Intermediate (uma categoria de petróleo bruto)

Introdução

Ao longo dos últimos dois séculos, o petróleo, o carvão e o gás natural desempenharam um papel crucial no desenvolvimento económico e industrial. A Revolução Industrial, que começou no final do século XVIII e se estendeu pelo século XIX, foi amplamente impulsionada por esses recursos energéticos. Por exemplo, locomotivas e fábricas eram movidas a carvão, enquanto o petróleo e o gás natural eram essenciais para a produção de energia e para a indústria petroquímica. Embora esses combustíveis fósseis tenham contribuído significativamente para o crescimento económico, também são altamente poluentes e têm impactos ambientais graves, como as alterações climáticas. Isso tem levado a uma crescente preocupação com a sustentabilidade desse modelo económico. Em resposta, o foco global tem sido dirigido para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a transição para fontes de energia verde, como a solar, a eólica, a hidroelétrica e a geotérmica. Essa mudança tem impulsionado investimentos em tecnologias renováveis, tornando a energia verde num fator-chave para o crescimento económico sustentável (Dias, Teixeira *et al*, 2023; Dias, Horta *et al*, 2023).

O setor de energias verdes tem desempenhado um papel significativo no desenvolvimento económico. O aparecimento de ações relacionadas com a energia verde como uma nova classe de ativos tem atraído a atenção de investidores, profissionais e académicos. No entanto, investir em ações desse setor não está isento de riscos, o que torna essencial considerar ativos de cobertura adequados, como metais preciosos, especificamente Ouro e Prata, que oferecem proteção contra movimentos negativos no mercado de ações internacional. Em 2004, foi criado o Índice WilderHill Clean Energy, que acompanha o desempenho das empresas envolvidas em tecnologia verde, destacando a importância crescente desse setor. Este índice serve como um guia para investidores interessados em energias renováveis e reflete o desempenho de empresas nos setores solar, eólico e de biocombustíveis. Dito isso, é possível argumentar sobre a conexão entre os indicadores de eficiência energética e os metais preciosos, especialmente em termos de alocação e gestão de riscos (Elie *et al*, 2019 Dias, Horta *et al*, 2023; Dias, Teixeira *et al*, 2023 Mohamad e Fromentin, 2023; Wang *et al*, 2023; Zeng *et al*, 2023).

Fundamentação do tema

Além disso, Hillier *et al*, (2012) defendem que a diversificação permite que gestores de carteiras e investidores individuais equilibrem os seus investimentos entre diferentes títulos, reduzindo assim o risco geral do portfólio.

Conforme a teoria proposta por Markowitz, (1952), a diversificação pode diminuir o risco não sistemático. Para investidores internacionais, construir uma carteira com ativos de diferentes países pode ser uma estratégia eficaz para mitigar riscos. O autor Markowitz argumenta que, ao diversificar, ou seja, investir em diversos tipos de ativos com características distintas, os investidores podem compensar perdas potenciais em alguns mercados com ganhos em outros. De forma complementar, os autores Fabozzi *et al*, (2002) apontam que investir em ativos semelhantes e complementares pode ser arriscado, pois a desvalorização de um grupo de ativos pode afetar negativamente o portfólio como um todo. Também, neste sentido, os autores Hillier *et al*, (2012) defendem que a diversificação permite que gestores de carteiras e investidores individuais equilibrem seus investimentos entre diferentes títulos, reduzindo assim o risco geral do portfólio.

Diante do exposto e conforme os estudos de Tahai *et al*, (2004), entender o grau de correlação entre ativos e avaliar o nível de integração financeira entre mercados pode ajudar os investidores a diversificar melhor seus ativos, reduzindo riscos e aumentando a rentabilidade. A análise dessa integração permite identificar se os ativos apresentam rendimentos semelhantes em um mesmo mercado ou, devido à exposição a diferentes riscos, possuem rentabilidades diferenciadas, caracterizando mercados segmentados.

As rentabilidades do mercado de ações são relevantes por fornecerem previsões baseadas em dados históricos, o que auxilia na tomada de decisões de investimento e na gestão de risco. Essas informações também podem apoiar reguladores e formuladores de políticas públicas no desenvolvimento de estratégias para garantir a estabilidade econômica, reduzir o risco sistêmico e promover a transparência no mercado (Dias e Pereira, 2021; Dias, Pardal *et al*, 2022; Dias, Pereira *et al*, 2022; Teixeira, Dias, Pardal *et al*, 2022).

O reequilíbrio de carteiras no mercado financeiro é essencial para ajustar a distribuição dos ativos conforme os objetivos de investimento e o nível de tolerância ao risco. Em tempos de incerteza econômica, essa prática permite que os investidores giram melhor os riscos e mantenham a diversificação desejada. O reequilíbrio envolve vender ativos valorizados e redistribuir os recursos em ativos que tiveram um desempenho abaixo do esperado, evitando o excesso de concentração em uma única classe de ativos (Dias, Chambino *et al*, 2023).

Fundamentação dos mercados selecionados

Uma das áreas do setor energético que mais se desenvolve atualmente é o setor de energia renovável. Enquanto as fontes de energia eficiente cresceram apenas 1,7 % por ano, a produção de energia verde aumentou, em média, 5% por ano, entre 2009 e 2019.

Consequentemente, uma parcela substancial dos investimentos globais está a migrar de fontes de combustíveis fósseis para energia verde. O investimento nesse setor, por exemplo, passou de 120,1 mil milhões de dólares para 363,3 milhões de dólares durante essa fase. Vale a pena destacar que, mesmo durante a COVID-19, os investimentos em fontes de energia renováveis aumentaram 2%, impulsionando o mercado de energia verde (McCrone *et al*, 2019).

Atualmente, os mercados financeiros globais estão a tornar-se cada vez mais integrados devido à liberalização financeira e ao avanço tecnológico. Essa integração cria oportunidades significativas para investimento e financiamento. No entanto, embora promova o crescimento económico, ela também amplifica o risco de choques externos. Assim, uma crise numa região pode espalhar-se para outros mercados financeiros devido ao aumento da interconectividade observado nos últimos anos (Dias *et al*, 2019).

Esta pesquisa concentra-se em três metais preciosos, que são os seguintes: Ouro (Gold, Handy e Harman), Prata (Silver, Handy e Harman) e Platina (London Platinum). Estes são reconhecidos como portos seguros ou ativos de cobertura (*hedge*). Ao longo da História, os metais preciosos e particularmente o Ouro, têm sido apreciados como reservas de valor. Os riscos de inflação, instabilidade política e flutuações cambiais que têm impacto noutros investimentos não estão presentes nestes ativos tangíveis. Os investidores, frequentemente, procuram metais preciosos como uma forma de proteção durante períodos de incerteza geopolítica, volatilidade económica ou mercados financeiros voláteis. Particularmente, quando contrastado com ativos mais voláteis, como moedas e ações, o Ouro é considerado como um porto seguro devido ao seu valor sustentável. Consequentemente, a inclusão de metais preciosos em um portfólio de diversos investimentos pode gerar valor substancial. Sendo assim, esses ativos podem contribuir para a redução do risco do portfólio, pois são menos correlacionados com ativos financeiros convencionais, como títulos e ações (Kumaraswamy *et al*, 2023; Mensi *et al*, 2023; Sharma e Karmakar, 2023; Yousaf *et al*, 2023).

Recentemente, os autores Dias *et al*, (2023) examinaram a correlação entre metais energéticos e metais preciosos para determinar examinou a relação entre metais energéticos e minerais, para determinar se estes ativos são uma aposta segura para investir em portfólios de energia verde no contexto macroeconómico ente 2020 e 2022. Os autores demonstram que os metais energéticos (a exceção dos futuros de níquel) são positivamente correlacionados com os índices de energia verde e podem ser ponderados como uma opção segura para investidores verdes que desejam diversificar seus investimentos. Além disso, o

resultado do estudo ratifica que metais preciosos, como Ouro, Prata e Platina, podem servir como estratégia de porto seguro para os índices de energia verde.

Para este estudo, foi utilizada a análise integrada dos índices de ação de energia verde, nomeadamente, Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy e WilderHill Clean Energy, em conjunto com os metais preciosos, Ouro (Gold, Handy e Harman), Prata (Silver, Handy e Harman) e Platina (London Platinum), que fornece uma perspetiva de grande valia em relação à oscilação de preços no mercado. Se, por um lado, os índices de energia renováveis representam o desenvolvimento e as perspetivas futuras do setor, os metais preciosos, reconhecidos pela sua estabilidade e valor intrínseco, fornecem informações importantes a respeito da confiança dos investidores e das incertezas do mercado financeiro.

Embora os índices de energia verde revelem o progresso e as expectativas do setor energético, os metais preciosos oferecem uma visão complementar, indicando a estabilidade do mercado e ajudando a compreender as perceções de risco dos investidores. A análise conjunta desses índices e metais preciosos permite uma visão mais completa da dinâmica do mercado e das estratégias de investimento (Dias *et al*, 2023).

Justificação do período do estudo

Os mercados de capitais e a economia mundial, em geral, foram severamente afetados pela instabilidade económica causada pela pandemia da COVID-19, seguida de uma série de colapsos financeiros, e, posteriormente, da invasão da Ucrânia pela Rússia em 2022. Todos estes incidentes causaram uma grande adversidade aos mercados financeiros internacionais e, por conseguinte, disseminaram insegurança entre os investidores. De forma adicional, houve uma desaceleração na atividade económica de forma generalizada, os mercados de ações experimentaram quedas expressivas e a volatilidade tornou-se mais evidente. Em conjunto a estes eventos, a incapacidade da OPEP de concretizar um acordo que considerasse as interrupções no consumo causadas pela COVID-19, culminou na guerra de preços do petróleo entre a Rússia e a Arábia Saudita, que derrubou os preços do petróleo afetando, de forma expressiva, o mercado financeiro em março 2020 (Joshi, 2011; Ashfaq *et al*, 2020; Ashfaq *et al*, 2020).

Objetivos desta investigação

Esta dissertação foi desenvolvida para analisar a importância da interação entre metais preciosos e outras classes de ativos, especialmente, os índices de ações. Avaliar esse

grau de integração é crucial para determinar as estratégias mais eficazes de proteção financeira durante períodos de instabilidade económica global.

A integração entre os mercados de ações refere-se à conexão e interdependência dos preços das ações em diferentes países, assim como à influência das condições adversas e eventos económicos globais. Fatores como os avanços tecnológicos, a expansão dos investimentos internacionais e a liberalização dos mercados financeiros têm contribuído para o aumento da interconexão entre as bolsas de valores. No entanto, apesar da crescente integração, o mercado financeiro ainda apresenta características distintas e variações entre países devido a mudanças nas leis, na economia e na estabilidade política (Dias e Carvalho, 2020; Pardal *et al*, 2021).

Os investidores têm o poder de identificar oportunidades de investimento e avaliar os riscos associados por meio da integração desses indicadores, o que lhes proporciona uma compreensão mais abrangente das condições de mercado. Além disso, esse modelo integrado melhora a compreensão das interações entre os setores. Em última análise, uma gestão eficaz de portfólio em condições económicas variáveis requer o uso de recursos valiosos, como pesquisa especializada sobre índices de energia verde e metais preciosos, alinhados com os objetivos de investimento e os fatores ambientais e sociais (Dias, Horta *et al*, 2023b; Dias, Teixeira *et al*, 2023).

Face ao exposto, o objetivo principal deste estudo é determinar se os eventos ocorridos durante os vários ciclos económicos entre 1 de janeiro de 2018 e 23 de novembro de 2023, como a pandemia de Covid-19 e a invasão da Ucrânia pela Rússia em 2022, influenciaram os preços dos índices de energia verde analisados (S&P Global Clean Energy Index, NASDAQ Clean Edge Green Energy Index, WilderHill New Energy Global Innovation Index (NEX), ISE Clean Edge Global Wind Energy Index). Além disso, pretende-se identificar, se for o caso, se os metais preciosos, Ouro, Prata e Platina, podem ser usados como estratégias de cobertura financeira mais eficazes para gerir riscos no mercado de energias verdes durante a pandemia e a crise geopolítica.

Pertinência e respetivos contributos académicos e profissionais

Em termos de contribuições, o estudo faz aportes significativos à literatura de diversas formas. Em primeiro lugar, a abordagem teórica visa fornecer evidências adicionais para aprimorar o suporte aos investidores na diversificação dos seus portfólios, enriquecendo a literatura existente. Além disso, a pesquisa oferece uma contribuição econométrica ao comparar estimativas de correlações de longo prazo com métodos econométricos,

destacando a análise num contexto de não estacionariedade e enfatizando dados empíricos subjacentes. Em particular, o uso do teste de Gregory e Hansen (1996) permite analisar a integração ou segmentação entre os metais preciosos e os índices de energia verde, além de identificar a presença de quebras estruturais. De modo complementar, o modelo econofísico Detrended Fluctuation Analysis (DFA) é utilizado para essa análise. Embora as ações de energia verde estejam a tornar-se cada vez mais atraentes para investidores, especialmente aqueles que dão prioridade à sustentabilidade, a pesquisa atual ainda não abordou adequadamente a gestão dos riscos potenciais associados a baixas neste setor.

Pesquisas recentes demonstram que os metais preciosos têm sido eficientes na mitigação dos riscos associados a determinadas classes de ativos, com o Ouro e a Prata sendo tradicionalmente vistos como ativos de proteção em tempos de insegurança. Durante períodos de declínio do mercado, a procura desses metais tende a aumentar e eles oferecem uma proteção adicional para os investidores. No entanto, ainda é necessário explorar mais a fundo em que grau os metais preciosos e as energias verdes podem interagir e influenciar a proteção dos investimentos, ações, metais preciosos, moedas digitais, ouro e petróleo estão associados aos mercados de capitais dos ASEAN, dos países BRIC's e até mesmo aos índices de ações dos países MENA. Este estudo diferencia-se de outros pelo seu horizonte temporal, metodologia e questões de pesquisas. Contudo, ainda restam questões sobre como os preços desses metais e dos índices sustentáveis se comportam durante períodos de incerteza. É crucial investigar se esses índices, assim como os metais preciosos, apresentam tendências de desequilíbrio em situações adversas e se essas tendências são de curto ou longo prazo, pois essas informações são essenciais para investidores que procuram mitigar os riscos do seu portfolio de ativos (Elie *et al*, 2019, Mokni *et al*, 2020, Robiyanto *et al*, 2020; Dias e Carvalho, 2021; Teixeira *et al*, 2022; Saijai *et al*, 2022; Chen *et al*, 2022; Dias *et al*, 2023; Dias *et al*, 2023; Mensi *et al*, 2023; Chambino *et al*, 2023; Galvão, R. e Dias, 2024) .

Um aspeto importante deste estudo é o uso de um método baseado numa abordagem de tempo-frequência para analisar as correlações entre metais preciosos. Dividiu-se a amostra em quatro subperíodos distintos: o período Tranquilo, de 1 de janeiro de 2018 a 31 de dezembro de 2019; o período da pandemia global de Covid-19, de 1 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2020; o período Pré-Conflito, de 1 de janeiro de 2021 a 23 de fevereiro de 2022; e, finalmente, o período de Conflito armado entre a Rússia e a Ucrânia, de 24 de fevereiro de 2022 a 23 de novembro de 2023. Essa abordagem permite uma análise mais eficaz da relação entre metais preciosos e energia verde em diferentes contextos económicos e eventos-chave, fornecendo informações valiosas para a gestão de portfólio e a tomada de decisões estratégicas no mercado financeiro.

Além disso, os mercados analisados e o período temporal da amostra distinguem-se dos estudos existentes, pois não foram encontradas pesquisas que abordem dados correspondentes ao intervalo de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Este período inclui eventos significativos como a pandemia de 2020 e a invasão russa à Ucrânia em 2022.

Estrutura

A dissertação está estruturada em quatro capítulos para além desta introdução. O primeiro capítulo apresenta uma revisão da literatura. Nesta revisão, o conceito de comovimento versus integração financeira é abordado inicialmente, seguido por uma análise das evidências empíricas sobre o grau de integração entre os mercados de ações e os metais preciosos durante períodos de alta volatilidade. Os dados da amostra e a metodologia empregadas na investigação são descritos no segundo capítulo. Os resultados e a discussão desses resultados são apresentados no terceiro capítulo. Por fim, o quarto capítulo não só apresenta as conclusões mais importantes, mas também propõe uma linha de investigação pertinente à continuação do estudo que foi discutido nesta dissertação.

Capítulo I: Revisão da literatura

1.1. Introdução teórica

É comum ver os termos "comovimento" e "integração" usados indistintamente na literatura sobre mercados financeiros, embora ambos se refiram ao relacionamento próximo entre dois ou mais mercados (Gaio *et al*, 2014).

De facto, "comovimento" refere-se ao movimento sincronizado na mesma direção, indicando uma correlação entre séries temporais. Correlações negativas em séries temporais indicam movimentos em direções opostas, enquanto correlações positivas indicam movimentos conjuntos ao longo do tempo (Kotu e Deshpande, 2019).

Muitos outros estudos, como Dias e Pereira, (2021) e Dias *et al*, (2021), associam altos níveis de comovimento a um elevado índice de integração nos mercados. No entanto, essa teoria requer uma avaliação cuidadosa, pois a integração dos mercados não implica necessariamente em correlação entre eles. Ativos com riscos semelhantes podem ter rentabilidades semelhantes, e, portanto, os mercados são considerados financeiramente integrados, mesmo que pertençam a origens diferentes.

Mercados financeiramente integrados são definidos como aqueles que compartilham riscos semelhantes e rentabilidades comparáveis, independentemente da sua origem em

mercados distintos. Empiricamente, a integração pode ser entendida como a transformação de séries temporais não estacionárias em séries estacionárias por meio de uma relação linear. Para avaliar o grau de integração entre dois mercados, normalmente analisa-se como os preços médios das diferentes séries variam e se essas variações permanecem consistentes ao longo do tempo. À medida que os mercados se tornam mais integrados, os preços tendem a equilibrar-se mais entre si (Chambino *et al*, 2022).

1.2. Evidências empíricas sobre a integração entre os mercados financeiros

1.2.1. Evidências sobre os mercados de ações

A partir da década de 1990, a pesquisa sobre a segmentação em contraste com a integração nos mercados financeiros globais ganhou significativa relevância entre pesquisadores, especialistas financeiros e legisladores. O foco dessa pesquisa é determinar se os mercados financeiros globais estão a tornar-se progressivamente mais integrados ou se permanecem fragmentados em diferentes regiões geográficas. Mercados segmentados operam com metodologias distintas e relativa autonomia, o que cria obstáculos significativos e limita a transferência de capital entre eles. Em contraste, mercados financeiros integrados permitem o livre fluxo de capital entre bolsas de valores, possibilitando que os preços dos ativos se ajustem e respondam mais rapidamente às informações e mudanças no mercado. Isso resulta numa redução das discrepâncias de preços entre mercados e torna a alocação de capital mais eficiente (Tchakounte e Kendo, 2022; Iheanacho *et al*, 2023).

