

SUMÁRIO DO SEMINÁRIO

CONECTIVIDADE ENTRE ATIVOS DE ENERGIA LIMPA E ATIVOS DE ENERGIA CARBÓNICA: O PAPEL DO RISCO GEOPOLÍTICO

Sumário Pormenorizado do Seminário, nos termos da alínea c), do n.º 2 do artigo 8 do Decreto-Lei nº 239/2007 de 19 de junho, para efeitos de admissão a provas de Agregação no ramo do conhecimento em Ciências Económicas e Empresariais, especialidade em Gestão.

VÍTOR MANUEL DE SOUSA GABRIEL



Janeiro, 2025

Este seminário, dedicado à “Conectividade entre Ativos de Energia Limpa e Ativos de Energia Carbónica: O Papel do Risco Geopolítico”, constitui um dos elementos apresentados por Vítor Manuel de Sousa Gabriel para a obtenção do título académico de Agregado pela Faculdade de Economia da Universidade do Algarve, no âmbito das Ciências Económicas e Empresariais, com especialidade em Gestão. A sua submissão encontra-se em conformidade com a alínea c) do artigo 9.º do Despacho 502/2024, de 6 de maio, que aprova o Regulamento de Atribuição do Título Académico de Agregado da Universidade do Algarve e estabelece os procedimentos para a obtenção deste título, conforme disposto no Decreto-Lei n.º 239/2007, de 19 de junho.

ÍNDICE

1. Introdução e Enquadramento do Tema	1
2. Revisão de Literatura.....	6
3. Dados e Metodologia	10
3.1. Dados.....	10
3.2. Metodologia	13
4. Resultados Empíricos e Discussão.....	16
4.1. Análise das Correlações Condicionais Dinâmicas.....	17
4.2. Análise da Conectividade Estática.....	20
4.3. Análise da Conectividade Dinâmica	26
5. Verificação de Robustez	29
6. Conclusões.....	30
7. Referências.....	32

1. Introdução e Enquadramento do Tema

O presente seminário é dedicado ao tema “Conectividade entre Ativos de Energia Limpa e Ativos de Energia Carbónica: O Papel do Risco Geopolítico”. Juntamente com o currículo do candidato e o relatório de unidade curricular, este seminário constitui um elemento das provas de agregação, nos termos do artigo 4.º do Regulamento n.º 502/2024, de 6 de maio, que aprova os procedimentos para Atribuição do Título Académico de Agregado da Universidade do Algarve, conforme disposto no Decreto-Lei n.º 239/2007, de 19 de junho.

O tema escolhido para este seminário tem, sobretudo, como público-alvo estudantes de mestrado e de doutoramento. A este respeito, importa referir que a primeira abordagem ao tema selecionado, por parte do candidato, ocorreu no âmbito da participação em dois seminários de investigação, um na Coimbra Business School e outro na Universidade de Salamanca, para estudantes de 2º ciclo e de 3º ciclo, respetivamente. A partir dos resultados obtidos nos trabalhos desenvolvidos para os referidos seminários, foram formuladas novas questões de investigação e adotadas novas metodologias, a que se procura dar resposta no documento preparado para estas provas de agregação.

Acreditamos que este seminário de investigação acerca da conectividade entre Ativos de Energia Limpa, Ativos de Energia Carbónica e Risco Geopolítico é relevante para alunos de mestrado e doutoramento, concretamente das áreas de gestão, ciências empresariais e finanças, entre outras, em especial devido à importância do tema no contexto económico global, assim como à visão holística e atualizada que proporciona acerca dos desafios estratégicos que empresas e investidores enfrentam no contexto da transição energética e dos riscos geopolíticos. De forma mais específica, em nosso entender, o tema deste seminário de investigação permite atender a diversas perspetivas.

Em primeiro lugar, constitui uma oportunidade de integrar tópicos de diversas áreas, como gestão, economia, geopolítica, gestão de riscos e sustentabilidade. A interligação entre o segmento de energia limpa e o segmento de energia carbónica implica uma compreensão profunda das dinâmicas de mercado, mas também do impacto do risco geopolítico nas decisões empresariais. Os estudantes de mestrado e doutoramento podem ampliar as suas competências ao analisar como as decisões estratégicas de empresas energéticas podem ser influenciadas por esses fatores interconectados. Em segundo lugar, a geopolítica tem um papel central na definição das estratégias empresariais, especialmente em setores estratégicos como o energético. O risco geopolítico pode afetar a estabilidade dos mercados de energia e a transição para fontes renováveis. Ao estudar as interações entre a energia limpa e a carbónica, os

estudantes podem compreender como as empresas precisam de gerir os riscos associados a políticas externas, conflitos internacionais e questões ambientais. Em terceiro lugar, a transição energética é um dos grandes desafios e oportunidades do século XXI. Os estudantes podem estudar como a convergência entre as fontes de energia renovável e as tradicionais (como o petróleo) afeta as empresas, tanto em termos de adaptação às novas exigências regulatórias e ambientais quanto na gestão de riscos financeiros e operacionais. A compreensão dessa transição é crucial para formular estratégias empresariais inovadoras e sustentáveis. Em quarto lugar, a interação entre energias renováveis e fósseis, no contexto do risco geopolítico, oferece um cenário complexo para a tomada de decisão estratégica nas empresas. Neste sentido, este seminário pode ajudar os estudantes a analisar a forma como as empresas do setor energético (e outros setores que dependem da energia) podem equilibrar investimentos em tecnologias limpas com os riscos e benefícios de manter ativos em setores tradicionais. Este equilíbrio estratégico é vital para a sustentabilidade de longo prazo das organizações e para o alinhamento com políticas ambientais globais. Em quinto lugar, este seminário oferece aos alunos uma boa oportunidade para explorar tópicos de pesquisa avançada. A análise de riscos geopolíticos em energia, bem como a gestão da transição energética em contexto empresarial, são áreas muito relevantes para investigações futuras. Neste sentido, os estudantes de mestrado e doutoramento podem desenvolver projetos de investigação que, entre outros aspetos, contribuam para o avanço do conhecimento na interligação entre negócios, investimento, gestão de carteiras, diversificação, sustentabilidade e geopolítica, recorrendo a metodologias que se adaptem às dinâmicas dos mercados. Em sexto lugar, com a crescente importância da sustentabilidade e da gestão de riscos no mercado de trabalho, especialmente no setor energético, os estudantes estarão mais preparados para enfrentar os desafios de um mercado em rápida transformação. Ter uma compreensão sólida da interação entre energias renováveis, fósseis e risco geopolítico pode diferenciá-los no mercado, especialmente em empresas que operam a nível global. Por fim, a participação num seminário científico proporciona aos estudantes a oportunidade de desenvolver competências analíticas e críticas ao avaliar, de forma aprofundada, as implicações da interação entre estes fatores. A capacidade de construir cenários, avaliar o impacto de decisões estratégicas e analisar dados e informações complexas é essencial para os investigadores ligados às áreas de ciências empresariais e finanças.

Entre as principais preocupações das sociedades contemporâneas estão as alterações climáticas, causadas principalmente pelas emissões de gases com efeito de estufa, bem como os conflitos militares em curso, designadamente na Ucrânia e na Palestina.

Relativamente às alterações climáticas e às questões ambientais - largamente ligadas ao aumento do consumo de combustíveis fósseis (Wang, 2022) - existe uma preocupação generalizada entre o público em geral, as autoridades reguladoras e os investidores, conscientes da importância de abordar as questões de sustentabilidade para além dos objetivos financeiros. Consequentemente, nos últimos anos, tem-se assistido a uma transição acentuada para investimentos alinhados com os objetivos de neutralidade carbónica, particularmente através do reforço do papel das energias limpas (Kyritsis & Serletis, 2019; Mohammed & Mellit, 2023). Estes investimentos têm atraído progressivamente mais investidores, sobretudo os que procuram descarbonizar os seus portfólios e proteger-se do aumento dos preços dos combustíveis fósseis (Karkowska & Urjasz, 2023).

É amplamente aceite que a energia é central para o crescimento económico e o bem-estar humano (Acheampong et al., 2021). Entre as várias fontes de energia disponíveis, os combustíveis fósseis continuam a desempenhar um papel central no setor energético e nas economias modernas, apesar do surgimento de novas fontes de energia nas últimas décadas (Herrera et al., 2019; Virbickaitė et al., 2020). Nesse sentido, o relatório da BP de 2021 indica que os combustíveis fósseis representaram 83,1% do consumo de energia em 2020, com o petróleo a manter a maior fatia na estrutura de consumo energético.

Os últimos anos foram marcados por vários eventos com implicações significativas para as economias e os mercados financeiros em geral. Destacando-se, sobretudo, o surto da pandemia de COVID-19, em 2020, que causou uma recessão económica global, com severas restrições globais à produção e ao consumo, levando a uma queda significativa na procura de energia e uma redução acentuada nos respetivos preços. Mais recentemente, em 2022, o conflito entre a Rússia e a Ucrânia resultou num aumento acentuado dos preços da energia (Umar et al., 2022; Shahzad et al., 2023). Em 2023, o conflito na Palestina desencadeou turbulência nos mercados financeiros e volatilidade nos preços da energia. Como recurso energético estratégico, altamente dependente de questões de propriedade e capacidade de fornecimento, as flutuações violentas no mercado de petróleo podem ser explicadas pela geopolítica (Liu et al., 2019; Wen et al., 2021), particularmente em eventos como ataques terroristas e conflitos militares, que aumentam significativamente a probabilidade de mudanças abruptas e acentuadas nos preços do petróleo.