Para compreender os fenômenos de integração financeira, é essencial conhecer as conexões internacionais entre os mercados de ações, especialmente em cenários de crise. Durante períodos de turbulência econômica, os mercados frequentemente enfrentam altos níveis de volatilidade, resultando em incerteza. Compreender a inter-relação desses fenômenos pode ajudar a elucidar as razões por trás desses episódios e seus possíveis impactos sobre os investidores. Pesquisadores podem analisar como fatores globais, como condições econômicas, eventos políticos e política monetária, influenciam os preços e o comportamento dos mercados, ao examinar as relações entre os mercados de ações. As correlações entre os mercados de ações permitem avaliar o impacto desses fatores sobre os preços das ações e o comportamento do mercado. A integração financeira pode ser entendida estudando as conexões internacionais entre os mercados de ações e as economias de escala, onde os preços das ações convergem, as informações e o capital fluem através das fronteiras e os padrões de mercado se tornam evidentes. Essas ligações internacionais e a integração financeira são fundamentais para aprimorar o entendimento dos mercados de ações e, por

consequente, tomar decisões de investimento mais informadas, o que justifica o estudo dessas questões a nível global (Dias *et al*, 2019; Dias *et al*, 2020; Dias e Carvalho, 2021).

1.2.2. Estudos Relacionados sobre a integração nos mercados financeiros

O grau de integração dos mercados de capital da ASEAN foi investigado pelos autores Phuan *et al*, (2009) e Huyghebaert e Wang (2010). O estudo realizado por Phuan *et al*, (2009) analisou o impacto da liberalização financeira na integração dos mercados de ações na Indonésia, Malásia, Filipinas, Singapura e Tailândia. Os autores demonstram que esses elevados níveis de integração desafiam a ideia de diversificação de carteiras. Além disso, eles analisaram a integração e a causalidade entre sete grandes mercados de ações do Leste Asiático e dos Estados Unidos antes, durante e após a crise financeira asiática de 1997-1998 Huyghebaert e Wang (2010). Os autores observam que, apesar das interações limitadas entre os mercados de ações antes da crise financeira asiática, os mercados do Leste Asiático passaram por flutuações ao longo do tempo. Durante a crise, Hong Kong e Singapura enfrentaram choques significativos provenientes de outros mercados do Leste Asiático, como Xangai e Shenzhen. Após a crise, outros mercados de ações da região foram profundamente afetados pelos choques em Hong Kong e Singapura, com exceção dos mercados da China continental. Em síntese, os autores afirmam que os Estados Unidos têm sempre um impacto significativo nas rentabilidades das ações na Ásia Oriental (excluindo a China continental), mas observam que esses mercados asiáticos não geram choques para o mercado americano.

Numa análise mais aprofundada realizada pelos autores Graham *et al*, (2013), Maghyereh, Awartani, e Hilu (2015) é perceptível a existência de uma conexão robusta entre os mercados de ações do MENA e o mercado de ações dos EUA. Embora Graham *et al*, (2013), sugiram que a diversificação das carteiras em frequências mais elevadas seja benéfica, eles recomendam adotar uma postura cautelosa em contextos de crise de mercado. Em contraste, os estudos de Maghyereh, Awartani, e Hilu (2015), indicam que, após a crise financeira mundial, essa conexão se consolidou, mas posteriormente regressou aos níveis anteriores à crise. Isso ressalta a importância de os investidores manterem a atenção na natureza dinâmica das conexões dos mercados."

Durante a pandemia global de 2020, Pardal *et al*, (2020) estudaram a integração financeira de vários mercados de capitais europeus, incluindo Áustria (ATX), Eslovénia (SBITOP), Hungria (BUDAPEST SE), Lituânia (OMX VILNIUS), Polónia (WIG), República Checa (PX PRAGUE), Rússia (MOEX) e Sérvia (BELEX 15). Os resultados indicaram que a integração entre esses mercados é extensa e significativa, limitando as oportunidades de

diversificação de portfólios a longo prazo. Dos 56 pares de índices de ações analisados, 47 foram identificados como integrados. Todos os índices estudados mostraram integração financeira com os índices ATX, BUDAPEST SE e BELEX, enquanto o índice OMX VILNIUS esteve presente em apenas 3 integrações. Em estudos complementares, os pesquisadores Heliodoro *et al*, (2020) focaram na integração financeira dos mercados dos BRICs (Brasil, China, Índia e Rússia) entre julho de 2015 e junho de 2020, dividindo a amostra em dois subperíodos: antes e durante a pandemia de COVID-19. As descobertas mostraram que, durante a pandemia, o grau de integração entre esses mercados aumentou consideravelmente, reduzindo as opções para diversificação de portfólio a longo prazo.

Ainda no contexto da integração financeira, Nardo *et al*, (2022) analisaram os mercados de capitais na Europa. Eles concluíram que a integração financeira se intensifica durante crises de dívida soberana e é impulsionada por fatores macroeconômicos, capitalização de mercado, incerteza política e avanços tecnológicos. Por outro lado, Teixeira, Dias, Pardal *et al*, (2022) realizaram uma pesquisa sobre a integração financeira, abrangendo índices de diversos países, como Alemanha (DAX), Estados Unidos (Dow Jones), França (CAC 40), Reino Unido (FTSE 100), Itália (FTS MIB), Rússia (MOEX), Japão (NIKKEI 225), Canadá (S&P TSX), China (XANGAI e SHENZHEN) e mercados de petróleo. Os resultados indicaram que a integração financeira não é significativamente afetada por choques entre mercados, sugerindo que relações de longo prazo entre mercados de capitais e de petróleo não causam movimentos de curto prazo. Estas descobertas são relevantes tanto para investidores quanto para formuladores de políticas interessados em explorar oportunidades nesses mercados financeiros e para aqueles que procuram implementar reformas institucionais para melhorar a eficiência do mercado e promover uma expansão sustentável.

Os autores Ben Amar *et al*, (2023), realizaram recentemente uma pesquisa sobre o impacto da dependência e volatilidade numa combinação de indicadores regionais islâmicos e convencionais, como petróleo bruto e Ouro, e os efeitos desses indicadores nas *commodities* estratégicas que representam (Ouro e metais preciosos). Durante a crise provocada pela COVID-19, os resultados mostraram uma forte integração entre os mercados financeiros analisados. Complementarmente, Santana *et al*, (2023) investigaram as correlações entre a principal fonte de energia (petróleo bruto, WTI e Brent) e metais preciosos como Ouro e Prata, considerados portos seguros para investimentos. Os resultados indicaram que a pandemia de 2020 não alterou o efeito de contágio entre petróleo bruto, WTI e Brent, uma vez que esses ativos já apresentavam alta correlação. No entanto, a epidemia da COVID-19 teve um impacto significativo nos segmentos de petróleo bruto e metais preciosos, destacando o crescimento da integração financeira.

Os autores Yousaf *et al*, (2023), investigaram o desempenho das ações FAANA (*Facebook, Apple, Amazon, Netflix e Alphabet*) como ativos de cobertura, diversificação e porto seguro, comparando-os com quatro outros ativos: Ouro, títulos do Tesouro dos EUA, Bitcoin e dólar americano/CHF. Os resultados mostraram que, devido ao nível de integração financeira observado, as ações FAANA desempenham, em sua maioria, um papel de porto seguro (ainda que de forma moderada) em comparação com Ouro, títulos do Tesouro, Bitcoin e dólar/CHF. Adicionalmente, o autor Ustaoglu (2023) estimou a correlação entre Ouro e Bitcoin, as principais *commodities* de exportação da Rússia (petróleo bruto, gás natural e trigo), e os índices de mercado do G7, Rússia, China e Europa durante a invasão da Ucrânia pela Rússia. Os resultados indicam que o Ouro atua principalmente como um ativo de diversificação durante períodos de guerra. Por outro lado, o Bitcoin mostrou-se uma boa opção de investimento relativamente ao trigo, mas não apresentou o mesmo desempenho em relação ao gás natural. Em geral, a integração financeira é predominante e levanta questões sobre a eficácia da diversificação e do reequilíbrio de portfólio.

Para diversificar e equilibrar carteiras de investimento, é crucial estudar a integração financeira entre mercados de ações e metais preciosos. Com a integração dos mercados, os investidores podem reduzir o risco através da diversificação em ativos com baixa correlação, como Ouro e Prata, que frequentemente atuam como ativos de cobertura em tempos de instabilidade económica. Além disso, investir em metais preciosos pode ajudar a preservar o capital a longo prazo, servindo como proteção contra a inflação e garantindo a segurança dos investimentos futuros. Face ao exposto, uma análise detalhada dos níveis de integração e uma melhor compreensão do mercado permitem que os investidores ajustem os seus ativos conforme as condições do mercado, mantendo um equilíbrio adequado no portfólio e otimizando as rentabilidades.

Capítulo II: Dados e Metodologia

2.1. Dados

Os dados utilizados nesta investigação incluem os índices diários de preços do Ouro (Gold, Handy e Harman), da Prata (Silver, Handy e Harman) e da Platina (London Platinum), bem como dos índices de ações de energia sustentável, como Clean Energy Fuels, S&P Global Clean Energy, Wilderhill Clean Energy e NASDAQ Clean Edge Green Energy, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Para aumentar a robustez do estudo, a amostra foi dividida em quatro subperíodos: o primeiro, denominado Tranquilo, que abrange o período de 1 de janeiro de 2018 a 31 de dezembro de 2019; o segundo inclui a

primeira fase da pandemia de COVID-19, que abrange o período de 1 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2020; o terceiro subperíodo, chamado Pré-Conflito, que abrange o período de 1 de janeiro de 2021 a 23 de fevereiro de 2022; e o quarto e último subperíodo, denominado Conflito, que abrange o período de 24 de fevereiro de 2022 a 23 de novembro de 2023. Os dados foram obtidos através da plataforma Thomson Reuters Eikon, reconhecida pela sua fiabilidade e abrangência de informações, garantindo uma comparação consistente entre os períodos analisados.

Tabela 1: Países e respetivos índices

País	Índice
Reino Unido	Gold, Handy e Harman
Reino Unido	Silver, Handy e Harman
Reino Unido	London Platinum
Estados Unidos	Clean Energy Fuels
Estados Unidos	S&P Global Clean Energy
Estados Unidos	Wilderhill Clean Energy
Estados Unidos	NASDAQ Clean Edge Green Energy

Fonte: Elaboração Própria

2.2. Metodologia

Nesta secção, será apresentada a metodologia e os testes correspondentes que serão utilizados para responder às duas questões de pesquisa formuladas. A metodologia desta dissertação foi desenvolvida em várias etapas.

Na primeira etapa, foi realizada a caracterização da amostra por meio de diversos métodos de estatística descritiva. Adicionalmente, para investigar a distribuição dos dados das sete séries temporais e examinar a suposição de normalidade, foi aplicado o teste de aderência proposto por (Jarque e Bera, 1980). Além disso, foi realizada uma análise dos gráficos de quantis com o objetivo de avaliar os resíduos das séries temporais. A fase subsequente envolveu a aplicação de testes de raiz unitária num painel para validar a estacionariedade temporal da série (Breitung, 2000; Levin *et al*, 2002; Im *et al*, 2003). Para corroborar estes resultados, estimaram-se os testes Dickey e Fuller (1981), Perrone e Phillips (1988) com transformação de Fisher Chi-square (Choi, 2001; Bolboacă *et al*, 2011; Fisher, 2023).

De forma complementar, o teste proposto por Clemente *et al*, (1998), analisa a estacionariedade das séries temporais com quebras estruturais, e portanto, foi aplicado para

determinar a data das quebras de estrutura. Para validar os dados, serão estimados os gráficos de quantis. Em seguida, será estimado o modelo VAR Granger Causality, de Granger (1969) Granger e Newbold (1974) para responder à primeira questão de pesquisa, que é verificar se há relações de causa e efeito entre os índices de energia verde e os metais preciosos. O conceito de causalidade de Granger está relacionado à precedência temporal entre variáveis. Em outras palavras, se duas variáveis forem X_t e y_t , diz-se que X_t causa y_t no sentido de Granger se os valores históricos de X_t podem ser úteis na estimativa dos valores futuros de y_t . O teste de Granger avalia se a capacidade de prever y_t a partir de X_t é estatisticamente significativa. A hipótese nula é que a variável dependente, no sentido de Granger, não é gerada, porque os coeficientes exógenos da variável causal são nulos, enquanto a hipótese alternativa sugere a existência de causalidade (Granger, 1969; Sims, 1980).

Para examinar a relação causal entre os mercados financeiros em estudo, será necessário estimar o modelo VAR VAR Granger Causality ou realizar o Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco. Este método usa a estatística de Wald para determinar se as variáveis independentes (ou exógenas) fornecem informações úteis sobre a dinâmica da variável dependente. A formulação do modelo será descrita a seguir:

$$X_t = A_1 X_{t-1} + \dots + A_p X_{t-p} + C y_t + \epsilon_t \quad (1)$$

No caso em que x_t é um vetor de variáveis endógenas ($k \times 1$), y_t um vetor de variáveis exógenas ($d \times 1$), A_1 a A_p representam como matrizes de coeficientes de defasamento a estimar. Além disso, C é uma matriz de coeficientes de variáveis exógenas (y_t) e indica um processo de ruído branco, frequentemente conhecido como inovações ou termo de choque, com distribuição normal e média zero.

De acordo com Parzen (1992), a modelagem estatística sugere métodos que frequentemente são aplicados automaticamente sem intervenção humana. Da mesma forma, Lütkepohl, (2005) enfatiza que a estimativa de um modelo autorregressivo robusto depende da determinação do número de atrasos (*lags*).

Para responder à segunda questão de pesquisa, que é identificar as estratégias de cobertura financeira mais eficazes para gerir riscos no mercado de energias verdes durante a pandemia da COVID-19 e a crise geopolítica, optou-se pelo modelo econofísico Detrended Fluctuation Analysis (DFA). Esta ferramenta analisa a dependência temporal em séries de dados não estacionários. Quando a técnica assume que as séries temporais não são

estacionárias, ela evita resultados imprecisos ao concentrar-se nas relações de longo prazo entre os dados.

O DFA pode ser interpretado da seguinte forma: quando o coeficiente alfa é menor que 0,5, ($0 < \alpha < 0,5$) a série é antipersistente; quando o coeficiente alfa é igual a 0,5, ($\alpha = 0,5$), a série é Random Walk; e quando o coeficiente alfa é maior 0,5, ($0,5 < \alpha < 1$) a série é persistente. Esta abordagem visa analisar a relação entre valores x_k e x_{k+t} em diferentes momentos (Guedes *et al*, 2022; Zebende *et al*, 2022)

A principal vantagem da aplicação de DFA é a capacidade de remover tendências das séries, que podem enviesar a verdadeira correlação das flutuações das variáveis aleatórias envolvidas. Isso permite identificar correlações de longo alcance em sinais com tendências polinomiais, que podem ocultar as correlações reais (Santana *et al*, 2023).

2.3. Caracterização da amostra

No processo de análise do comportamento das sete séries temporais, tornou-se necessário converter as cotações (preços originais) em taxas de rentabilidade. Optou-se por utilizar taxas de rentabilidade em vez dos preços originais dos ativos financeiros, pois as rentabilidades proporcionam uma visão mais clara do potencial de investimento, servindo como uma ferramenta de gestão para os investidores (Campbell, 1987; Lo e MacKinlay, 1988). Além disso, as características estacionárias das séries de rentabilidade as tornam mais atraentes, visto que as séries de preços raramente têm esta propriedade. O principal benefício em usar rentabilidades em vez de preços originais é a normalização, que permite a medição uniforme de variáveis e facilita a análise estatística (Tsay, 2002).

Na conversão dos preços originais em taxas de rentabilidade, foi aplicado um logaritmo natural, que é representado matematicamente da seguinte forma:

$$R_t = \ln \left(\frac{P_t}{P_{t-1}} \right), \quad 2)$$

Em que:

R_t – Taxa de rentabilidade diária;

P_t – Cotação de fecho no dia t;

P_{t-1} – Cotação de fecho no dia t-1.

2.4. Medidas de estatística descritiva

Para a caracterização da amostra, foram utilizados diversos parâmetros estatísticos, incluindo a média aritmética, desvio padrão, assimetria e curtose, com o objetivo de esclarecer as características centrais da distribuição e a forma como os pontos de dados estão distribuídos. Por outro lado, o desvio padrão mede a dispersão dos dados em relação à média, projetando essencialmente os riscos futuros associados ao investimento. Uma menor dispersão indica uma menor volatilidade em relação ao valor padrão, sugerindo um risco intrínseco reduzido. Ao utilizar essas medidas em conjunto, é possível obter uma compreensão mais completa do comportamento das séries temporais e do nível de incerteza envolvido nos investimentos. A estimativa, inferência e previsão dependem da suposição de normalidade dos dados ao aplicar modelos econométricos. Embora existam diversos estimadores e testes robustos para avaliar essa suposição, uma abordagem comum é calcular os coeficientes de assimetria e curtose das séries temporais. Esses coeficientes são frequentemente usados como ferramentas de diagnóstico na aplicação de modelos econométricos e para investigar questões relevantes no contexto financeiro (Bontemps e Meddahi, 2005; Bastianin, 2019).

Os coeficientes de assimetria (SK) são utilizados como referências para analisar a forma da distribuição dos dados da amostra. Quando $SK = 0$, a distribuição é considerada simétrica; se $SK > 0$, a distribuição é assimétrica positiva ou à direita; e se $SK < 0$, a distribuição é assimétrica negativa ou à esquerda. Os intervalos para o coeficiente de assimetria são classificados da seguinte forma: uma assimetria fraca ocorre quando SK varia entre 0 e 0,15; a assimetria moderada é observada entre 0,15 e 1; e a assimetria forte ocorre quando SK é maior que 1. Outro parâmetro estatístico importante é a curtose, introduzida por Pearson, (1905), que ajuda a determinar a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória. O trabalho conceitual de DeCarlo, (1997) alega que a curtose mede o grau de achatamento da distribuição, representando a dimensão em que os dados estão concentrados ou dispersos em torno da média em relação a uma curva de distribuição normal (distribuição padrão). Existem três categorias para a classificação curtose (K):

a) Mesocúrtica, que é a curva normal padrão de distribuição do $K = 3$.

b) Leptocúrtica, onde o grau de achatamento é menor do da curva normal padrão, isso faz com que os dados se concentrem mais em torno da média (desvio padrão menor), $K > 3$;

c) Platicúrtica, com um grau de achatamento superior à curva normal padrão, demonstrando que os dados estão dispersos de forma mais ampla (apresentando um desvio padrão maior), com $K < 3$.

2.5. Teste de aderência de Jarque e Bera (1980)

De acordo com as descobertas de Jarque e Bera, (1980a), a ausência de normalidade nos dados pode resultar em modelos que não são precisos. Os autores desenvolveram um teste para abordar essa questão, em que os coeficientes de assimetria e curtose dos dados da amostra são comparados com os de uma distribuição normal. O teste de Jarque-Bera é uma ferramenta estatística valiosa para verificar se um conjunto de dados segue uma distribuição normal. Esse teste é especialmente relevante na análise financeira, onde variáveis como as rentabilidades de ações, frequentemente, não seguem uma distribuição normal devido à presença de assimetria e curtose. O teste de Jarque-Bera fornece uma medida da discrepância dos dados em relação à normalidade, permitindo uma análise mais precisa e fundamentada. Além disso, os mesmos autores recomendaram um teste que se baseia na diferença entre os coeficientes de assimetria e curtose dos dados da amostra e os valores esperados para uma distribuição normal. Este modelo é descrito pela fórmula matemática (3):

$$Jarque - Bera = \frac{N}{6} \left(S^2 + \frac{(K-3)^2}{4} \right) \quad (3)$$

Sendo assim, as hipóteses do teste de Jarque e Bera são:

$$\{H_0: \varepsilon \sim N(\mu; \sigma^2) \quad H_1: Rejeita - se H_0 \quad (4)$$

De acordo com a hipótese nula do teste, os erros devem seguir uma distribuição normal com média igual a zero e variância constante (4).