Considerado uma força global, o risco geopolítico (GPR) tem o potencial de influenciar o comportamento dos mercados financeiros (Cheng & Chiu, 2018; Das et al., 2019; Lee & Chen, 2020; Gu et al., 2021). Além disso, outros estudos destacam os efeitos adversos dos riscos geopolíticos nas economias, particularmente quando estas dependem de fornecimentos

energéticos estáveis. Esses riscos podem também afetar os preços de ações e de ativos energéticos, revelando uma dimensão sistémica global que atravessa as fronteiras geográficas e afeta todos os setores económicos (Demirer et al., 2018; Caldara & Iacoviello, 2018; Balcilar et al., 2018; Bouoiyour et al., 2019; Hoque et al., 2019; Smales, 2021).

Apesar da transição energética em curso estar alinhada com os objetivos de neutralidade carbónica, a maioria dos estudos científicos tem favorecido os combustíveis emissores de CO₂ face aos combustíveis limpos. São em número bastante reduzido os estudos a relacionar ambos os segmentos energéticos, particularmente para analisar a transferência de risco entre eles. Embora se acredite que tanto os ativos de energia limpa como os de combustíveis fósseis sejam afetados pelo risco geopolítico, principalmente devido aos vínculos estabelecidos entre os dois setores (Marques et al., 2018), a literatura acerca deste tema não permite confirmar esta questão. Dos poucos estudos disponíveis sobre o referido tema, alguns sugerem uma correlação significativa entre os dois segmentos (Bondia et al., 2016; Reboredo et al., 2017), enquanto outros concluem que a interligação entre eles é fraca (Janda et al., 2022; Elie et al., 2019; Naeem et al., 2020), ou até mesmo insignificante (Ferrer et al., 2018). A não convergência destes resultados pode encontrar explicação em dois motivos fundamentais. Em primeiro lugar, a metodologia utilizada é crucial para estudar a relação entre os mercados de ações de energia tradicional e limpa, uma vez que o movimento conjunto entre os mercados varia ao longo do tempo e depende de situações específicas. Em segundo lugar, sob o impacto de eventos económicos significativos ou ocorrências extremas, a interligação entre os mercados financeiros aumentará, o inverso acontecendo em períodos de maior confiança dos investidores (Naeem et al., 2020).

Para captar o impacto dos choques de eventos extremos na transferência de risco no mercado energético internacional, o estudo desenvolvido no âmbito do presente seminário tem como objetivo analisar a transferência de risco entre os mercados de energia tradicional e limpa sob o impacto de eventos extremos. Pretende-se investigar a transferência de risco entre os mercados de energia, explorando profundamente o grau e a direção da transferência de risco de cauda entre os mercados de energia, sob diferentes magnitudes de choque, e discutindo as mudanças dinâmicas na transferência de risco entre os mercados de energia, diferenciando os estados normais dos estados extremos.

Com o mundo a assistir a vários conflitos geopolíticos e a uma significativa incerteza política global, em especial os que decorrem na Palestina e na Ucrânia, que provocaram aumentos acentuados nos preços da energia, analisar o impacto do risco geopolítico torna-se crucial (Gong et al., 2023). De acordo com Bouoiyour et al. (2019), é essencial estudar o impacto da

interconectividade entre os riscos geopolíticos e o mercado de energia. Esse estudo envolve a análise dos efeitos complexos de interconexão e de propagação resultantes da geopolítica nos vários segmentos do setor energético, especificamente o segmento de energia tradicional e o segmento de energia limpa. Adotando uma perspectiva dinâmica, este estudo permitirá analisar os riscos cruzados entre os dois segmentos de energia gerados por dimensões geopolíticas, ajudando a prevenir ocorrências de risco sistêmico e fornecendo informações relevantes para gestores de portfólio e investidores, no que respeita aos seus objetivos de diversificação eficiente.

Para alcançar os objetivos deste seminário, recorreremos ao modelo de Correlação Dinâmica Condicional Multivariada (cDCC-GARCH), proposto por Aielli (2013), para analisar a conectividade entre as variáveis analisadas durante o período de amostragem, assim como adotamos a abordagem de conectividade por quantis (QVAR), desenvolvida por Ando et al. (2022), que permite captar os riscos de spillover em diferentes quantis, aprofundando a compreensão da magnitude dos efeitos de spillover entre os dois segmentos de energia e as duas dimensões de risco geopolítico. Ambas as abordagens são aplicadas a dados de frequência diária cobrindo o período de junho de 2008 a fevereiro de 2024, com um total de 3930 observações, envolvendo três ETFs relacionados com o setor de energia limpa, alinhados com os objetivos de neutralidade carbônica, bem como três ETFs de energia tradicional, juntamente com dois índices que refletem o risco político global (risco de ameaça e risco de evento).

Tendo como contexto a guerra em curso na Ucrânia, que levou a um aumento substancial do GPR, assim como o recente conflito armado entre Israel e a Palestina, acreditamos que estão reunidas as condições para aprofundar o estudo do efeito da geopolítica sobre o setor energético. O setor energético desempenha um papel central na sociedade atual, tornando-se importante aprofundar o nosso entendimento sobre os mecanismos comportamentais dos ativos deste setor, num contexto altamente complexo. Com base nestas ideias gerais, foram formuladas as seguintes questões de investigação: i) Os choques resultantes do GPR geram reações homogêneas nos segmentos energéticos? ii) As reações desencadeadas pelos segmentos de energia são predominantemente positivas ou negativas? iii) Os segmentos de energia reagem mais a ameaças ou a eventos? iv) A relação entre os segmentos de energia e o GPR é determinada por movimentos descendentes e ascendentes? v) Os eventos geopolíticos causam alterações nos níveis de conectividade entre os segmentos de energia e os índices de GPR?

Num contexto de incerteza geopolítica, de centralidade do setor energético e de importância estratégica em alcançar a neutralidade carbônica, a inovação deste seminário reflete-se

principalmente nos seguintes quatro aspetos: 1) Ao contrário de outros estudos que usaram variáveis dummy para identificar episódios de risco geopolítico, a abordagem proposta neste seminário captura os fatores de risco de cauda do risco geopolítico; 2) A inovação desta abordagem reside em explicar o comportamento dos dois segmentos energéticos, carbónico e limpo, com base em duas dimensões de risco geopolítico, destacando os mecanismos de transmissão dinâmica de informações entre as variáveis estudadas; 3) Este estudo explora a volatilidade dinâmica do risco geopolítico para o mercado de energia, sob choques de eventos extremos, seguindo de perto a perspectiva de Diebold e Yilmaz (2009), visando aprofundar a natureza cíclica das mudanças dinâmicas na rede formada pelas diversas variáveis selecionadas; 4) Utilizando o modelo QVAR, com base em sugestões de Bouri et al. (2021), Billah et al. (2022), Ando et al. (2022) e Mensi et al. (2022), o presente estudo expande, do ponto de vista metodológico, a análise do processo de transmissão de risco de cauda das dimensões geopolíticas para os mercados globais de energia, sob diferentes escalas de choque, ao mesmo tempo que analisa a assimetria da transmissão de risco entre dois estados extremos, alto e baixo, incorporando situações de mercado muito específicas, como as geradas pela crise pandémica, pela guerra na Ucrânia e pelo conflito na Palestina. Tal pode fornecer uma referência útil para as autoridades reguladoras na prevenção de episódios de risco sistémico, particularmente no contexto do atual processo de transição energética, e também pode ajudar a fornecer informações úteis para a estabilidade financeira, assim como orientações valiosas para investidores na afetação eficaz de ativos.

Este estudo está organizado da seguinte forma: a próxima secção apresenta uma visão geral concisa da literatura pertinente. A secção 3 apresenta os dados e a metodologia utilizada. Na secção 4, são apresentados os resultados e a sua discussão. Por sua vez, na secção 5, é desenvolvida uma análise de robustez. Por fim, na secção 6 são discutidas as principais conclusões e as suas implicações.

2. Revisão de Literatura

Os últimos anos foram marcados pela ocorrência de múltiplos eventos geopolíticos. Prevê-se que nas próximas décadas as flutuações nos preços da energia continuem a ser uma característica principal do mercado energético (Umar et al., 2022; Shahzad et al., 2023; Gabriel et al., 2024). Este facto atraiu a atenção de múltiplos académicos, principalmente para estudar os mecanismos de transmissão de informação e contágio de risco entre os diferentes setores de energia.

Nas suas decisões de investimento, os investidores consideram o risco geopolítico como uma variável informativa fundamental (Dogan et al., 2021). Durante períodos de instabilidade política, tanto a atividade económica quanto os mercados financeiros são negativamente afetados por essa instabilidade (Caldara & Iacoviello, 2018), o que pode ter repercussões significativas nos mercados financeiros em geral, devido à conectividade existente entre os diferentes constituintes desses mercados (Omar et al., 2017; Elsayed & Helmi, 2021). Situações como agitação social, ataques terroristas e conflitos armados levam ao aumento dos níveis de risco e incerteza, impactando os preços dos ativos financeiros (Guidolin & Ferrara, 2010; Kollias et al., 2013; Elsayed & Yarovaya, 2019; Zhou et al., 2020; Hoque & Zaidi, 2020; Cai & Wu, 2021; Smales, 2021), assim como as decisões dos investidores (Apergis et al., 2018; Bouri et al., 2019, 2020; Caldara & Iacoviello, 2018).