Este método é frequentemente utilizado para reforçar as conclusões obtidas a partir de indicadores estatísticos, como a assimetria e a curtose, devido à sua praticidade e eficácia na avaliação da normalidade dos dados (DeCarlo, 1997; Lucambio, 2008; Bastianin, 2019).

2.6. Diagnóstico de estacionariedade das séries temporais

A análise de séries temporais envolve o estudo de processos estocásticos, que são governados por regras probabilísticas ao longo do tempo Morettin *et al*, (2011). Constantes ao longo do tempo, e a covariância entre dois períodos depende apenas da distância ou intervalo entre eles, o processo é considerado estacionário. Este tipo específico de processo

estocástico é denominado processo fraco estacionário, estacionário por covariância, ou estocástico de segunda ordem Gujarati e Porter (2011).

Uma série temporal é formalmente considerada estacionária se atender simultaneamente aos seguintes requisitos.

$$\begin{aligned} E(Y_t) &= \mu, \forall t \text{ (média constante)} \\ Var(Y_t) &= \sigma^2, \forall t \text{ (variância constante)} \\ Cov(Y_t, Y_{t-s}) &= \sigma_s, \forall t, s \end{aligned} \quad (5)$$

Em resumo, para uma série temporal ser considerada estacionária, a média e a variância devem permanecer constantes ao longo do tempo, indicando que são estáveis. Isso significa que, independentemente do momento em que se calcula a média e a variância, esses valores não devem mudar com o tempo. Além disso, a covariância deve variar apenas com o intervalo temporal, e não com o tempo absoluto. Essas séries temporais tendem a voltar à sua média ao longo do tempo, um fenômeno conhecido como reversão à média. As flutuações em torno dessa média, medidas pela variância, geralmente têm uma amplitude constante. A autocovariância, que é a covariância entre uma variável e o seu desfasamento, deve depender apenas do intervalo temporal. Por fim, devido à sua variância finita, um processo estacionário não se desviará significativamente da média (Gujarati e Porter, 2011).

Os estudos de Bueno (2012) destacam que um aspecto fundamental na elaboração de modelos de séries temporais estacionárias é o conceito clássico de erro normal do Teorema de *Gauss–Markov*, frequentemente denominado ruído branco. Um processo estocástico (ε_t) é considerado ruído branco se apresentar média constante, variância constante e nenhuma correlação com as realizações anteriores da própria série. Embora seja mais conveniente assumir que a média é nula, também é possível especificar um ruído branco com uma média diferente de zero. No entanto, focar em uma série com média zero não compromete as características fundamentais do ruído branco. A seguir está uma definição formal de (ε_t), como ruído branco:

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_t) &= 0, \forall t \\ Var(\varepsilon_t) &= \sigma^2, \forall t \text{ (variância constante)} \\ Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-s}) &= 0, \forall s \neq 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Historicamente, acreditava-se que a maioria das séries temporais financeiras apresentava estacionariedade, frequentemente seguindo uma tendência linear, seja positiva ou negativa. No entanto, ao analisar mais a fundo os dados, os pesquisadores descobriram que muitas séries temporais financeiras não seguiam essa tendência linear e eram mais bem

caracterizadas como ruído branco. Isso significa que não havia padrões passíveis de serem discernidos ou uma correlação com as percepções anteriores. Essa descoberta teve um grande impacto na forma como as previsões financeiras eram feitas e enfatizou a importância de considerar o ruído branco ao modelar esses tipos de séries temporais (Granger e Newbold, 1974; Tahai *et al*, 2004).

Segundo os autores Van Greunen *et al*, (2014) e Herranz (2017), um desafio relevante é a ocorrência de regressões espúrias, nas quais estatísticas como coeficientes de correlação, t e f podem produzir resultados ambíguos, sugerindo erroneamente relações entre variáveis. Eles destacam a importância de garantir a estacionariedade dos dados ao trabalhar com séries temporais e mencionam métodos como *de-trending*, *differencing with integers* e *fractional differencing*. Entre essas abordagens, a diferenciação é preferida pelos econométricos devido à sua simplicidade. Essa técnica transforma séries não estacionárias em estacionárias através do cálculo das diferenças. A primeira diferença é calculada pelo modelo (7):

$$(\Delta y_{it}, y_{it}, = y_{it} - y_{(t-1)}, \epsilon_t) \quad (7)$$

Se a série se tornar estacionária após essa primeira diferenciação, ela é considerada integrada de primeira ordem. Se for necessária uma segunda diferenciação, a série é considerada integrada de segunda ordem.

2.7. Testes de raiz unitária em painel

Com o propósito de detectar a presença de raízes unitárias em dados de séries temporais, podem utilizar-se de diferentes métodos, incluindo testes individuais e em painel. Optamos por usar testes de raízes unitárias em painel devido ao seu maior poder estatístico e à capacidade de fornecer resultados mais consistentes e robustos. Estes testes são vantajosos, porque ampliam consideravelmente o tamanho das amostras ao considerar tanto a dimensão temporal quanto a transversal da série, resultando numa análise mais completa e fiável (Maddala e Wu, 1999; Hadri, 2000). Nos testes de raiz unitária em painel, o coeficiente de correlação ρ_i é consistente em todas as secções transversais, indicando que eles são um processo de regressão unitário comum. Estudos anteriores, como os de Hadri (2000), Breitung (2000) e Levin *et al*, (2002), corroboram esta abordagem. Tendo como modelo o teste de Dickey e Fuller (1981), esses testes foram aprimorados ao adotar a hipótese nula de que, todas as unidades do painel têm uma raiz unitária ou variação aleatória. Os testes LLC e Breitung, por exemplo, baseiam-se nas especificações do teste de Dickey e Fuller aumentado (ADF), garantindo robustez e fiabilidade na detecção de raízes unitárias.

$$\Delta y_{it} = \alpha y_{it-1} + \sum_{j=1}^{\rho_i} \beta_{ij} \Delta y_{it-j} + X'_{it} \delta + \epsilon_{it} \quad (8)$$

Supondo que $\alpha = \rho - 1$, embora o desfasamento ρ_i varie para cada secção transversal. As premissas do teste de hipótese são:

$$\{H_0: \alpha = 0 \text{ (existe uma raiz unitária)} \quad H1: \alpha < 0 \text{ (não existe raiz unitária)} \quad (9)$$

O coeficiente estimado α do método LLC é obtido de Δy_{it} e y_{it} , que são componentes determinísticos e padronizados. Primeiro, o modelo estima dois coeficientes usando regressões de Δy_{it} e y_{it} , que incluem definições de Δy_{it-j} (para $j = 1, \dots, \rho_i$) e uma variável exógena, X_{it} . Esses coeficientes estimados são representados por $(\hat{\beta}, \hat{\delta})$ e $(\dot{\beta}, \dot{\delta})$. Posteriormente, uma proxy padronizada $\underline{\Delta y}_{it}$ é definida a partir do primeiro par estimado de coeficientes auxiliares $((\hat{\beta}, \hat{\delta}))$, eliminando autocorrelações e componentes determinísticos.

$$\underline{\Delta y}_{it} = \Delta y_{it} - \sum_{j=1}^{\rho_i} \hat{\beta}_{ij} \Delta y_{it-j} + X'_{it} \hat{\delta} \quad (10)$$

Consequentemente, calcula-se \underline{y}_{it} utilizando o segundo conjunto de coeficientes estimados auxiliares $(\dot{\beta}, \dot{\delta})$:

$$\underline{y}_{it-1} = \Delta y_{it-1} - \sum_t^{\rho_i} \dot{\beta}_{ij} \Delta y_{it-j} - X'_{it} \dot{\delta} \quad (11)$$

Por fim, os indicadores Δy_{it} e y_{it} , são obtidos por meio de padronização das proxies originais, dividindo-as de acordo com o desvio padrão da regressão.

$$\Delta y_{it} = \left(\frac{\Delta y_{it}}{S_i} \right) \quad (12)$$

$$y_{it} = \left(\frac{y_{it-1}}{S_i} \right) \quad (13)$$

Uma vez obtidos os indicadores e padronizados, o coeficiente α pode ser estimado usando a seguinte equação agrupada.

$$\Delta y_{it} = \alpha y_{it-1} + n_{it} \quad (14)$$

O teste de Breitung (2000) tem sua origem no mesmo modelo que o teste LLC, contudo, exhibe duas particularidades distintas. Em primeiro lugar, apenas a parte

autorregressiva é considerada ao desenvolver os indicadores padronizados, ao invés dos componentes exógenos. Segundo o modelo LLC, os coeficientes $(\hat{\beta}, \hat{\delta})$ e $(\hat{\beta}, \hat{\delta})$ são estabelecidos. Esses coeficientes são obtidos executando-se duas equações distintas.

$$\Delta \underline{y}_{it} = \frac{(\Delta y_{it} - \sum_{j=1}^{\rho_i} \hat{\beta}_{ij} \Delta y_{it-j})}{S_i} \quad (15)$$

$$\underline{y}_{it-1} = \frac{\Delta y_{it-1} - \sum_{j=1}^{\rho_i} \hat{\beta}_{ij} \Delta y_{it-j}}{S_i} \quad (16)$$

Neste panorama, após os indicadores padronizados passarem por transformações e serem desviadas de suas tendências, o coeficiente α é estimado utilizando-se a seguinte equação combinada dos indicadores.

$$\Delta y_{it*} = \alpha y_{it-1*} + v_{it} \quad (17)$$

Como método adicional, para verificar se os dados em painel exibem raízes unitárias, aplicou-se o teste de Hadri (2000) Este teste oferece uma abordagem complementar às análises anteriores ao apresentar uma hipótese nula distinta. Diferentemente de outros métodos, o teste de Hadri pressupõe que os painéis são estacionários em tendência, ou seja, que não há uma raiz unitária comum a todas as seções. A hipótese alternativa sugere que pelo menos um painel pode conter uma raiz unitária. O teste de Hadri utiliza os resíduos das regressões OLS individuais de y_{it} e pode levar em conta a presença de tendências, ao incluir termos constantes e de tendência nas regressões. O método envolve encontrar estimadores com base nesses resíduos para verificar a presença de raízes unitárias. Isso proporciona uma análise forte e complementa os testes anteriores.

$$y_{it} = \delta_i + n_i t + \epsilon_{it} \quad (18)$$

Comparativamente, após considerar os resíduos das regressões individuais ($\hat{\epsilon}$), é possível aplicar o modelo Multiplicador de Lagrange (LM) para testar processos autorregressivos com diferentes sequências (Godfrey, 2007). De acordo com a hipótese nula deste teste LM, a "autocorrelação" é apenas parcial (os resíduos não são autocorrelacionados em si mesmos).

$$LM_1 = \frac{1}{N} \left(\frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\sum_T S_i(t)^2}{T^2} \right)}{f_0} \right) \quad (19)$$

Portanto, $S_i(t)$ corresponde ao somatório dos resíduos e f_0 representa a média dos coeficientes de estimativa individuais no momento zero.

A **tabela 2** descreve as características dos exames de raiz unitária em dados selecionados.

Tabela 2: Síntese das características dos testes de raiz unitária em painel.

Teste	Hipótese Nula (H_0)	Hipótese Alternativa (H_1)	Método de Correção de Autocorreção
Levin, Lin, e Chu, (2002)	Raiz Unitária	Ausência de Raiz Unitária	<i>Lags</i>
Breitung (2000)	Raiz Unitária	Ausência de Raiz Unitária	<i>Lags</i>
Hadri (2000)	Ausência de Raiz Unitária	Raiz Unitária	<i>Kernel</i>

Fonte: Elaboração própria.

2.8. Teste de cointegração - Granger

O princípio de Granger, (1969) está relacionado à análise da relação temporal entre variáveis. Ainda de acordo com Granger, se os valores passados de uma variável X_t ajudam a prever os valores futuros de outra variável y_t então X_t é considerado uma causa de y_t no sentido de Granger. O teste de cointegração de Granger é usado para determinar se a capacidade de previsão é estatisticamente significativa ou não. Utilizando a hipótese nula de que não há causalidade Grangeriana, os coeficientes das variáveis exógenas tardias são zero. Por outro lado, a hipótese alternativa afirma que existe uma relação causal entre os dois eventos (Granger, 1969; Sims, 1980).

Para investigar a causalidade entre os mercados financeiros em estudo, utilizou-se o modelo VAR Granger Causality ou o Teste de Block Exogeneity Wald. O Teste de Block Exogeneity Wald é útil para determinar se as variáveis independentes (ou exógenas) fornecem informações relevantes para entender o comportamento da variável dependente. Uma possibilidade para criar o modelo é a seguinte:

$$X_t = A_1 X_{t-1} + \dots + A_p X_{t-p} + C y_t + \epsilon_t \quad (20)$$

Onde, X_t é um vetor de variáveis endógenas ($k \times 1$), y_t um vetor de variáveis exógenas ($d \times 1$), A_1 e A_p representam as matrizes dos coeficientes de defasamento a estimar e C corresponde a uma matriz de coeficientes de variáveis exógenas. "Inovações" ou "choque" são os nomes para o processo de ruído branco " ϵ_t " que obedecem a uma distribuição normal de média igual a zero.

De forma adicional, Lütkepohl (2005) demonstrou que o modelo VAR é sensível ao número de defasamentos escolhidos. Uma especificação com muitos defasamentos pode resultar em previsões menos precisas e em erros de ajuste, que podem levar à autocorrelação dos resíduos, comprometendo a eficácia dos estimadores do modelo. Por outro lado, Lütkepohl destacou a relevância de examinar a autocorrelação nos termos de erro de um modelo de regressão, uma vez que a presença de autocorrelação pode sugerir que o modelo é inadequado. É amplamente reconhecido há décadas que, para garantir um modelo de regressão robusto e eficaz, é essencial diagnosticar e entender os termos do erro. A análise de autocorrelação em erros ajuda a garantir que o modelo seja bem especificado e que suas estimativas sejam fiáveis.

2.9. Detrended Fluctuation Analysis α_{DFA}

Conforme estudado pelos autores Guedes *et al*, (2022), a Detrended Fluctuation Analysis (DFA) é uma técnica analítica utilizada para investigar a dependência temporal em séries de dados não estacionários. O DFA é especialmente útil para analisar relações de longo prazo em dados que não seguem um padrão estacionário. A interpretação dos resultados do DFA é a seguinte: um valor de α entre 0 e 0,5 indica que a série é antipersistente; $\alpha = 0,5$ sugere um movimento aleatório (Random Walk); e valores de α entre 0,5 e 1 indicam que a série é persistente. O objetivo principal do DFA é examinar como os valores em diferentes momentos, representados por x_k e x_{k+t} , estão relacionados dentro de uma série temporal, ajudando a entender as propriedades de dependência temporal em dados complexos.

Adicionalmente Santana *et al*, (2023) destacam que uma das principais vantagens do DFA é a sua capacidade de remover tendências das séries temporais, o que permite identificar correlações de longo alcance que poderiam ser mascaradas por tendências polinomiais. Essa capacidade é fundamental para obter uma visão mais precisa das correlações verdadeiras entre as variáveis analisadas.

Em resumo, o método DFA envolve as seguintes etapas:

1 - Considere um sinal $u(i)$, onde i varia de 1 até ao número total de pontos N da série.

Posteriormente, faz-se uma integração do sinal e produziu-se uma nova série de $y(k) =$.

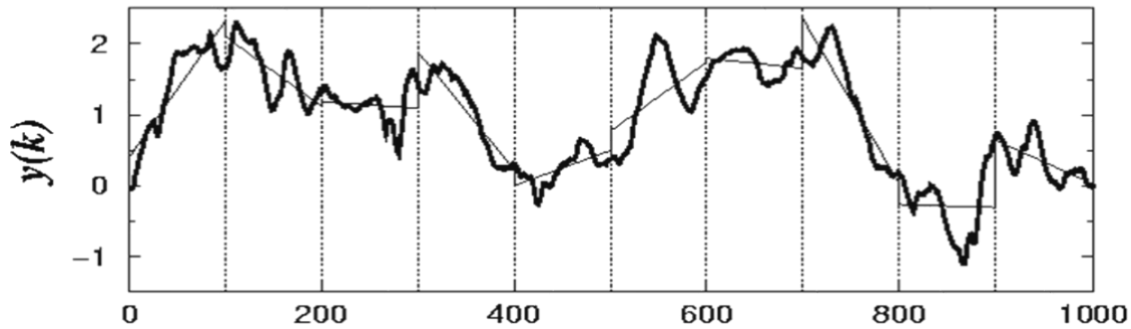
2 - O sinal integrado é dividido em boxes de igual comprimento n .

3 - Para cada box de tamanho, ajusta-se um polinómio de grau l , que se designa por $y_n(k)$, e este valor representa a tendência em cada box.

4 - O sinal subtrai-se de $y_n(k)$ em cada box.

Figura 1: Deslocação local no algoritmo DFA

Local Detrending in the DFA Algorithm



Fonte: <http://reylab.bidmc.harvard.edu/tutorial/DFA/node5.html>

5 - Assim para cada box de tamanho n calcula-se a sua raiz quadrática média, ou seja,

$$F(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^n [y(k) - y_n(k)]^2} \quad (21)$$

6 - O cálculo acima é repetido para vários tamanhos de box (n 's). Logo, tem-se uma relação do tipo lei de potência para $F(n)$, então tal função é proporcional a n ,

$$F(n) \propto n^\alpha \quad (22)$$

Neste caso, α representa o expoente de correlação de longo alcance, isto é, a alto-afinidade do sinal, tem a seguinte interpretação:

Tabela 3: Detrended Fluctuation Analysis α_{DFA}

Exponente	Tipo de Sinal
$\alpha_{DFA} < 0.5$	Antipersistência
$\alpha_{DFA} \approx 0.5$	Ruído Branco
$\alpha_{DFA} > 0.5$	Persistência

Fonte: Elaboração própria.