Relativamente ao setor energético, os preços do petróleo parecem estar diretamente relacionados com o risco geopolítico, através de canais de oferta e procura (Cunado et al., 2019; Demirer et al., 2018). Com o aprofundamento da globalização financeira e a financeirização dos mercados de commodities, o mercado de petróleo tem sido sujeito a choques desencadeados por eventos globais. Foi o que aconteceu com o início da guerra entre a Rússia e a Ucrânia, que coincidiu com um aumento acentuado nos preços do petróleo, atribuído ao risco geopolítico (Umar et al., 2022; Adekoya et al., 2022; Karkowska & Urjasz, 2023). Acredita-se também que choques gerados por eventos geopolíticos possam impactar o mercado de energia limpa, particularmente devido ao processo de substituição da energia convencional por energias renováveis (Managi & Okimoto, 2013; Maghyereh et al., 2019; Chen et al., 2022). Adicionalmente, Wen et al. (2020) e Batten et al. (2021) concluíram que o aumento do investimento em energia limpa reduz a procura nos mercados de energia carbónica.

Para alcançar os objetivos do Acordo de Paris, que visam limitar o aquecimento global a 1,5°C, o fornecimento de energia deve descrever um processo evolutivo, no sentido de uma transição para combustíveis mais limpos e com menor emissão de carbono. A irreversibilidade do aquecimento global, causada pelas emissões de carbono e seus efeitos prejudiciais, tem atraído grande atenção mundial, transformando de forma urgente a estrutura energética (Dogan & Seker, 2016). As questões ambientais, especialmente as relacionadas com o aumento do consumo de energia carbónica, têm gerado preocupações entre as autoridades reguladoras e os investidores, especialmente os mais conscientes da importância das questões de sustentabilidade. Como resultado, tem-se dado crescente ênfase à transição para a energia limpa (Kyritsis & Serletis, 2019; Mohammed & Mellit, 2023). Os ativos representativos do segmento energético, por sua vez, constituem uma opção atraente para os investidores que

procuram descarbonizar os seus portfólios, também impulsionados pela subida dos preços do carbono (Karkowska & Urjasz, 2023).

Utilizando principalmente modelos de heterocedasticidade condicional multivariada e o índice GPR, vários estudos mostraram que o risco geopolítico pode ser um determinante da queda dos preços dos ativos de mercado (Antonakakis et al., 2013; Aslam & Kang, 2015; Arin et al., 2008; Hoque & Zaidi, 2020; Zhou et al., 2020; Cai & Wu, 2021; Smales, 2021). No entanto, outros estudos chegaram a conclusões diferentes, especialmente ao analisar mercados de ações convencionais. Por exemplo, Balcilar et al. (2018) investigaram a influência do risco geopolítico nos mercados de ações dos BRICS, concluindo que o risco geopolítico não é um fator relevante para explicar as rendibilidades das ações nesses mercados, mas apenas tem impacto nas suas volatilidades. De forma semelhante, Bouri et al. (2019) observaram que o índice GPR contribui para explicar a volatilidade e rendibilidade dos mercados de ações por eles estudados, assim como a volatilidade de títulos islâmicos.

Embora os referidos estudos tenham analisado, sobretudo, a relação entre o risco geopolítico GPR e ativos tradicionais, o número de trabalhos científicos envolvendo ativos sustentáveis é relativamente escasso. Algumas exceções incluem os trabalhos de Kocaarslan e Soytaş (2019), Yang et al. (2021), Sweidan (2021), Yahya et al. (2021), Zhou et al. (2021), Sohag et al. (2022), Shahzad et al. (2023) e Gabriel et al. (2024). Para quantificar o risco geopolítico, vários estudos utilizaram o índice desenvolvido por Caldara e Iacoviello (2018), que contorna significativamente as limitações associadas a outras abordagens metodológicas, utilizando um algoritmo que analisa a frequência de palavras incluídas em artigos publicados em jornais, para identificar a ocorrência ou intensificação de eventos políticos adversos, como tensões militares e nucleares, entre outros.

Yang et al. (2021) analisaram os efeitos de transmissão do GPR em cinco mercados de ações de energia renovável, concluindo que existem efeitos significativos, embora não tenha sido possível identificar um padrão claro positivo ou negativo. Sweidan (2021) investigou a influência do GPR no crescimento do setor de energia renovável nos Estados Unidos, descobrindo que o GPR teve um efeito significativo e positivo neste setor, atuando como um impulsionador da energia renovável. Por sua vez, Yahya et al. (2021) observaram que a dinâmica entre o índice de energia limpa e o petróleo é variável ao longo do tempo e depende das condições de mercado. Os autores também concluíram que o desempenho das ações de energia verde é um forte impulsionador do mercado de petróleo, especialmente após a crise financeira global de 2008. De forma semelhante, Kocaarslan e Soytaş (2019) concluíram que existe conectividade assimétrica variável ao longo do tempo entre os preços do petróleo e os preços das ações de

energia limpa. Adotando uma perspectiva multidimensional, Zhou et al. (2021) analisaram o efeito de spillover de volatilidade entre os mercados de energia limpa, concluindo que existe transmissão de risco entre os mercados estudados. De acordo com Diebold & Yilmaz (2009), o spillover das rendibilidades dos ativos pode refletir eficazmente o movimento conjunto dos preços entre as variáveis, enquanto o spillover de volatilidade é mais suscetível a choques de eventos extremos, refletindo as características de contágio de risco entre os ativos financeiros.

Os trabalhos de Umar et al. (2022) e Shahzad et al. (2023) merecem atenção especial, pois analisaram o efeito do risco geopolítico no mercado energético após o surgimento da guerra entre a Ucrânia e a Rússia. O primeiro estudo utilizou uma técnica de análise de eventos para concluir que os investidores reagiram de forma excessiva às notícias sobre o contexto do evento da guerra. Shahzad et al. (2023) estudaram o impacto do risco geopolítico na interconexão dos mercados de metais preciosos e de energia, enfatizando o início do referido evento de guerra com base num modelo autoregressivo vetorial de variação temporal, concluindo que houve maior dependência das variáveis estudadas após o início do conflito, especialmente durante a sua fase inicial.

Embora alguns dos estudos mencionados tenham investigado as implicações do risco geopolítico em diversos aspetos dos ativos de investimento, nenhum abordou diretamente as questões de investigação apresentadas no presente estudo. Além disso, com exceção do trabalho de Gabriel et al. (2024), a literatura recorre habitualmente à variável GPR de forma agregada, sem considerar as suas principais dimensões geopolíticas globais, nomeadamente ameaças e ações, e também sem considerar dois segmentos de ETFs de energia, um representando o setor tradicional de carbono e o outro alinhado com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, permitindo uma análise abrangente do risco transmitido pelo GPR aos ativos energéticos. Por outro lado, os estudos anteriormente referenciados estimam a média condicional do spillover com base nas abordagens de Diebold e Yilmaz (2009) e Baruník e Křehlík (2018), embora o processo de transmissão de informação seja influenciado por diferentes condições de mercado, o que significa que o índice de spillover baseado na média condicional subestima, até certo ponto, o impacto de choques inesperados em condições extremas (Zhang et al., 2020; Lin & Su, 2021; Bouri et al., 2021). Em períodos de elevada volatilidade e stress nos mercados financeiros, as interconexões dos mercados financeiros tendem a intensificar-se (Betz et al., 2016; Ang & Bekaert, 2002; Su, 2020; Cui et al., 2021; Saeed et al., 2021; Shahzad et al., 2021; Billah et al., 2022; Mensi et al., 2022). Para suprir essa lacuna metodológica, o modelo VAR baseado na média condicional foi expandido para o cálculo dos quantis condicionais. Segundo Khalfaoui et al. (2022) e Ando et al. (2022), a abordagem de quantis pode ajudar a explicar a

propagação do risco de cauda nos mercados de energia em diferentes estados de mercado, o que pode auxiliar na obtenção de estimativas mais precisas e fiáveis, permitindo um estudo mais aprofundado e robusto das características topológicas da rede gerada entre os segmentos de energia e o GPR, assim como permite analisar a eventual heterogeneidade do processo de spillover entre diferentes quantis.

Os governos de diversos países têm sublinhado que a transição para uma energia de baixo carbono deve ser promovida de forma estável e ordenada, tendo como base salvaguardar a segurança energética nacional e o desenvolvimento económico. Consequentemente, é importante prevenir o risco sistémico no processo de transição energética e aprofundar o estudo do efeito de spillover no mercado de energia, ajudando a garantir a segurança energética e a manter a estabilidade financeira, além de promover o desenvolvimento económico sustentável e a redução das emissões de carbono.