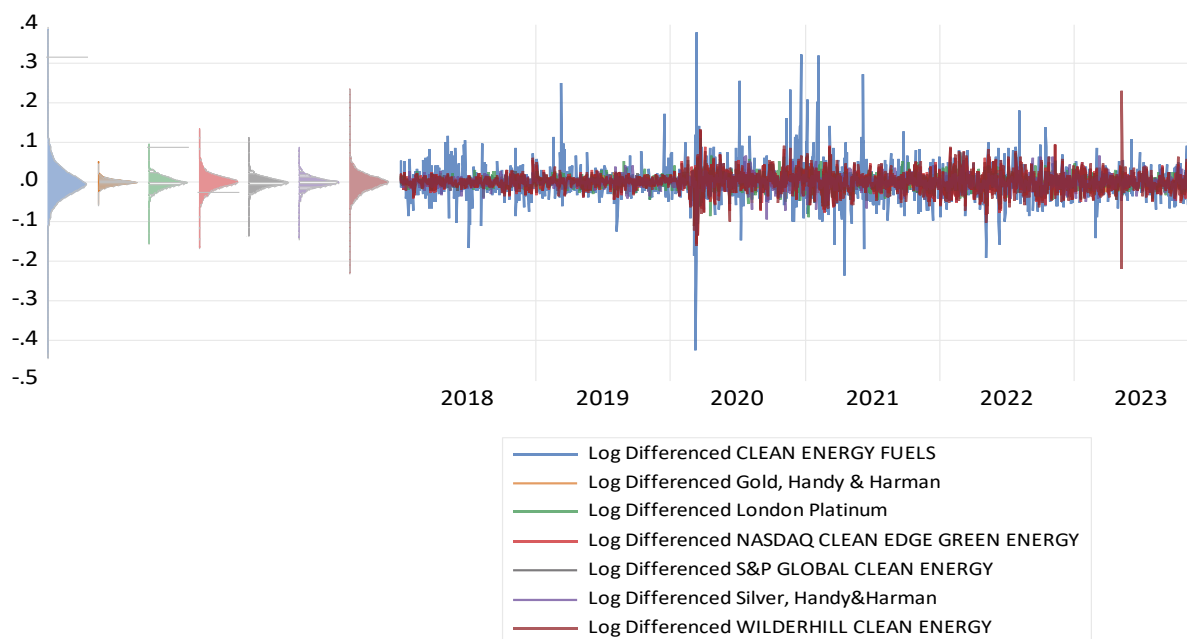
Capítulo III: Resultados e Discussão

3.1. Caracterização da amostra

Os mercados internacionais desfrutaram de um período relativamente calmo entre 2018 e 2019. O Índice Dow Jones, referência do mercado americano, estava em ascensão. No mesmo período, os metais preciosos como o Ouro e Prata demonstravam uma trajetória ascendente, enquanto a Platina se mantinha estável. O início de 2020 foi marcado por um evento inesperado, a pandemia de Covid-19, este evento abalou os mercados internacionais, levando a uma queda abrupta em todos os índices analisados. O Dow Jones sofreu um declínio de 33%, enquanto o índice russo MOEX caiu pela metade. Em contraste, os ativos portos seguros agora são representados pelos metais preciosos, como o Ouro e a Prata, que subiram 12% e 15% respectivamente. A recuperação dos mercados foi gradual nos meses que se seguiram. Em 2021, apesar de alguma volatilidade, os índices recuperaram-se. O preço da Platina permaneceu relativamente estável, enquanto o Ouro e a Prata solidificaram os seus ganhos. No início de 2022, a invasão russa à Ucrânia foi um episódio geopolítico significativo que teve repercussões em escala global. Os mercados financeiros, mais uma vez, sofreram quedas acentuadas (Manuel *et al*, 2024).

A **figura 2** apresenta as tendências de rentabilidades diárias do Ouro (Gold, Handy e Harman), da Prata (Silver, Handy e Harman) e da Platina (London Platinum) bem como dos índices de ações de energia sustentável como o Clean Energy Fuels, S&P Global Clean Energy, Wilderhill Clean Energy, e o NASDAQ Clean Edge Green Energy, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Através da observação gráfica verifica-se que as rentabilidades médias parecem relativamente estáveis, oscilando perto de zero. Contudo, uma análise mais atenta dos dados revela flutuações substanciais, sublinhando a volatilidade pronunciada vivida por estes mercados. Esta volatilidade é particularmente evidente durante os primeiros meses de 2020, coincidindo com o início do impacto da pandemia da COVID-19 na economia global. Embora as rentabilidades médias possam parecer estáveis, as flutuações substanciais indicam uma volatilidade significativa nos mercados de energia verde, especialmente durante a pandemia da COVID-19, o que pode representar um risco para os investidores.

Figura 2: Evolução, em rentabilidades, dos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.



Fonte: Elaboração própria.

3.2. Estatística descritiva

Na **tabela 4**, pode observar-se as estatísticas descritivas relevantes, relativas ao Ouro (Gold, Handy e Harman), da Prata (Silver, Handy e Harman) e da Platina (London Platinum), bem como dos índices de ações de energia sustentável como o Clean Energy Fuels, S&P Global Clean Energy, Wilderhill Clean Energy, e o NASDAQ Clean Edge Green Energy, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Com base nos resultados, pode verificar-se que as rentabilidades médias são positivas, designadamente dos índices verdes, tais como, Clean energy fuels (0.00035) NASDAQ Clean (0.00036), S & P Global Clean (0.00025), Wilderhill (2.11e-05, sendo a exceção o mercado da Platina (-2.10e-06). O índice Clean energy fuels (0.0478) apresenta o desvio-padrão mais acentuado, mostrando ser o índice com níveis de volatilidade mais acentuado. De forma adicional, também se percebe que os níveis de referência da assimetria e da curtose são distintos dos valores de modelo 0 e 3, respetivamente. As assimetrias apresentam na sua maioria valores diferentes de zero e negativos, sendo a exceção o índice Clean energy fuels (0.6173). No que diz respeito à curtose, o Clean energy fuels apresenta o valor mais significativo (15.2943). Num nível de significância de 1%, estimou-se o modelo JB para validar tais evidências. Este modelo demonstra a rejeição da hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal.

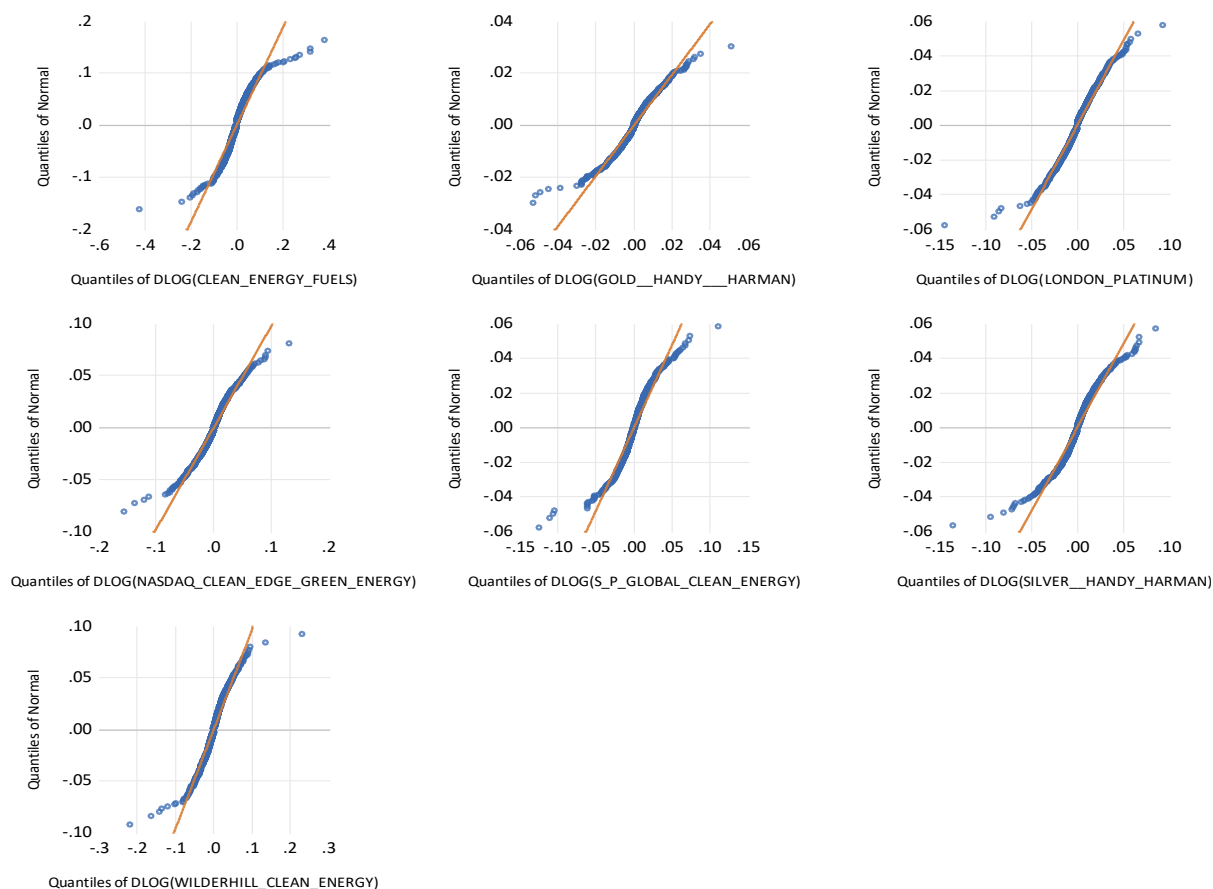
Tabela 4: Quadro resumo das estatísticas, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.

	Clean energy fuels	Gold	Platinum	NASDAQ Clean	S&P Global Clean	Silver	Wilderhill
Média	0.00035	0.00028	-2.10e-06	0.00036	0.00025	0.00021	2.11e-05
Desvio Padrão	0.0478	0.0088	0.01700	0.02372	0.01702	0.01671	0.02719
Assimetria	0.6173	-0.3134	-0.4453	-0.2974	-0.3817	-0.4543	-0.1457
Curtose	15.2943	7.2186	8.4120	7.0004	10.3532	9.0201	11.4568
Jarque-Bera	9790.7762	1165.4869	1929.0952	1048.9229	3504.6614	2376.9776	4591.5246
Probabilidade	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Observações	1539	1539	1539	1539	1539	1539	1539

Fonte: Elaboração própria.

Na **figura 3**, podem observar-se os gráficos de quantis relativos ao índice de preços do Ouro (Gold, Handy e Harman), da Prata (Silver, Handy e Harman) e da Platina (London Platinum), bem como dos índices de ações de energia sustentável como o Clean Energy Fuels, S&P Global Clean Energy, Wilderhill Clean Energy, e o NASDAQ Clean Edge Green Energy, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Também é possível inferir, relativamente à normalidade dos dados das séries temporais em estudo, através da análise gráfica de quantis ilustrados na figura 3, que estes gráficos apresentam duas linhas: uma de cor laranja, que representa a reta da distribuição normal, e outra de cor azul, que representa a distribuição dos dados de cada série temporal. Ao comparar a dispersão dos dados das séries temporais em relação à reta da distribuição normal, é possível constatar que nenhuma das séries está completamente sobreposta à linha cor de laranja, revelando uma certa assimetria nas distribuições das rentabilidades. Essa falta de sobreposição sugere que as distribuições das rentabilidades dos ativos analisados não seguem uma distribuição normal perfeita. Noutras palavras, os dados não estão simetricamente distribuídos em torno da média. Em vez disso, há alguma assimetria nas distribuições, o que indica a presença de eventos extremos ou uma maior concentração de dados numa extremidade da distribuição em comparação com a outra.

Figura 3: Gráficos de quantis, em rentabilidades, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.

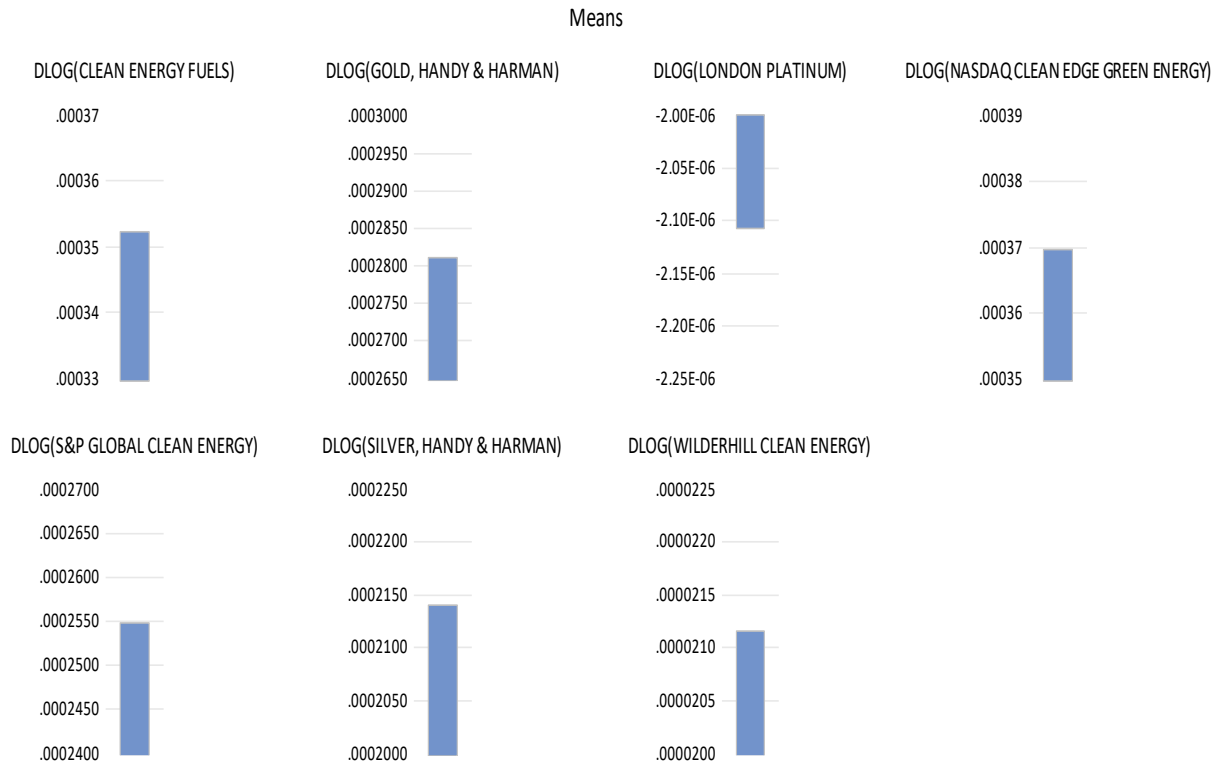


Fonte: Elaboração Própria.

Nota: Dados trabalhados pelo autor (*software: Eviews12*).

Na **figura 4**, observam-se as rentabilidades médias relativas ao Ouro (Gold, Handy e Harman), à Prata (Silver, Handy e Harman) e à Platina (London Platinum), bem como dos índices de ações de energia sustentável como o Clean Energy Fuels, S&P Global Clean Energy, Wilderhill Clean Energy, e o NASDAQ Clean Edge Green Energy, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Através da observação, verificamos que as rentabilidades médias são positivas, designadamente dos índices verdes, tais como, Clean energy fuels (0.00035) NASDAQ Clean (0.00036), S&P Global Clean (0.00025), Wilderhill (2.11e-05). Em relação aos metais preciosos, a Prata (0.00021) e o Ouro (0.00028) apresentam rentabilidades médias positivas, enquanto a Platina (-2.10e-06) mostra rentabilidades médias negativas.

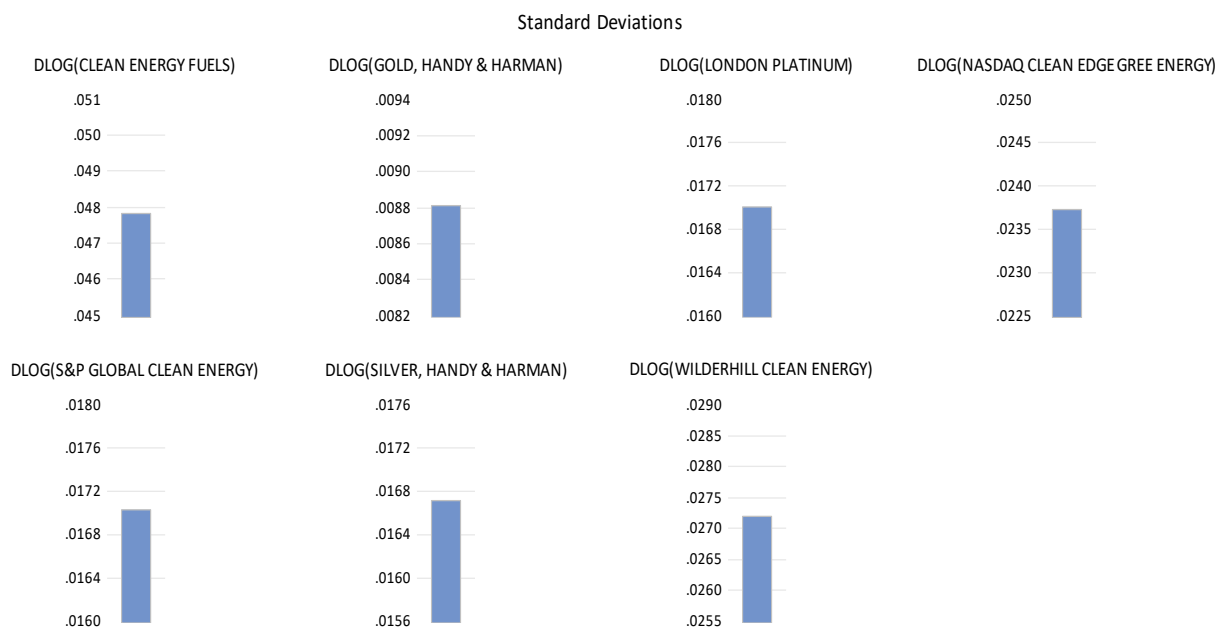
Figura 4: Evolução das rentabilidades médias relativas aos índices de ações de energia verde e aos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da **figura 5** revelam os desvios padrão dos metais preciosos e dos índices de ações verdes durante o período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Observando os dados, nota-se que o índice *Clean Energy Fuels* (0.0478) apresenta o maior desvio padrão em relação à média, indicando a maior dispersão das rentabilidades e, portanto, sendo o mais volátil entre os índices analisados. Além disso, os índices de energia verde *Wilderhill* (0.02719), *NASDAQ Clean* (0.02372), e *S&P Global Clean* (0.01702) mostram níveis de risco acima dos metais preciosos. Em outras palavras, têm uma maior variabilidade nas rentabilidades em comparação com o Ouro (0.0088), a Prata (0.01671) e a Platina (0.01700). Estes resultados têm implicações importantes para os investidores. Um desvio padrão alto indica maior risco e incerteza sobre as rentabilidades do ativo. Portanto, durante a gestão da sua carteira, os investidores podem ter de levar em consideração essas variações de volatilidade ao tomar decisões de investimento. Eles podem mudar a distribuição dos seus ativos de acordo com o nível de risco que estão dispostos a tolerar, levando em consideração a volatilidade dos diferentes ativos que têm à sua disposição.