3. Dados e Metodologia

3.1. Dados

Para satisfazer os objetivos de investigação do presente seminário, foram selecionados dados e frequência diária, seguindo as recomendações de Umar et al. (2020) e Gong et al. (2023), por refletirem de forma mais precisa o comportamento e as dinâmicas do setor energético em comparação com dados de menor frequência. Adicionalmente, como o objetivo deste trabalho é avaliar continuamente a relação entre os dois segmentos de energia e os dois índices globais de risco geopolítico (ameaças e atos), a disponibilidade de informações detalhadas é um elemento crucial, o que justifica a opção por dados de periodicidade diária.

O período de análise abrange cerca de quinze anos e meio, iniciando-se a 26 de junho de 2008 e terminando a 7 de fevereiro de 2024, sendo condicionado pela disponibilidade de dados. A amostra inclui dois índices de risco geopolítico e dois segmentos do mercado de energia, especificamente três ETFs de energia limpa e três ETFs de energia carbónica, em cada caso selecionando os ETFs com o maior valor de mercado de ativos sob gestão, considerando como fonte informação a base de dados EIKON-Datastream.

De acordo com a bibliografia consultada, a opção por ETFs apresenta diversas vantagens. Em primeiro lugar, obvia as dificuldades inerentes a séries não sincronizadas, o que acontece habitualmente sempre que a escolha recai em títulos individuais, conduzindo a eventuais estimativas enviesadas (Lo & MacKinlay, 1990). Por outro lado, embora os ETFs sejam fundos de

investimento, estes comportam-se de forma semelhante às ações, proporcionando aos investidores níveis adequados de liquidez e oportunidades de diversificação, sendo considerados uma das inovações financeiras mais significativas nas últimas décadas (Antoniewicz & Heinrichs, 2014; Amenc et al., 2017).

Quanto aos índices de risco geopolítico, estes foram obtidos a partir do site Geopolitical Risk (<https://www2.bc.edu/matteo-iacoviello/gpr.htm>). Estes índices são gerados a partir de um processo automatizado de pesquisa de texto, em notícias de grandes jornais, cobrindo uma grande variedade de eventos, incluindo notícias relativas a guerras, terrorismo e tensões geopolíticas.

Sintetizando, os dados selecionados para este seminário abrangem dois índices de risco geopolítico e dois segmentos específicos do setor energético, permitindo uma análise detalhada da relação gerada entre ambos ao longo de um período amostral amplo.

- O iShares Global Clean Energy ETF (ICLN) é um fundo negociado em bolsa que reflete o desempenho do Índice Global de Energia Limpa da Standard & Poor's. Este índice inclui uma gama diversificada de empresas envolvidas na produção de energia limpa, bem como fornecedores de tecnologia e equipamentos relacionados com a energia sustentável. O ICLN foi lançado em junho de 2008 e, desde então, tem sido uma opção para investidores interessados em participar no crescimento do setor de energia limpa.
- O First Trust NASDAQ Clean Edge Green Energy Index Fund (QCLN) é um fundo negociado em bolsa ligado ao setor de energia alternativa. Investe em empresas envolvidas em diversas atividades relacionadas com subsectores de energia verde, como biocombustíveis, energia solar e baterias avançadas, entre outros. Lançado em fevereiro de 2007, o QCLN oferece aos investidores uma forma diversificada de participar no potencial de crescimento do setor de energia limpa.
- O Invesco WilderHill Clean Energy ETF (PBW) é uma opção para investir em energia limpa, focando-se em empresas associadas a fontes de energia verde e renovável, bem como tecnologias que facilitam a energia limpa. Lançado em março de 2005, o PBW proporciona aos investidores exposição a um portfólio diversificado de empresas na vanguarda do desenvolvimento e implementação de soluções de energia sustentável.
- O Energy Select Sector SPDR Fund (XLE) oferece exposição ao setor energético dos EUA, abrangendo muitas das maiores empresas produtoras de petróleo a nível mundial. Lançado em dezembro de 1998, o XLE é uma opção para investidores interessados em acompanhar o desempenho de empresas no setor energético convencional.

- O Vanguard Energy ETF (VDE) oferece uma ampla exposição à indústria energética dos EUA. Lançado em setembro de 2004, o VDE é uma opção para investidores que pretendem acompanhar de forma abrangente o desempenho do setor energético americano.
- O SPDR S&P Oil & Gas Exploration & Production ETF (XOP) oferece exposição ao sub-setor de exploração e produção do mercado energético dos EUA. Lançado em junho de 2006, o XOP pode ser uma ferramenta potencialmente útil para investidores interessados em acompanhar o desempenho das empresas responsáveis por descobrir e explorar novas reservas de petróleo e gás.
- O Índice Geopolítico de Atos (GPRA) está relacionado com a ocorrência ou escalada de eventos adversos, como o início guerras, a escalada de conflitos militares e atos terroristas.
- O Índice Geopolítico de Ameaças (GPRT) está relacionado com tensões militares ou nucleares, como ameaças de guerra, ameaças à paz, ameaças nucleares e ameaças terroristas.