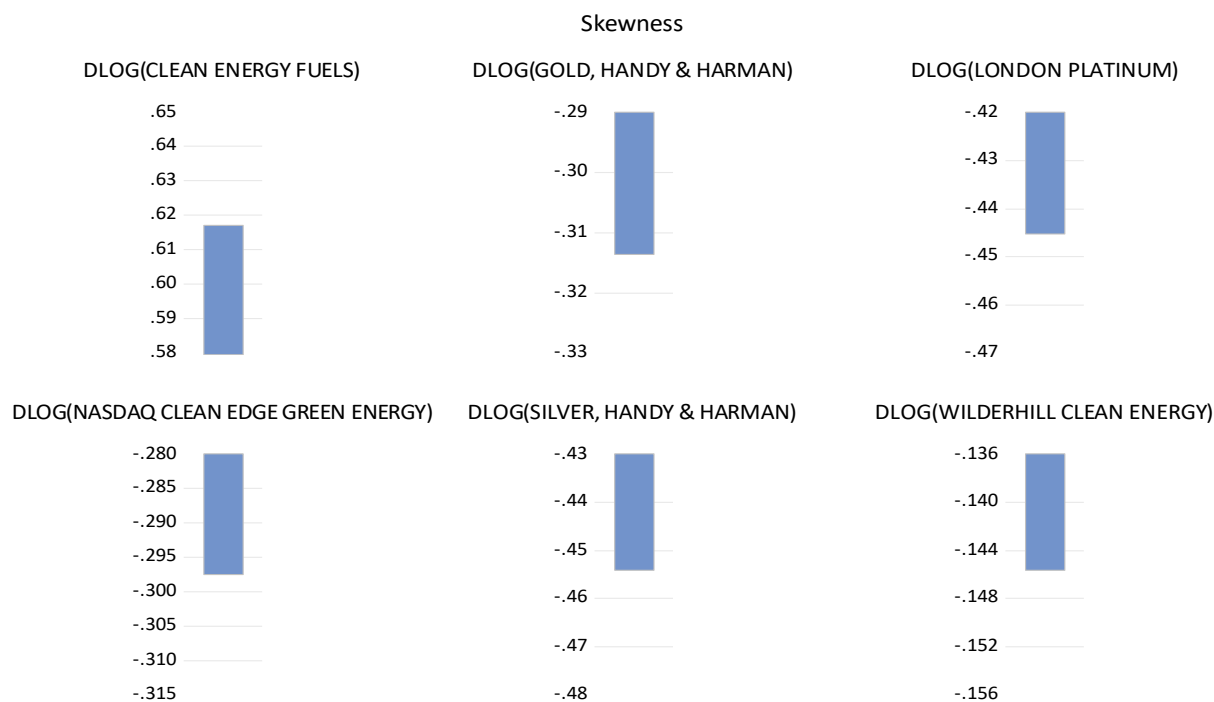
Figura 5: Evolução dos desvios-padrão, relativos aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da **figura 6** revelam assimetrias nas rentabilidades dos metais preciosos e dos índices de ações verdes durante o período analisado, de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Essas assimetrias são evidenciadas por valores diferentes de zero. O índice verde Clean energy fuels (0.6173) distingue-se dos seus pares por não apresentar assimetrias negativas, enquanto os índices de energia verde Wilderhill (-0.1457), NASDAQ Clean (-0.2974), S&P Global Clean (-0.3817) e os metais preciosos Platina (-0.4453), Prata (-0.4543) e o Ouro (-0.3134) apresentam valores negativos. Em termos práticos, estes resultados mostram que as séries temporais desses ativos podem não seguir uma distribuição gaussiana, ou seja, uma distribuição normal simétrica. Estes resultados têm implicações importantes para investidores e gestores de portfólio. Em primeiro lugar, aumenta o risco e a volatilidade associados a esses ativos, pois sugerem a possibilidade de movimentos de preços mais extremos em uma direção do que em outra. Em segundo lugar, os gestores de portfólio devem considerar essas assimetrias ao modelar o risco dos ativos, para evitar estimativas imprecisas do risco e decisões de investimento inadequadas. Em terceiro lugar, a diversificação da carteira torna-se crucial, pois investir em uma variedade de ativos pode ajudar a mitigar os riscos associados a essas assimetrias e proteger contra movimentos de preços extremos. Por fim, os investidores podem preferir ativos com assimetrias menos pronunciadas ao selecionar ativos para incorporar nas suas carteiras, especialmente aqueles que desejam reduzir o risco de cauda nas distribuições de rentabilidade.

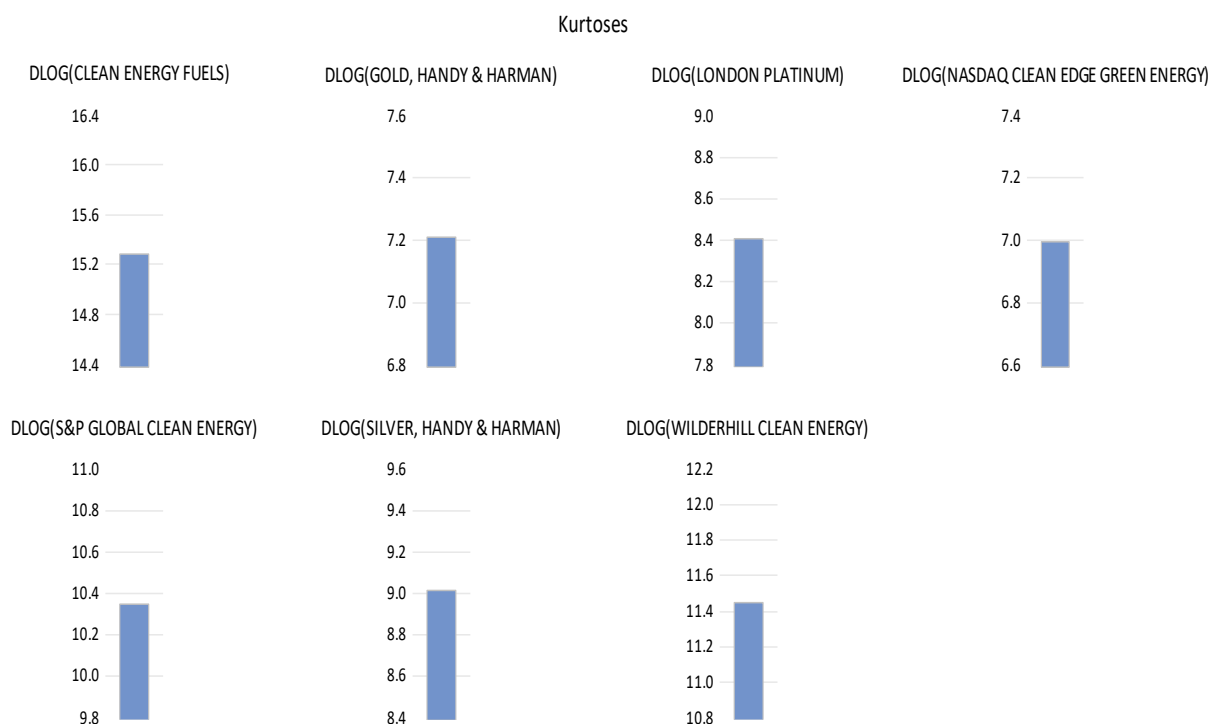
Figura 6: Evolução das assimetrias, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023



Fonte: Elaboração própria.

Os resultados da **figura 7** mostram as curtoses dos metais preciosos e dos índices de ações verdes durante o período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Através da observação gráfica verificamos que os valores das curtoses são diferentes de 3, o que evidencia distribuições de rentabilidades não gaussianas. O índice Clean Energy Fuels (15.2943) destaca-se dos seus pares por apresentar o valor mais significativo, indicando uma distribuição de rentabilidades mais pesada nas caudas, ou seja, uma maior probabilidade de ocorrência de rentabilidades extremas. Além disso, os índices de energia verde Wilderhill (11.4568), S&P Global Clean (10.3532), NASDAQ Clean (7.0004), assim como os metais preciosos Platina (8.4120), Prata (9.0201) e Ouro (7.2186) também apresentam valores de curtose muito significativos. Isso sugere que todos esses ativos têm distribuições de rentabilidades que diferem significativamente de uma distribuição normal, o que pode ter implicações importantes para a modelagem de risco e tomada de decisões de investimento. Em resumo, a interpretação desses resultados destaca a complexidade das distribuições de rentabilidades dos metais preciosos e índices de ações verdes, evidenciando a presença de caudas mais pesadas e maior probabilidade de rentabilidades extremas em comparação com uma distribuição normal.

Figura 7: Evolução das curtoses, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.



Fonte: Elaboração própria.

3.3. Diagnóstico

3.3.1. Estacionariedade das Séries Temporais

Para aplicar técnicas econométricas que pudessem responder às questões desta investigação foi necessário analisar a estacionariedade das séries temporais. Para tanto, foram aplicados os testes de raiz unitária em painéis (Breitung, 2000; Levin *et al*, 2002, e Im *et al*, 2003). Para validar os resultados foram estimamos os Dickey e Fuller, (1981), Phillips e Perron, (1988) e a transformação de Fisher. As propriedades destes testes são aprimoradas com a transformação de Fisher que também reduz a dependência da distribuição de resíduos. Essa transformação é utilizada para estabilizar a variância e diminuir a heterocedasticidade dos resíduos.

A **Tabela 5** fornece uma visão geral dos testes de estabilidade usados para séries temporais, incluindo índices de ação envolvendo energia verde e metais preciosos. Esta tabela abrange o período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Aplicaram-se os testes de Breitung (2000), Levin *et al*, (2002), Im *et al*, (2003) para confirmar a estacionariedade e, para validar os resultados, serão utilizados os testes de Dickey e Fuller

(1981) e Perron e Phillips (1988) utilizando as transformações do qui-quadrado de Fisher Chi-square e de Choi (2001). Esses testes estatísticos demonstraram que as séries temporais em painel atendiam aos critérios de estacionariedade estabelecidos pelos autores. A aplicação das transformações logarítmicas nas primeiras diferenças da série temporal permitiu que as características do ruído branco fossem alcançadas (mediana 0; variação constante), reforçando a validade dos resultados obtidos. Assim, foi possível rejeitar a hipótese nula de não estacionariedade com um nível de significância de 1%, conforme preconizado por Dickey, Fuller, Perron, Phillips e Choi.

Tabela 5: Quadro resumo dos testes de estacionariedade aplicados às séries temporais, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.

Teste raiz da unidade de grupo: Resumo				
Método	Estatística	Prob. **	Cross-seções	Obs
Nulo: Raiz da unidade (assume o processo de raiz da unidade comum)				
Levin, Lin e Chu t*	420.09	0.0000	7	10674
Breitung t-stat	-6.08	0.0000	7	10667
Null: Unit root (assumes individual unit root process)				
Im, Pesaran and Shin W-stat	-57.90	0.0000	7	10674
ADF - Fisher Chi-square	1828.15	0.0000	7	10674
PP - Fisher Chi-square	128.94	0.0000	7	10759

Fonte: Elaboração própria.

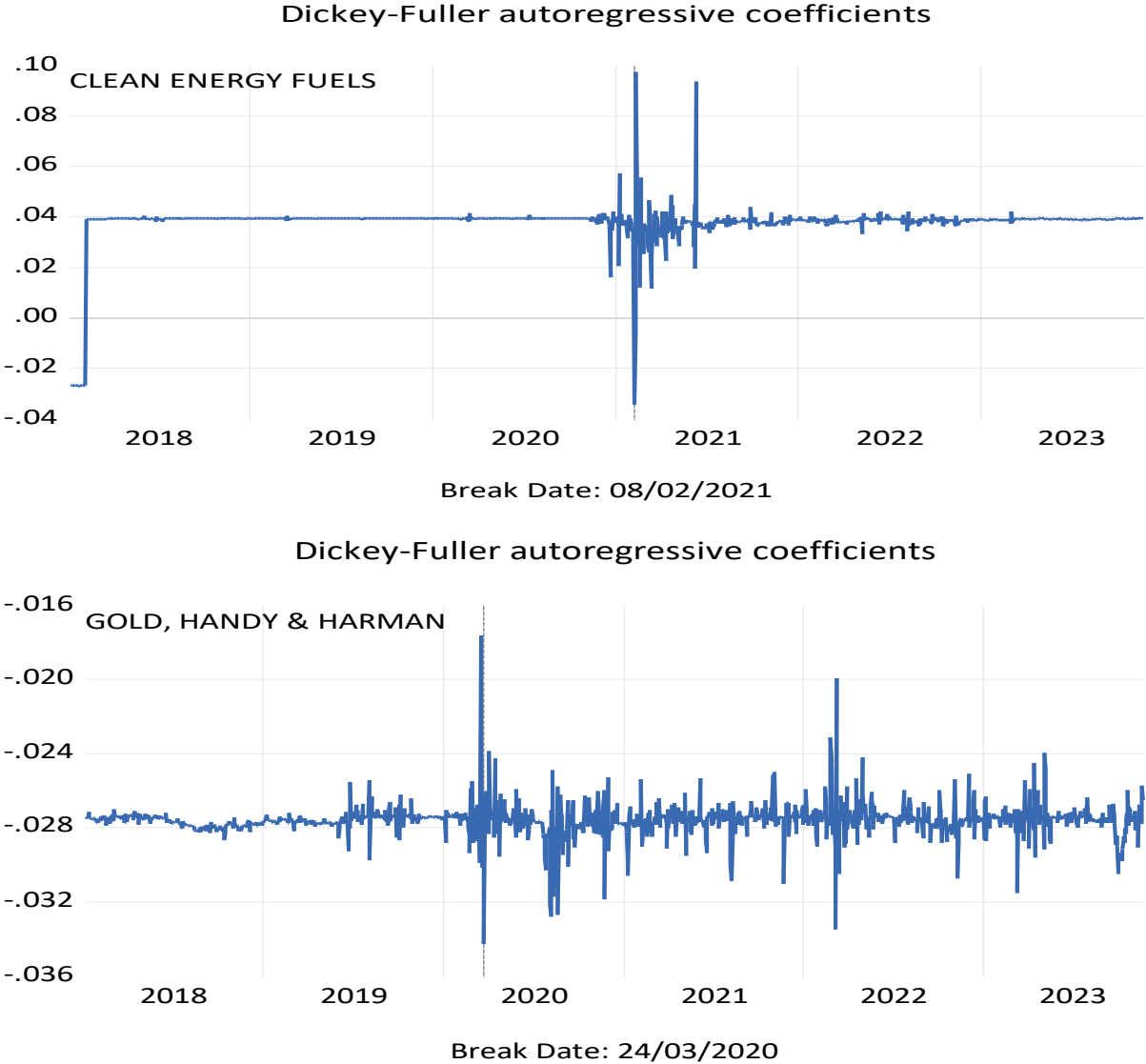
Nota: ** As probabilidades para os testes de Fisher são calculadas usando uma distribuição qui-quadrada assintótica. Todos os outros testes pressupõem normalidade assintótica.

3.3.2. Teste de Dickey-Fuller

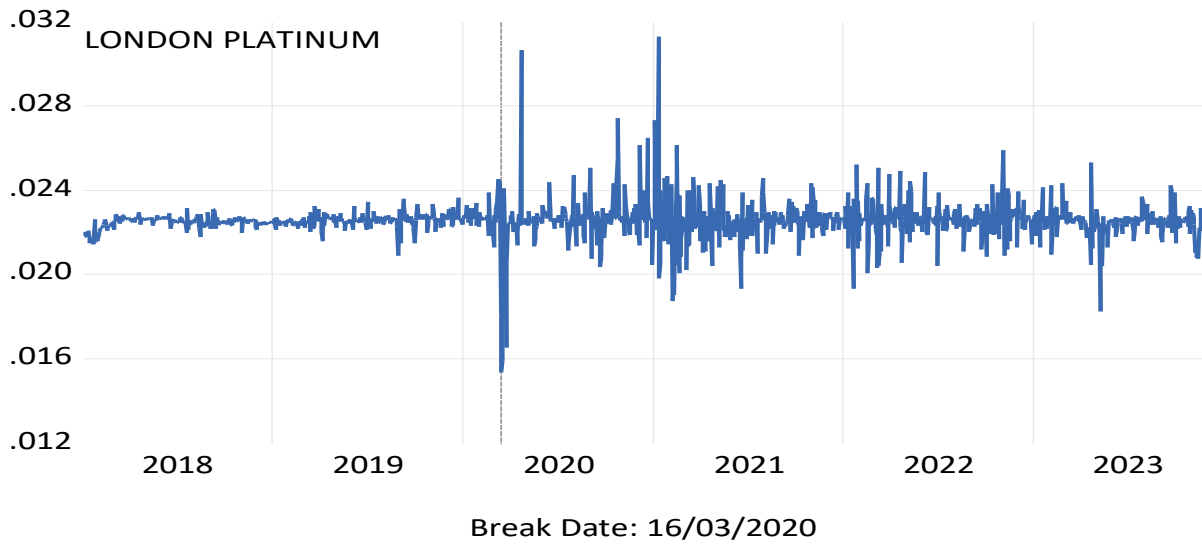
Uma visão geral do teste raiz unitário é apresentada na **Figura 8**, que também inclui quebras estruturais do teste de Clemente, aplicado às rentabilidades do Ouro, da Prata e da Platina. Estas rentabilidades também foram aplicadas a índices de ações de energia sustentável selecionados para esta pesquisa, Clean Energy Fuels, S&P Global Clean Energy, Wilderhill Clean Energy e NASDAQ Clean Edge Green Energy no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Os resultados do teste de Dickey-Fuller indicaram a presença de raízes unitárias nas rentabilidades de Ouro, Prata e Platina, bem como nos índices de ações de energia sustentável selecionados. Isso sugere a necessidade de diferenciação das séries temporais para torná-las estacionárias antes da modelagem. Os resultados evidenciam que as quebras mais significativas dos metais preciosos e do principal índice de ações de energias verdes ocorrem em 2020, a mencionar, o Ouro (24/03/2020), a

Platina (16/03/2020), a Prata (16/03/2020), Wilderhill Clean Energy (24/03/2020). Por outro lado, os restantes índices de energia verde apresentam as suas quebras de estrutura mais significativas em 2021, como observado nos índices S&P Global Clean Energy (07/01/2021), NASDAQ Clean Edge Green Energy (07/01/2021), Clean Energy Fuels (08/02/2021). Essas datas de quebras mais significativas refletem os impactos económicos causados pela pandemia de Covid-19, que levou a um colapso nos mercados financeiros globais. No entanto, o mercado de energias verdes mostrou-se resiliente, com uma recuperação mais rápida do que outros setores. Esses dados são cruciais para compreender não apenas a volatilidade dos mercados de metais preciosos e energias verdes, mas também as oportunidades de investimento que podem surgir em momentos de crise.

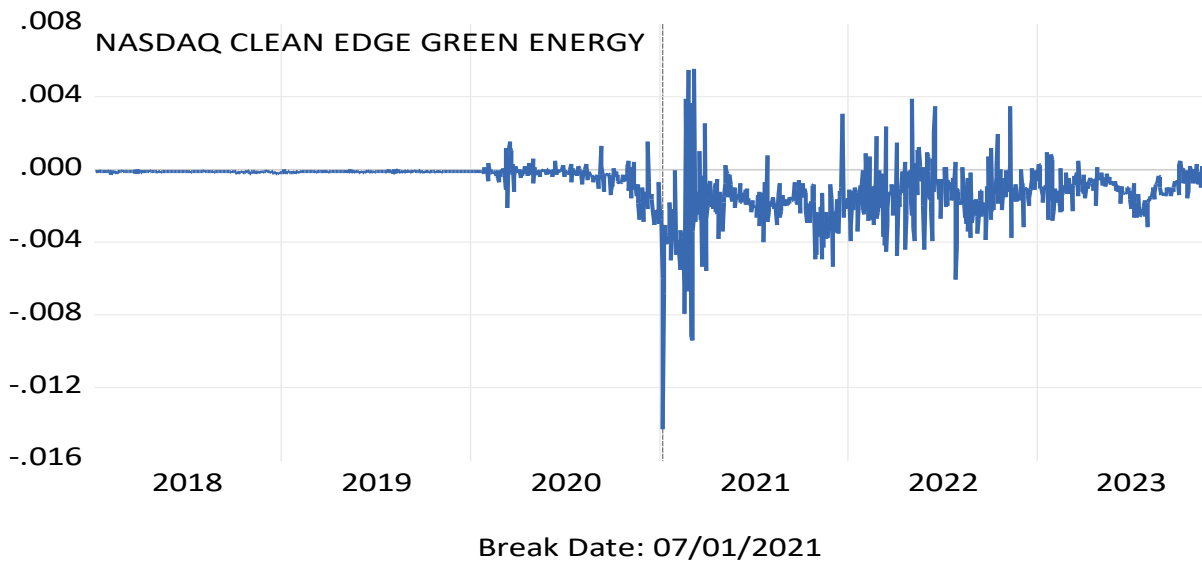
Figura 8: Teste de raiz unitária, com quebras estruturais de Clemente, em rentabilidades aplicadas às séries temporais, relativas aos índices de ações de energia verde e dos metais preciosos, no período de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023.



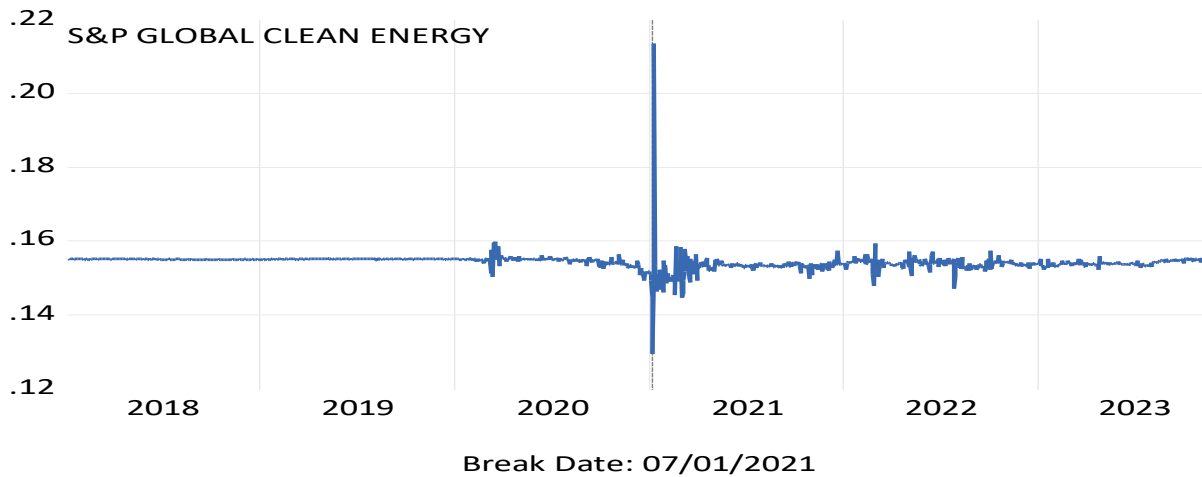
Dickey-Fuller autoregressive coefficients

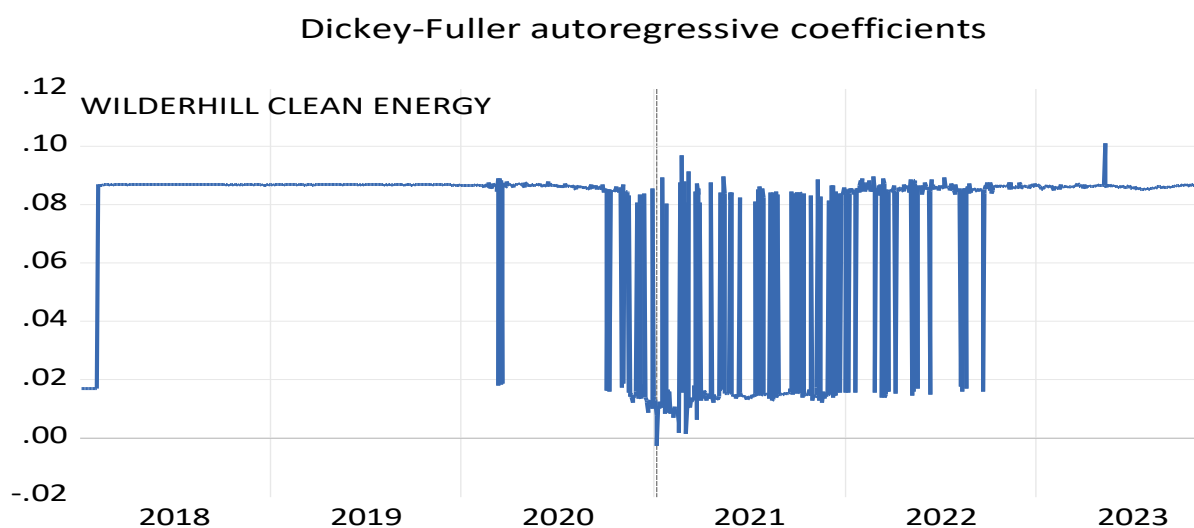
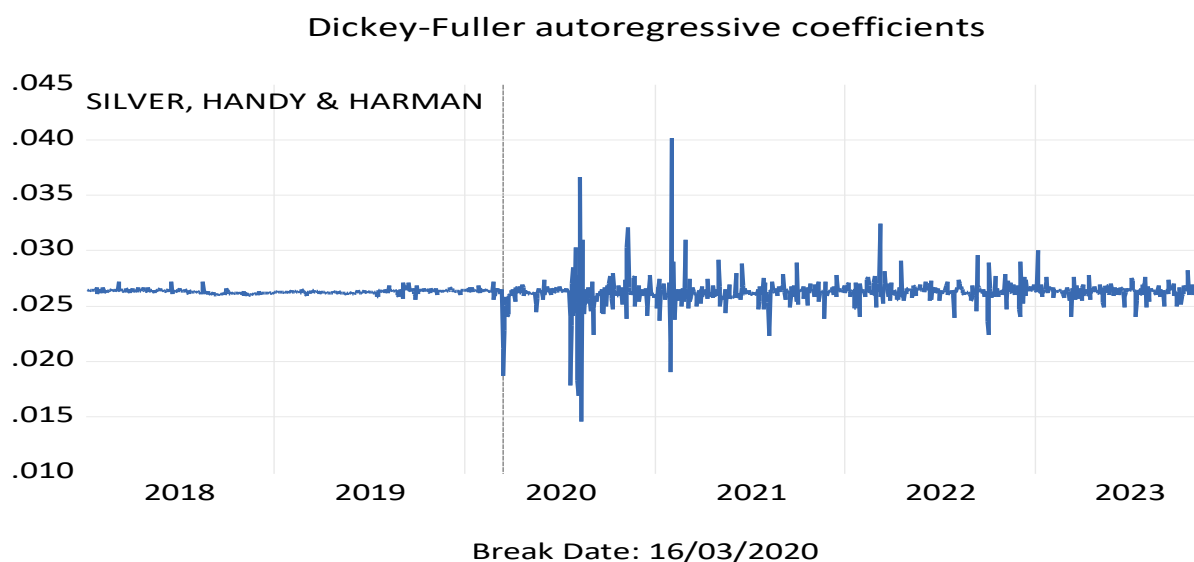


Dickey-Fuller autoregressive coefficients



Dickey-Fuller autoregressive coefficients





Fonte: Elaboração própria.

3.3.3. Teste VAR Granger Causality

Os resultados do teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco, durante o período Tranquilo são apresentados na **tabela 6**. Os resultados são relacionados aos índices de ações de energia verde Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy e WilderHill Clean Energy, bem como aos metais preciosos Londres Gold, Silver, Handy e Harman e Gold. Os resultados mostram que a determinação dos preços é afetada por 15 movimentos, desde um total de 42 possibilidades. Através da análise dos resultados, constatou-se que a Prata influencia na determinação dos preços de todos seus pares com exceção somente do Clean Energy Fuels.

Por outro lado, o Ouro exerce influência na Platina, S&P Global, NASDAQ e WilderHill, contudo, não tem impacto na Prata e no Clean Energy Fuels. O WilderHill Clean Energy influencia a determinação dos preços da Platina, S&P Global e NASDAQ, mas não afeta os outros mercados. Enquanto isso, o NASDAQ Clean influencia apenas a Platina e o WilderHill. Em menor medida, a Platina influencia apenas o NASDAQ Clean, sem exercer nenhum efeito sobre os outros mercados. Da mesma forma, o S&P Global tem o poder de influenciar somente os preços da Platina, sem capacidade de prever os outros mercados. O Clean Energy Fuels não tem influência sobre seus concorrentes, enquanto a Platina é o mercado que mais sofre impactos dos seus concorrentes, com 5 em 6 hipóteses. Esses resultados mostram como os vários ativos interagem entre si, tanto nos mercados de energia verde, quanto em relação aos metais preciosos.

Tabela 6: Teste de VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o período Tranquilo

	Gold	Platinum	Silver	S&P	NASDAQ	Clean	Wilderhill
Gold	*****	0.82 (2)	10.06***(2)	0.79 (2)	0.73 (2)	0.74 (2)	0.81 (2)
Platinum	2.74**(2)	*****	15.52***(2)	4.10** (2)	5.84 ***(2)	1.15 (2)	7.78***(2)
Silver	0.34 (2)	1.39 (2)	*****	0.29 (2)	1.67 (2)	1.05 (2)	1.34 (2)
S&P Global	3.03**(2)	1.35 (2)	2.79*(2)	*****	0.89 (2)	0.05 (2)	4.84***(2)
NASDAQ Clean	4.75***(2)	3.71**(2)	5.04***(2)	0.22 (2)	*****	0.10 (2)	4.62**(2)
Clean Energy	0.19 (2)	0.11 (2)	0.45 (2)	1.32 (2)	1.42 (2)	*****	0.76 (2)
Wilderhill	5.59 ***(2)	1.46 (2)	3.93**(2)	1.49 (2)	3.11**(2)	0.29 (2)	*****

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os mercados em coluna causam os mercados em linha. O valor entre parêntesis corresponde ao nível de defasamentos (em dias). Os asteriscos ***, **, * representam o nível de significância a 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Os resultados do teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald durante o período da pandemia de 2020 são apresentados na **tabela 7**, relacionando-se com os índices de ações de energia verde Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy, WilderHill Clean Energy, e aos metais preciosos Ouro, Prata, Prata, Handy e Harman e Platina de Londres.

Os resultados revelam que existem 26 movimentos (de um total de 42 possíveis) a afetarem a determinação dos preços nos mercados em análise. Ao examinar os resultados,

observamos que os índices S&P Global e o NASDAQ Clean (5 em 6 possíveis) influenciam a os preços de todos os seus pares, exceto o índice WilderHill Clean Energy. Da mesma forma, o preço da Prata, S&P Global, NASDAQ e WilderHill é influenciado pelo preço da Platina, enquanto os outros mercados permanecem inalterados. De forma similar, Clean Energy Fuels influencia apenas os preços do Ouro, Platina, S&P Global e NASDAQ. Por outro lado, a Prata influencia o mercado do Ouro, da Platina e o índice NASDAQ, enquanto WilderHill influencia o Ouro, a Platina, a Prata e o índice Clean Energy, sem exercer influência sobre os restantes mercados. A formação dos preços dos índices NASDAQ e WilderHill é influenciada pelo Ouro, mas os efeitos não são significativos em comparação com os demais mercados. O Ouro e a Platina são os ativos mais vulneráveis durante a crise nos mercados globais, recebem dos seus pares (5 em 6 possíveis). É interessante notar que o Ouro e a Platina são os ativos mais vulneráveis durante crises nos mercados globais, recebendo influências da maioria de seus pares. Isso demonstra a importância de uma análise abrangente e integrada dos diferentes mercados para compreender melhor as dinâmicas e interações entre eles. Em contrapartida, ativos como o Clean Energy Fuels e o WilderHill exercem influências diretas em determinados índices, mostrando a complexidade e diversidade do mercado financeiro.

Tabela 7: Teste de VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o período da pandemia Covid-19

	Gold	Platinum	Silver	S&P Global Clean	NASDAQ Clean	Clean Energy Fuels	Wilderhill
Gold	*****	1.62 (9)	2.18**(9)	2.22**(9)	2.03**(9)	2.04**(9)	1.95**(9)
Platinum	1.12 (9)	*****	2.57*** (9)	2.97*** (9)	2.34**(9)	3.93*** (9)	2.30**(9)
Silver	0.76 (9)	3.24*** (9)	*****	2.81*** (9)	1.83*(9)	1.44 (9)	1.98**(9)
S&P Global Clean	1.53 (9)	2.59*** (9)	1.19 (9)	*****	2.04**(9)	1.78*(9)	1.13 (9)
NASDAQ Clean	2.31** (9)	3.42*** (9)	1.72*(9)	2.08** (9)	*****	1.96** (9)	1.14 (9)
Clean Energy Fuels	0.95 (9)	0.94 (9)	0.84 (9)	1.77*(9)	1.94** (9)	*****	1.75*(9)
Wilderhill	1.68*(9)	3.22*** (9)	1.29 (9)	1.29 (9)	1.44 (9)	1.54 (9)	*****

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os mercados em coluna causam os mercados em linha. O valor entre parêntesis corresponde ao nível de defasamentos (em dias). Os asteriscos ***, **, * representam o nível de significância a 1%, 5% e 10%, respetivamente.

Os resultados do teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para o período Pré-Conflito são mostrados na Tabela 8. Eles mostram que os indicadores de ação energética

sustentável, como Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy, WilderHill Clean Energy e os metais valiosos, Ouro, Prata, Platina, foram mais elevados. Houve um total de 42 movimentos possíveis, mas o estudo encontrou apenas 11 que afetaram a forma como os preços foram definidos.

Com base nos resultados, verifica-se que o Ouro, e os índices NASDAQ e WilderHill (2 em 6 possíveis) influenciam de igual forma o metal precioso Platina e o índice Clean Energy, não exercendo qualquer influência nos restantes mercados. Os índices S&P Global e Clean Energy Fuels são influenciados pela Platina, mas nenhum impacto significativo é observado nos demais mercados analisados. Em menor escala, a Prata e o Clean Energy têm impacto apenas na formação dos preços da Platina, assim como S&P Global exerce influência na formação de preços somente do Clean Energy Fuels. Estas descobertas sugerem que existe uma interconexão complexa entre os diferentes mercados analisados, com certos ativos exercendo maior influência sobre outros. Além disso, os resultados indicam que o mercado da Platina e do Clean Energy pode ser mais sensível a mudanças em determinados índices, como o NASDAQ e o Clean Energy Fuels. Essas informações são essenciais para compreender melhor as dinâmicas de mercado e tomar decisões estratégicas informadas.

Tabela 8: Teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o subperíodo de Pré-Conflito

	Gold	Platinum	Silver	S&P Global Clean	NASDAQ Clean	Clean Energy Fuels	Wilderhill
Gold	*****	0.19 (2)	0.39 (2)	0.59 (2)	0.26 (2)	1.34 (2)	0.23 (2)
Platinum	3.47 (2) **	*****	9.07 (2) ***	1.83 (2)	4.51 (2) **	3.26 (2) **	4.88 (2) ***
Silver	1.69 (2)	0.43 (2)	*****	1.22 (2)	1.18 (2)	1.71 (2)	0.92 (2)
S&P Global Clean	0.20 (2)	5.08 (2) ***	0.41 (2)	*****	0.62 (2)	0.29 (2)	0.21 (2)
NASDAQ Clean	0.20 (2)	2.39 (2) *	1.19 (2)	2.22 (2)	*****	0.02 (2)	0.68 (2)
Clean Energy Fuels	2.81 (2) **	0.85 (2)	0.87 (2)	5.18 (2) ***	6.22 (2) ***	*****	6.68 (2) ***
Wilderhill	0.24 (2)	1.92 (2)	1.37 (2)	1.29 (2)	0.93 (2)	0.09 (2)	*****

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os mercados em coluna causam os mercados em linha. O valor entre parêntesis corresponde ao nível de defasamentos (em dias). Os asteriscos ***, **, * representam o nível de significância a 1%, 5% e 10%, respetivamente.

Na **tabela 9**, encontram-se os resultados do teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald referentes ao período de Conflito, focando os índices de ações relacionados com a energia sustentável, como Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy, WilderHill Clean Energy, e os metais preciosos Gold, Handy e Harman, Silver, Handy e Harman e London Platinum. Os resultados revelam a presença de 18 movimentos (de um total de 42 possíveis) que têm impacto na formação dos preços, no subperíodo de Pré-Conflito os movimentos eram somente de 11. O metal precioso Platina influencia a formação de preços da Prata, S&P Global, NASDAQ e Clean Energy Fuels, semelhantemente o índice S&P Global afeta a formação de preços do Ouro, Platina, NASDAQ e WilderHill não afetando os preços dos restantes mercados. O índice Clean Energy influencia a formação de preços do Ouro, Prata, NASDAQ e WilderHill, enquanto o NASDAQ Clean afeta a formação dos preços do Ouro, Platina e WilderHill não exercendo qualquer influencia nos preços dos restantes mercados. Em menor escala o índice WilderHill Clean Energy afeta somente os preços do Ouro, por outro lado o mercado do Ouro não influencia a formação dos preços de nenhum mercado em análise. De forma complementar, verificam-se que o Ouro é o ativo que mais choques recebe dos seus pares (4 em 6 possíveis).

Tabela 9: Teste VAR Granger Causality/Block Exogeneity Wald para exogeneidade em Bloco para os mercados em análise, durante o subperíodo de Conflito

	Gold	Platinum	Silver	S&P Global Clean	NASDAQ Clean	Clean Energy Fuels	Wilderhill
Gold	*****	1.21 (11)	1.87 (11) **	1.95 (11) **	2.18 (11) **	2.19 (11) **	1.76 (11) *
Platinum	0.38 (11)	*****	2.72 (11) ***	2.23 (11) **	1.98 (11) **	1.44 (11)	1.28 (11)
Silver	0.77 (11)	1.63 (11) *	*****	0.79 (11)	1.26 (11)	2.19 (11) **	1.09 (11)
S&P Global Clean	1.53 (11)	2.10 (11) **	0.75 (11)	*****	1.45 (11)	0.93 (11)	0.86 (11)
NASDAQ Clean	1.29 (11)	1.74 (11) *	1.11 (11)	2.16 (11) **	*****	1.84 (11) **	1.30 (11)
Clean Energy Fuels	1.24 (11)	2.12 (11) *	0.59 (11)	1.08 (11)	1.54 (11)	*****	1.54 (11)
Wilderhill	0.63 (11)	1.14 (11)	0.97 (11)	2.77 (11) ***	2.88 (11) ***	2.18 (11) **	*****

Fonte: Elaboração própria.

Nota: Os mercados em coluna causam os mercados em linha. O valor entre parêntesis corresponde ao nível de defasamentos (em dias). Os asteriscos ***, **, * representam o nível de significância a 1%, 5% e 10%, respetivamente.

3.3.4. Teste do expoente da Detrended Fluctuation Analysis (DFA): Análise Global

Na **tabela 10**, são apresentados os resultados do expoente Detrended Fluctuation Analysis (DFA), relativos aos índices de preços diários do Ouro (Gold, Handy e Harman), da Prata (Silver, Handy e Harman) e da Platina (London Platinum), assim como os índices de ações ecológicos, como o Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy e WilderHill Clean Energy, durante o período Tranquilo e durante a pandemia de 2020.

No período Tranquilo, observa-se que o Ouro, os índices de ações de energia verde, NASDAQ Clean Edge e WilderHill estão em equilíbrio e o pressuposto Random Walk não é rejeitado. Estes resultados mostram que a informação do mercado é ajustada de forma eficaz, o que impede a implementação de estratégias de arbitragem. Por outro lado, observam-se que Platina (0.52), S&P Global (0.54) e Clean Energy Fuels (0.61) mostram memórias longas, ou persistência nas suas rentabilidades. Isso indica que os novos dados do mercado não mudam imediatamente e que os preços passados estão correlacionados com o tempo, indicando que os resíduos não são independentes e distribuídos uniformemente. Em relação à Prata, observamos que a queda mostra antipersistência, indicando lembranças a curto prazo. Isso também indica que a hipótese de Random Walk foi rejeitada e pode haver uma hipótese de ganhar mais do que o mercado sem correr risco adicional.

Todos os mercados rejeitaram a hipótese de *Random Walk* durante a pandemia global de 2020. Os mercados de metais preciosos, como a Prata (0.62) e a Platina (0.59), mostram memórias longas muito significativas com *slopes* de DFA elevados. Os índices de energia verde também possuem características semelhantes, com S&P *Global Clean* (0.62), *Wilderhill* (0.59) e o *NASDAQ Clean* (0.57). Estes mercados demonstram uma (in) eficiência significativa no ajustamento de informações novas que chegam ao mercado. Por outro lado, também se verificou a presença de memórias a curto prazo designadamente para o Ouro (0.48) e para o índice verde Clean Energy Fuels (0.48). Em termos práticos, estes resultados indicam que, durante o período de estabilidade, estratégias de arbitragem são dificultadas nos mercados do Ouro e nos índices verdes NASDAQ Clean Edge e o WilderHill, enquanto oportunidades de ganhos acima da média do mercado podem existir na Platina, Prata, e nos índices verdes S&P Global Clean e Clean Energy Fuels. Entretanto, todos os mercados mostraram ineficiências durante a pandemia global de 2020. Estas descobertas sugerem que investidores e traders podem se beneficiar ao focar em estratégias de arbitragem nos mercados da Platina, Prata e nos índices verdes S&P Global Clean e Clean Energy Fuels, em períodos de volatilidade. Por outro lado, a presença de memórias a curto prazo para o Ouro

e o índice verde Clean Energy Fuels durante a estabilidade do mercado indica a importância de estudar o comportamento passado desses ativos para prever movimentos futuros. Em resumo, enquanto alguns mercados mostraram ineficiências durante a pandemia de 2020, há oportunidades de lucro acima da média em outros ativos e índices verdes. Estas descobertas corroboram as afirmações dos autores Chambino *et al*, (2023) e Dias, Pires *et al*, (2022) de que a pandemia mundial de 2020 deixou marcas duradouras nos mercados internacionais.

Tabela 10: Expoente de DFA para as rentabilidades, no período Tranquilo e da Pandemia de 2020 Os valores de ajustamentos lineares tiveram $R^2 > 0.99$.

Índices	α_{DFA} (Tranquilo)	Resultados	α_{DFA} (Pandemia)	Resultados
Gold	0.50 \cong 0.0019	Random Walk	0.48** \cong 0.0026	Anti - Persistência
Platinum	0.52** \cong 0.0044	Persistência	0.59** \cong 0.0027	Persistência
Silver	0.49** \cong 0.0014	Anti - Persistência	0.62** \cong 0.0015	Persistência
S&P Global Clean	0.54** \cong 0.0011	Persistência	0.62** \cong 0.0041	Persistência
NASDAQ Clean	0.50 \cong 0.0084	Random Walk	0.57** \cong 0.0023	Persistência
Clean Energy Fuels	0.61** \cong 0.0021	Persistência	0.48** \cong 0.0032	Anti - Persistência
Wilderhill	0.50 \cong 0.0078	Random Walk	0.59** \cong 0.0022	Persistência

Fonte: Elaboração própria.

Nota: As hipóteses são: $H_0: \alpha = 0.5$ e $H_1: \alpha \neq 0.5$.** Intervalo de confiança a 95%.

A **tabela 11** mostra os resultados do Detrended Fluctuation Analysis (DFA), relativos aos índices de preços diários do Ouro (Gold, Handy e Harman), da Prata (Silver, Handy e Harman) e da Platina (London Platinum), assim como os índices de ações ecológicas, como o Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy e WilderHill Clean Energy, durante o período Pré-Conflito e durante o Conflito geopolítico entre a Rússia e a Ucrânia em 2022.

Durante o período Pré-Conflito, nenhum dos mercados analisados estava em equilíbrio, rejeitando a hipótese da Random Walk a um nível de significância de 5%. Porém quando se analisam os metais preciosos e os índices de energia verde constatam-se diferenças, ora vejamos, os metais preciosos como o Ouro (0.46), Platina (0.45) e a Prata (0.48) apresentam antipersistência, ou seja, memórias a curto prazo. Em termos práticos, o fenómeno que ocorre quando as rentabilidades a curto prazo tendem a ser inversamente relacionados com as rentabilidades futuras é chamado de "antipersistência" nas

rentabilidades do mercado financeiro. Por outras palavras, se um ativo financeiro apresenta comportamento antipersistente, uma rentabilidade positiva em um período específico tem mais probabilidade de ser seguido por uma rentabilidade negativo no período subsequente, e vice-versa. Por outro lado, os índices verdes apresentam persistências significativas, ora vejamos, S&P Global Clean (0.55), NASDAQ Clean (0.56), Clean Energy Fuels (0.52), Wilderhill (0.55), em termos práticos a persistência nas rentabilidades pode ser interpretada como uma medida de momento ou tendência nos mercados financeiros, dito de outra forma, reflete a ideia de que os preços dos ativos podem continuar a deslocar-se na mesma direção por um período de tempo, em vez de reverterem rapidamente para a média, proporcionando assim ganhos acima da média em virtude do padrão de preços que apresentam. No entanto, é importante ressaltar que a persistência nas rentabilidades também pode estar sujeita a reversões, especialmente em mercados voláteis ou sujeitos a eventos inesperados. Portanto, os investidores devem estar atentos não apenas à persistência das rentabilidades, mas também a outros fatores que possam influenciar a trajetória dos preços dos ativos. Além disso, a análise da persistência das rentabilidades pode ser uma ferramenta útil para identificar oportunidades de investimento e gerir o risco de forma mais eficaz.

Um padrão muito semelhante à pandemia global de 2020 surgiu durante o período de conflito. A maioria dos metais preciosos e índices de energia verde estão a ficar com uma tendência para a estabilidade, exceto a platina (0,49) que exhibe antipersistência. Em termos de resultados Ouro (0.54), Prata (0.54), S&P Global Clean (0.59), NASDAQ Clean (0.56), Clean Energy Fuels (0.55), Wilderhill (0.53) mostram persistências bastante acentuadas, enquanto na prática, a convergência para a persistência nas rentabilidades dos metais preciosos e dos índices de energia verde sugere padrões comuns na formação de preços.

Comparando os períodos Pré-Conflito e Conflito, notamos diferenças e semelhanças nos mercados financeiros. No Pré-Conflito, nenhum mercado está em equilíbrio, com a rejeição da hipótese de Random Walk. Durante o conflito, os metais preciosos e índices de energia verde convergem para persistência nas rentabilidades, exceto a Platina, que apresenta antipersistência. Isto sugere padrões consistentes nos mercados durante incertezas económicas. Essa convergência pode ser explicada pela procura por ativos seguros em momentos de crise, o que afeta diretamente as rentabilidades dos metais preciosos. Além disso, a persistência nas rentabilidades dos índices verdes pode refletir a crescente importância das energias renováveis no cenário económico global. Em termos operacionais, a convergência para persistência é uma informação útil sobre como os preços são afetados por eventos macroeconómicos, que permite mudanças nas estratégias de investimento e gestão de risco se necessárias. Estas constatações destacam a relevância de

compreender os padrões do mercado para ajustar-se às mudanças económicas e políticas. Portanto, é essencial para investidores e gestores financeiros acompanharem de perto os movimentos dos índices verdes e dos metais preciosos para tomarem decisões mais assertivas. Dessa forma, estarão mais preparados para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades que surgirem no mercado.

Tabela 11: Expoente DFA para as rentabilidades, no período de conflito. Os valores de ajustamentos lineares tiveram $R^2 > 0.99$.

Índices	α_{DFA} (Pré-Conflito)	Resultados	α_{DFA} (Conflito)	Resultados
Gold	0.46** \cong 0.0027	Anti - Persistência	0.54** \cong 0.0013	Persistência
Platinum	0.45** \cong 0.0016	Anti - Persistência	0.49** \cong 0.0068	Anti - Persistência
Silver	0.48** \cong 0.0013	Anti - Persistência	0.54** \cong 0.0047	Persistência
S&P Global Clean	0.55** \cong 0.0015	Persistência	0.59** \cong 0.0011	Persistência
NASDAQ Clean	0.56** \cong 0.0138	Random Walk	0.56** \cong 0.0012	Persistência
Clean Energy Fuels	0.52** \cong 0.0013	Persistência	0.55** \cong 0.0077	Persistência
Wilderhill	0.55** \cong 0.0019	Persistência	0.53** \cong 0.0013	Persistência

Fonte: Elaboração própria.

Nota: As hipóteses são: $H_0: \alpha = 0.5$ e $H_1: \alpha \neq 0.5$. ** Intervalo de confiança a 95%.

Capítulo IV: Conclusões

Esta dissertação teve como objetivo examinar o comportamento da formação de preços de metais preciosos (Ouro, Prata e Platina) e índices de ações de energia verde (Clean Energy Fuels, NASDAQ Clean Edge Green Energy, S&P Global Clean Energy, WilderHill Clean Energy) durante vários períodos económicos, de 1 de janeiro de 2018 a 23 de novembro de 2023. Para garantir resultados consistentes, a análise foi realizada em quatro subperíodos distintos: o período Tranquilo, de 1 de janeiro de 2018 a 31 de dezembro de 2019; o período da pandemia global de Covid-19, de 1 de janeiro de 2020 a 31 de dezembro de 2020; o período Pré-Conflito, de 1 de janeiro de 2021 a 23 de fevereiro de 2022; e, finalmente, o período de Conflito armado entre Rússia e Ucrânia, de 24 de fevereiro de 2022 a 23 de novembro de 2023, abrangendo eventos altamente complexos no contexto económico e geopolítico. Inicialmente, foram utilizadas medidas estatísticas descritivas para caracterizar a amostra e avaliar séries temporais, destacando a ausência de distribuições gaussianas e a importância da transformação logística no processo de pesquisa. Além disso, o teste de

aderência proposto por Jarque e Bera (1980) foi usado para confirmar a distribuição dos dados das sete séries temporais em estudo e para testar a ideia de normalidade. Os resultados rejeitaram a ideia de que os dados seguem uma distribuição normal. Na segunda etapa, para entender a extensão da volatilidade, foram analisadas as quebras estruturais mais significativas nos 4 subperíodos. Para tanto, foi aplicado o teste de Clemente *et al*, (1998).

As quebras estruturais nos preços dos índices de energia verde refletem a sensibilidade do mercado às questões externas e à sua dependência de políticas governamentais favoráveis (como por exemplo a redução de imposto em equipamentos para geração de energia verde a exemplo dos painéis fotovoltaicos e a aprovação pela do acordo europeu que prevê fim da venda de automóveis ligeiros novos movidos com motor de combustão convencional). A volatilidade nos mercados financeiros também desempenha um papel significativo, pois influencia diretamente o investimento e a confiança dos investidores neste setor. Analisar estes eventos é crucial para compreender como os índices de energia verde podem se adaptar e fortalecer contra futuros desafios. Os resultados indicaram que as séries temporais do painel são estacionárias, rejeitando a hipótese nula a um nível de significância de 1%. Esses resultados foram confirmados pelos testes Dickey-Fuller e Perron-Phillips com transformação de Fisher e Choi. Com base nos resultados, verificamos que as quebras mais significativas nos metais preciosos e no principal índice de ações de energia verde ocorreram em 2020, a saber: Ouro (24/03/2020), Platina (16/03/2020), Prata (16/03/2020), *Wilderhill Clean Energy* (24/03/2020). Por outro lado, os demais índices de energia verde mostram as suas quebras estruturais mais significativas em 2021, conforme observado no índice *S&P Global Clean Energy* (01/07/2021), índice *NASDAQ Clean Edge Green Energy* (01/07/2021) e *Clean Energy Fuels* (02/08/2021).

Para abordar a primeira pergunta de investigação- ii) "Os eventos de 2020 e 2022 tiveram impacto nos preços dos índices de energia verde?" - aplicou-se o modelo VAR Granger Causality para examinar as relações causais entre os índices de energia verde e os metais preciosos. Nos mercados analisados, existem 42 movimentos possíveis para cada período. No período Tranquilo foram identificados 15 movimentos que influenciam a formação de preços. Vale a pena ressaltar que a Prata influencia significativamente 5 dos seus 6 pares possíveis, enquanto os índices de Energia Verde não exercem influência sobre esses ativos. Durante o período pandêmico de 2020, o aumento para 26 movimentos entre 42 possíveis destacou a volatilidade do mercado. Os índices S&P Global e NASDAQ Clean foram particularmente influentes nos preços de todos os seus pares, exceto o índice WilderHill. No período Pré-Conflito, o mercado conheceu uma relativa calma, evidenciada pela redução para 11 movimentos, Ouro (24/03/2020), Platina (16/03/2020), Prata (16/03/2020) e Wilderhill

Clean Energy (24/03/2020) foram afetados. Como resultado, as quebras estruturais mais significativas em metais preciosos e no principal índice de ações de energia verde ocorreram em 2020, durante a pandemia global de Covid-19. Por outro lado, os restantes índices de energia verde apresentam as suas quebras estruturais mais significativas em 2021, durante o período Pré-Conflito, conforme observado no índice S&P Global Clean Energy (01/07/2021), índice NASDAQ Clean Edge Green Energy (01/07/2021), Combustíveis de Energia Verde (02/08/2021). Estas ruturas estruturais podem ser atribuídas a uma variedade de fatores, incluindo a volatilidade nos mercados financeiros e mudanças nas políticas governamentais relativas às energias verdes, como por exemplo o fim da venda de automóveis ligeiros novos com motor de combustão e a redução de imposto sobre matérias-primas para produção de energia verde (painéis fotovoltaicos). É importante observar como os eventos tiveram impacto no desempenho dos diferentes setores de energia verde ao longo do tempo.

Na fase final, como a resposta à primeira questão de pesquisa foi afirmativa, a tarefa restante é abordar a segunda questão de pesquisa: os metais preciosos (Ouro, Prata e Platina) podem ser utilizados como estratégias de cobertura financeira para gerir riscos no mercado de energia verde durante a pandemia de COVID-19 e a crise geopolítica? Os resultados obtidos até ao momento indicam que o Ouro e a Prata podem ser empregues como estratégias de cobertura financeira para gerir riscos no mercado de energia verde durante a pandemia da COVID-19 e a crise geopolítica. No entanto, a influência da Platina ainda precisa ser mais investigada para determinar a sua eficácia nesse contexto. É crucial analisar a interação entre esses metais preciosos e as condições de mercado em constante mudança para desenvolver estratégias eficazes de gestão de risco.

Implicações práticas

Os dados deste estudo possuem importantes implicações práticas para investidores, gestores de portfólio e profissionais do mercado financeiro. Para começar, compreender como os preços dos ativos se comportam em diferentes contextos económicos possibilita uma melhor adaptação de estratégias de investimento. Durante períodos de estabilidade, quando os mercados geralmente são mais eficientes, as estratégias de arbitragem podem perder eficácia. Por outro lado, em cenários de crise, identificar tendências contínuas de mercado pode resultar em melhores rentabilidades. Além disso, é essencial analisar as rentabilidades a curto e longo prazo para uma gestão adequada de riscos. Os investidores podem adaptar suas carteiras de ativos considerando a possibilidade de reversão ou continuidade das tendências, o que auxilia na redução de perdas e na maximização dos rentabilidades ajustados ao risco. Ao compreender as diferentes dinâmicas dos preços, os investidores podem atribuir os seus ativos de forma mais eficiente, investindo em ativos que mantenham

rentabilidades consistentes em períodos de instabilidade e em ativos com potencial de ganhos elevados em momentos de maior estabilidade. Além disso, os investidores podem aproveitar os padrões identificados nos preços para encontrar oportunidades de investimento. Durante fases de persistência nas rentabilidades, é possível focar em ativos que mostram tendência de continuidade, enquanto fases de antipersistência podem sinalizar boas oportunidades de compra ou venda, antecipando uma reversão de tendência. Por fim, é crucial manter um acompanhamento constante do mercado. Devido à natureza dinâmica dos mercados financeiros, é essencial que investidores e profissionais estejam atentos às mudanças nos padrões de preços e ajustem suas estratégias conforme novas informações e tendências emergem. Em resumo, a combinação de análise técnica e fundamental, juntamente com uma abordagem de investimento estratégica e diversificada, pode ajudar os investidores a identificar oportunidades lucrativas e alcançar seus objetivos financeiros a longo prazo.

Limitações e sugestões para futuras investigações

Este estudo apresenta algumas limitações, como a não inclusão de variáveis adicionais que poderiam afetar os preços dos ativos, entre elas, condições macroeconômicas, intervenções governamentais e eventos específicos de setores da economia. Para futuras pesquisas, seria relevante adotar uma perspectiva mais integrada, que tenha em consideração uma diversidade de fatores que influenciam os preços dos ativos. Também seria útil comparar diferentes abordagens de análise de séries temporais, a fim de verificar a solidez dos resultados. Além disso, futuras investigações poderiam focar no impacto de eventos específicos, como choques econômicos ou políticos, sobre a eficiência dos mercados e a formação de preços durante períodos de crise e estabilidade.

Linhas de investigação futuras

Para futuras pesquisas, sugere-se que sejam exploradas as interações entre os índices de ações dos países MENA e outros ativos financeiros, como *commodities*, taxas de juros, títulos de dívida, inflação, políticas governamentais locais e moedas estrangeiras. Essa abordagem pode proporcionar uma compreensão mais ampla das dinâmicas dos mercados financeiros da região. Além disso, a aplicação de técnicas avançadas de modelagem de volatilidade (como ARCH, GARCH e MGARCH) poderia contribuir para entender como a volatilidade dos mercados de ações e de metais preciosos se manifesta durante períodos de extrema instabilidade, resultantes das incertezas econômicas globais. Tal análise pode revelar padrões comportamentais e características de risco específicos dos mercados financeiros da região MENA.

Referências Bibliográficas

- Ashfaq, S., Tang, Y., & Maqbool, R. (2020). Dynamics of spillover network among oil and leading Asian oil trading countries' stock markets. *Energy*, 207. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118077>
- Bastianin, A. (2019). Robust measures of skewness and kurtosis for macroeconomic and financial time series time series. *Applied Economics*, 00(00), 1–34. <https://doi.org/10.1080/00036846.2019.1640862>
- Ben Amar, A., Goutte, S., Hasnaoui, A., Marouane, A., & Mzoughi, H. (2023). The Ramadan effect on commodity and stock markets integration. *Review of Accounting and Finance*, 22(3), 269–293. <https://doi.org/10.1108/RAF-01-2023-0001>
- Bolboacă, S. D., Jäntschi, L., Sestraş, A. F., Sestraş, R. E., & Pamfil, D. C. (2011). Pearson-fisher chi-square statistic revisited. *Information (Switzerland)*, 2(3), 528–545. <https://doi.org/10.3390/info2030528>
- Bontemps, C., & Meddahi, N. (2005). *Testing normality: a GMM approach*. 124, 149–186. <https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2004.02.014>
- Breitung, J. (2000). The local power of some unit root tests for panel data. *Advances in Econometrics*, 15. [https://doi.org/10.1016/S0731-9053\(00\)15006-6](https://doi.org/10.1016/S0731-9053(00)15006-6)
- Bueno, R. (2012). *Econometria de Séries Temporais.pdf*.
- Campbell, J. Y. (1987). Stock returns and the term structure. *Journal of Financial Economics*, 18(2). [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(87\)90045-6](https://doi.org/10.1016/0304-405X(87)90045-6)
- Chambino, M., Dias, R., & Horta, N. (2022). Time-Varying Co-movements between Wti and European Capital Markets: Implications for Portfolio Diversification and Hedging Strategies. *International Scientific-Business Conference – LIMEN 2022: Vol 8. Selected Papers*, 31–49. <https://doi.org/10.31410/limen.s.p.2022.31>
- Chambino, M., Manuel, R., Dias, T., & Horta, N. R. (2023). *Asymmetric efficiency of cryptocurrencies during the 2020 and 2022 events*. 2(March), 23–33. <https://doi.org/10.58567/eal02020004>
- Chen, Y., Xu, J., & Hu, M. (2022). Asymmetric volatility spillovers and dynamic correlations between crude oil price, exchange rate and gold price in BRICS. *Resources Policy*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102857>
- Choi, I. (2001). Unit root tests for panel data. *Journal of International Money and Finance*, 20(2), 249–272. [https://doi.org/10.1016/S0261-5606\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0261-5606(00)00048-6)
- Clemente, J., Montañés, A., & Reyes, M. (1998). Testing for a unit root in variables with a double change in the mean. *Economics Letters*, 59(2), 175–182. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(98\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(98)00052-4)

- DeCarlo, L. T. (1997). On the Meaning and Use of Kurtosis. *Psychological Methods*, 2(3).
<https://doi.org/10.1037/1082-989X.2.3.292>
- Dias, M. R., Pires, S. T., Horta, N., Revez, C., Teixeira, S., & Zebende, G. F. (2022). *Effects of interdependence and contagion between Oil and metals by ρ DCCA : an case of study about the COVID-19*. 1–11.
- Dias, R., Alexandre, P., Teixeira, N., & Chambino, M. (2023). Clean Energy Stocks: Resilient Safe Havens in the Volatility of Dirty Cryptocurrencies. *Energies*, 16(13).
<https://doi.org/10.3390/en16135232>
- Dias, R., & Carvalho, L. C. (2020). Hedges and safe havens: An examination of stocks, gold and silver in Latin America's stock market. *Revista de Administração Da UFSM*, 13(5), 1114–1132. <https://doi.org/10.5902/1983465961307>
- Dias, R., Chambino, M., Alexandre, P., Morais da Palma, C., & Almeida, L. (2023). *Unveiling Bitcoin's Safe Haven and Hedging Properties Beyond Diversification* (Issue November).
<https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9039-6.ch018>
- Dias, R., Chambino, M., & Rebole Horta, N. (2023). Long-Term Dependencies in Central European Stock Markets: A Crisp-Set Analysis. *Economic Analysis Letters*, 2(February), 10–17. <https://doi.org/10.58567/eal02010002>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2019.02.008>
- Dias, R., Heliodoro, P., Alexandre, P., & Vasco, C. (2020). FINANCIAL MARKET INTEGRATION OF ASEAN-5 WITH CHINA: AN ECONOPHYSICS APPROACH. *4th EMAN Conference Proceedings (Part of EMAN Conference Collection)*, 17–23. <https://doi.org/10.31410/eman.2020.17>
- Dias, R., Horta, N., & Chambino, M. (2023). Clean Energy Action Index Efficiency: An Analysis in Global Uncertainty Contexts. *Energies*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/en16093937>
- Dias, R. M., Chambino, M., Teixeira, N., Alexandre, P., & Heliodoro, P. (2023). Balancing Portfolios with Metals: A Safe Haven for Green Energy Investors? *Energies*, 16(20). <https://doi.org/10.3390/en16207197>
- Dias, R. M. T. S., Chambino, M., Teixeira, N., Alexandre, P., & Heliodoro, P. (2023). *Balancing Portfolios with Metals : A Safe Haven for Green Energy Investors ?* 1–21.
- Dias, R., Pardal, P., Teixeira, N., & Horta, N. (2022). *Tail Risk and Return Predictability for Europe ' s Capital Markets : An Approach in Periods of the . December*.
<https://doi.org/10.4018/978-1-6684-5666-8.ch015>
- Dias, R., & Pereira, J. M. (2021). The Impact of the COVID-19 Pandemic on Stock Markets. *International Journal of Entrepreneurship and Governance in Cognitive Cities*, 1(2), 57–

70. <https://doi.org/10.4018/ijegcc.2020070105>
- Dias, R., Pereira, J. M., & Carvalho, L. C. (2022). Are African Stock Markets Efficient? A Comparative Analysis Between Six African Markets, the UK, Japan and the USA in the Period of the Pandemic. *Naše gospodarstvo/Our Economy*, 68(1), 35–51. <https://doi.org/10.2478/ngoe-2022-0004>
- Dias, R., Santos, H., Heliodoro, P., Vasco, C., & Alexandre, P. (2021). WTI OIL SHOCKS IN EASTERN EUROPEAN STOCK MARKETS: A VAR APPROACH. *5th EMAN Conference Proceedings (Part of EMAN Conference Collection)*, October, 71–84. <https://doi.org/10.31410/eman.2021.71>
- Dias, R. T., & Carvalho, L. (2021). *The Relationship Between Gold and Stock Markets During the COVID-19 Pandemic*. May, 462–475. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-6643-5.ch026>
- Dias, R., Teixeira, N., Alexandre, P., & Chambino, M. (2023). Exploring the Connection between Clean and Dirty Energy: Implications for the Transition to a Carbon-Resilient Economy. *Energies*, 16(13), 4982. <https://doi.org/10.3390/en16134982>
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1981). Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Econometrica*, 49(4). <https://doi.org/10.2307/1912517>
- Elie, B., Naji, J., Dutta, A., & Uddin, G. S. (2019). Gold and crude oil as safe-haven assets for clean energy stock indices: Blended copulas approach. *Energy*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.155>
- Fabozzi, F. J., Gupta, F., & Markowitz, H. M. (2002). The Legacy of Modern Portfolio Theory. *The Journal of Investing*, 11(3). <https://doi.org/10.3905/joi.2002.319510>
- Fisher, S. R. A. (2023). Statistical Methods for Research Workers. In *Statistical Methods, Experimental Design, and Scientific Inference*. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198522294.002.0003>
- Gaio, L. E., Ambrozini, M. A., Bonacim, C. A. G., & Pimenta Junior, T. (2014). Interdependência entre os mercados mundiais de ações: uma análise de volatilidades. *BASE - Revista de Administração e Contabilidade Da Unisinos*, 11(3). <https://doi.org/10.4013/base.2014.113.07>
- Galvão, R. & Dias, R. (2024). *Asymmetric Efficiency: Contrasting Sustainable Energy Indices with Dirty*. 3(November 2023), 28–39. <https://doi.org/10.58567/fel03010002>
- Godfrey, L. G. (2007). Alternative approaches to implementing Lagrange multiplier tests for serial correlation in dynamic regression models. *Computational Statistics and Data Analysis*, 51(7). <https://doi.org/10.1016/j.csda.2006.05.020>
- Graham, M., Kiviahho, J., Nikkinen, J., & Omran, M. (2013). Global and regional co-movement of the MENA stock markets. *Journal of Economics and Business*, 65.

<https://doi.org/10.1016/j.jeconbus.2012.09.005>

- Granger, C. W. J. (1969). Investigating Causal Relations by Econometric Models and Cross-spectral Methods. *Econometrica*, 37(3). <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Granger, C. W. J., & Newbold, P. (1974). Spurious regressions in econometrics. *Journal of Econometrics*, 2(2), 111–120. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(74\)90034-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(74)90034-7)
- Gregory, A. W., & Hansen, B. E. (1996). Residual-based tests for cointegration in models with regime shifts. *Journal of Econometrics*, 70(1), 99–126. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(96\)00034-7](https://doi.org/10.1016/0304-4076(96)00034-7)
- Guedes, E. F., Santos, R. P. C., Figueredo, L. H. R., Da Silva, P. A., Dias, R. M. T. S., & Zebende, G. F. (2022). Efficiency and Long-Range Correlation in G-20 Stock Indexes: A Sliding Windows Approach. *Fluctuation and Noise Letters*. <https://doi.org/10.1142/S021947752250033X>
- Gujarati, D., & Porter, N. D. C. (2011). Econometria Básica. In *Basic Econometrics*.
- Hadri, K. (2000). Testing for stationarity in heterogeneous panel data. *The Econometrics Journal*, 3(2). <https://doi.org/10.1111/1368-423x.00043>
- Heliodoro, P., Dias, R., Alexandre, P., & Vasco, C. (2020). INTEGRATION IN BRIC STOCK MARKETS: AN EMPIRICAL ANALYSIS. *4th EMAN Selected Papers (Part of EMAN Conference Collection)*. <https://doi.org/10.31410/eman.s.p.2020.33>
- Herranz, E. (2017). Unit root tests. In *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*. <https://doi.org/10.1002/wics.1396>
- Hillier, D., Grinblatt, M., & Sheridan, T. (2012). Financial Markets and Corporate Strategy Second European Edition. In *The McGraw-Hill/Irwin*. https://books.google.com/books/about/EBOOK_Financial_Markets_and_Corporate_St.html?hl=es&id=qsovEAAAQBAJ
- Huyghebaert, N., & Wang, L. (2010). The co-movement of stock markets in East Asia. Did the 1997-1998 Asian financial crisis really strengthen stock market integration? *China Economic Review*, 21(1). <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2009.11.001>
- Iheanacho, E., Okere, K. I., & Onoh, J. O. (2023). Nexus between financial integration, capital market development and economic performance: Does institutional structure matters? *Heliyon*, 9(1). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12827>
- Im, K. S., Pesaran, M. H., & Shin, Y. (2003). Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics*. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(03\)00092-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(03)00092-7)
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980a). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3), 255–259. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5)
- Jarque, C. M., & Bera, A. K. (1980b). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial

- independence of regression residuals. *Economics Letters*, 6(3), 255–259. [https://doi.org/10.1016/0165-1765\(80\)90024-5](https://doi.org/10.1016/0165-1765(80)90024-5)
- Kotu, V., & Deshpande, B. (2019). Classification. In *Data Science* (Vol. 51, Issue 8, pp. 65–163). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814761-0.00004-6>
- Kumaraswamy, S., Abdulla, Y., & Panigrahi, S. K. (2023). Will gold prices persist post pandemic period? An econometric evidence. *International Journal of Financial Studies*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/ijfs11010008>
- Levin, A., Lin, C. F., & Chu, C. S. J. (2002). Unit root tests in panel data: asymptotic and finite-sample properties. *Journal of Econometrics*, 108(1), 1–24. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(01\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(01)00098-7)
- Lo, A. W., & MacKinlay, A. C. (1988). Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence from a Simple Specification Test. *Review of Financial Studies*, 1(1). <https://doi.org/10.1093/rfs/1.1.41>
- Lucambio, F. (2008). *Diferentes testes para verificar normalidade de uma amostra aleatória*. *Teste Jarque-Beta*. 1–5.
- Lütkepohl, H. (2005). New introduction to multiple time series analysis. In *New introduction to Multiple Time Series Analysis*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-27752-1>
- Maddala, G. S., & Wu, S. (1999). A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61(SUPPL.), 631–652. <https://doi.org/10.1111/1468-0084.0610s1631>
- Maghyereh, A. I., Awartani, B., & Hilu, K. Al. (2015). Dynamic transmissions between the U.S. and equity markets in the MENA countries: New evidence from pre- and post-global financial crisis. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 56, 123–138. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2014.08.005>
- Manuel, Á., Dias, R., Galvão, R., & Varela, M. (2024). Analysing Financial Market Integration between Stock and Precious Metals Indices. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 14(4), 222–238. <https://doi.org/10.32479/ijefi.16307>
- Markowitz, H. (1952). PORTFOLIO SELECTION. *The Journal of Finance*. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>
- McCrone, A., Ajadi, T., Boyle, R., Strahan, D., Kimmel, M., Collins, B., Cheung, A., & Becker, L. (2019). Global Trends in Renewable Energy Investment 2019. *Bloomberg New Energy Finance*, 76. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29752/GTR2019.pdf>
- Mensi, W., Maitra, D., Selmi, R., & Vo, X. V. (2023). Extreme dependencies and spillovers between gold and stock markets: evidence from MENA countries. *Financial Innovation*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-023-00451-z>

- Mohamad, A., & Fromentin, V. (2023). Herd and causality dynamics between energy commodities and ethical investment: Evidence from the different phases of the COVID-19 pandemic. *Energy Economics*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.107001>
- Mokni, K., Hammoudeh, S., Ajmi, A. N., & Youssef, M. (2020). Does economic policy uncertainty drive the dynamic connectedness between oil price shocks and gold price? *Resources Policy*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101819>
- Morettin, P. A., Toloi, C. M. C., Chiann, C., & de Miranda, J. C. S. (2011). Wavelet Estimation of Copulas for Time Series. *Journal of Time Series Econometrics*, 3(3). <https://doi.org/10.2202/1941-1928.1033>
- Nardo, M., Ossola, E., & Papanagiotou, E. (2022). Financial integration in the EU28 equity markets: Measures and drivers. *Journal of Financial Markets*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.finmar.2021.100633>
- Pardal, P., Dias, R., Šuleř, P., Teixeira, N., & Krulický, T. (2020). Integration in central european capital markets in the context of the global covid-19 pandemic. *Equilibrium. Quarterly Journal of Economics and Economic Policy*, 15(4). <https://doi.org/10.24136/eq.2020.027>
- Pardal, P., Dias, R. T., Santos, H., & Vasco, C. (2021). Central european banking sector integration and shocks during the global pandemic (COVID-19). In *Handbook of Research on Reinventing Economies and Organizations Following a Global Health Crisis* (pp. 272–288). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-6926-9.ch015>
- Parzen, E. (1992). Unification of Statistical Methods for Continuous and Discrete Data. In *Computing Science and Statistics*. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2856-1_30
- Pearson, K. (1905). *nature physics portal - looking back - The random walk*. *Nature* 72.
- Perron, P., & Phillips, P. C. B. (1988). Testing for a Unit Root in a Time Series Regression. *Biometrika*, 2(75), 335–346. <https://doi.org/10.1080/07350015.1992.10509923>
- Phillips, P. C. B., & Perron, P. (1988). Testing for a unit root in time series regression. In *Biometrika* (Vol. 75, Issue 2). <https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/75/2/335/292919>
- Phuan, S.-M., Lim, K.-P., & Ooi, A.-Y. (2009). Financial Liberalization and Stock Markets Integration for Asean-5 Countries. *International Business Research*, 2(1). <https://doi.org/10.5539/ibr.v2n1p100>
- Robiyanto, R., Nugroho, B. A., Handriani, E., & Huruta, A. D. (2020). Hedge effectiveness of put replication, gold, and oil on ASEAN-5 equities. *Financial Innovation*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-020-00199-w>
- Saijai, W., Maneejuk, P., & Sriboonchitta, S. (2022). Contagion Effects Among Stock Markets, Treasury Bill, Petroleum, Gold, and Cryptocurrency During the COVID-19 Pandemic: A

- Dynamic Conditional Correlation Approach. *Studies in Computational Intelligence*, 983. https://doi.org/10.1007/978-3-030-77094-5_40
- Santana, T., Horta, N., Revez, C., Santos Dias, R. M. T., & Zebende, G. F. (2023). *Effects of interdependence and contagion between Oil and metals by ρ DCCA: an case of study about the COVID-19*. 1–11.
- Santana, T. P., Horta, N., Revez, C., Dias, R. M. T. S., & Zebende, G. F. (2023). Effects of Interdependence and Contagion on Crude Oil and Precious Metals According to ρ DCCA: A COVID-19 Case Study. *Sustainability (Switzerland)*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/su15053945>
- Sharma, U., & Karmakar, M. (2023). Are gold, USD, and Bitcoin hedge or safe haven against stock? The implication for risk management. *Review of Financial Economics*, 41(1). <https://doi.org/10.1002/rfe.1160>
- Sims, C. A. (1980a). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1), 1. <https://doi.org/10.2307/1912017>
- Sims, C. A. (1980b). Macroeconomics and Reality. *Econometrica*, 48(1). <https://doi.org/10.2307/1912017>
- Tahai, A., Rutledge, R. W., & Karim, K. E. (2004). An examination of financial integration for the group of seven (G7) industrialized countries using an I (2) cointegration model. *Applied Financial Economics*, 14(5). <https://doi.org/10.1080/0960310042000211597>
- Tchakounte, J., & Kendo, S. (2022). The drivers of the financial integration of microfinance Institutions: Do financial development, agency costs and microfinance performance matter? *Quarterly Review of Economics and Finance*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.qref.2022.01.016>
- Teixeira, N., Dias, R., & Pardal, P. (2022). *The gold market as a safe haven when stock markets exhibit pronounced levels of risk: evidence during the China crisis and the COVID-19 pandemic*. April, 27–42.
- Teixeira, N., Dias, R., Pardal, P., & Horta, N. (2022). *Financial Integration and Comovements Between Capital Markets and Oil Markets: An Approach During the Russian*. December. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-5666-8.ch013>
- Tsay, R. (2002). *Analysis of financial times series*. John Wiley & Sons, Inc.
- Ustaoglu, E. (2023). Diversification, hedge, and safe-haven properties of gold and bitcoin with portfolio implications during the Russia–Ukraine war. *Resources Policy*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103791>
- Van Greunen, J., Heymans, A., Van Heerden, C., & Van Vuuren, G. (2014). The prominence of stationarity in time series forecasting. *Journal for Studies in Economics and Econometrics*, 38(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/10800379.2014.12097260>

- Wang, J., Guo, X., Tan, X., Chevallier, J., & Ma, F. (2023). Which exogenous driver is informative in forecasting European carbon volatility: Bond, commodity, stock or uncertainty? *Energy Economics*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106419>
- Yousaf, I., Plakandaras, V., Bouri, E., & Gupta, R. (2023). Hedge and safe-haven properties of FAANA against gold, US Treasury, bitcoin, and US Dollar/CHF during the pandemic period. *North American Journal of Economics and Finance*, 64. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2022.101844>
- Zebende, G. F., Santos Dias, R. M. T., & de Aguiar, L. C. (2022). Stock market efficiency: An intraday case of study about the G-20 group. *Heliyon*, 8(1), e08808. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08808>
- Zeng, H., Lu, R., & Ahmed, A. D. (2023). Return connectedness and multiscale spillovers across clean energy indices and grain commodity markets around COVID-19 crisis. *Journal of Environmental Management*, 340. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117912>