Para satisfazer os objetivos de investigação, as volatilidades das séries são calculadas da seguinte forma: $y_t = \left| \frac{X_t - X_{t-1}}{X_{t-1}} \right|$, onde X_t e X_{t-1} representam os valores diários de uma dada série, nos dias t e $t-1$, respetivamente, tal como sugerido por Chatziantoniou et al. (2023).

A Tabela 1 resume as principais estatísticas descritivas relacionadas com a volatilidade diária das variáveis estudadas. A volatilidade média dos índices geopolíticos é significativamente mais alta do que a dos segmentos de energia, com valores médios de volatilidade de 0,61 e 0,45 para os índices GPRA e GPRT, respetivamente, em contraste com os valores médios dos segmentos de energia, que registaram o seu valor mais alto no XOP, com 0,019. O coeficiente de assimetria indica que as distribuições de volatilidade das oito séries são assimétricas à direita. Por sua vez, o coeficiente de curtose mostra que as distribuições de volatilidade dos ETFs energéticos e dos índices geopolíticos apresentam características de leptocurtose e caudas pesadas.

Os resultados dos testes de Jarque-Bera confirmaram que as séries de volatilidade não seguem uma distribuição normal, pelo que a distribuição das séries de volatilidade não se ajusta à hipótese de normalidade. A estatística Ljung-Box Q mostra que a volatilidade dos ETFs de energia e dos índices de risco geopolítico apresenta características significativas de autocorrelação. O teste ARCH-LM indicou que todas as sequências de volatilidade exibem

efeitos ARCH significativos. Além disso, os testes ADF mostraram que todas as séries de volatilidade são estacionárias. Devido à estacionariedade das séries e ao efeito ARCH evidenciado por elas, pode existir alguma dependência temporal e clusterização de volatilidade.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas

	ICLN	PBW	QCLN	VDE	XLE	XOP	GPRA	GPRT
Média	0.01396	0.01680	0.01570	0.01342	0.01313	0.01871	0.61474	0.44727
Mediana	0.00962	0.01207	0.01125	0.00918	0.00888	0.01370	0.38071	0.31568
Máximo	0.17352	0.17140	0.16058	0.19825	0.20141	0.36871	16.15871	13.22554
Mínimo	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00015
Desv. Padr.	0.01584	0.01679	0.01572	0.01494	0.01493	0.01935	0.99874	0.53446
Assimetria	3.55645	2.44615	2.50938	3.61359	3.83451	4.02536	6.14306	6.11031
Curtose	23.27444	12.84023	13.67463	26.93855	29.52698	43.10919	57.67146	98.03025
JB	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*
ADF	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00018)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00001)*
LB (20)	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*	(0.00000)*
LB ² (20)	(0.00045)*	(0.00082)*	(0.00267)*	(0.00594)*	(0.00226)*	(0.00004)*	(0.00602)*	(0.02193)**
ARCH (20)	(0.00281)*	(0.00616)*	(0.00724)*	(0.00824)*	(0.00927)*	(0.02144)**	(0.00519)*	(0.00082)*

Notas: Esta tabela apresenta as estatísticas descritivas (média, máximo, mínimo, desvio padrão, assimetria, curtose e teste de normalidade de Jarque-Bera) para todas as variáveis (ICLN - iShares Global Clean Energy ETF; QCLN - First Trust NASDAQ Clean Edge Green Energy Index Fund; PBW - Invesco WilderHill Clean Energy ETF; XLE - Energy Select Sector SPDR Fund; VDE - Vanguard Energy ETF; XOP - SPDR S&P Oil & Gas Exploration & Production ETF; GPRA - Geopolitical Acts Index; GPRT - Geopolitical Threats Index). O teste ADF serve para verificar a propriedade de estacionariedade das séries. LB(k) e LB²(k) (com k = 20) são as estatísticas Ljung-Box Q da autocorrelação de ordem k para os resíduos e seus quadrados, respetivamente. ARCH (20) refere o teste de Engle (1982) para verificar a presença de efeitos ARCH até 20 desfasamentos. *, e ** indicam significância nos níveis de 1% e 5%, respetivamente.

As características estatísticas anteriormente apresentadas destacam a importância de recorrer a modelos capazes de lidar com volatilidade variável no tempo, o que fundamenta a escolha dos métodos de análise por quantis apresentados neste trabalho científico. Esta abordagem ajuda a controlar a presença de heterocedasticidade nas séries, o que, por sua vez, minimiza potenciais distorções nas estimativas de correlação e na transmissão de contágio. Este controlo é particularmente crucial em períodos de volatilidade elevada, quando as relações entre os ativos financeiros podem ser mais voláteis e menos previsíveis (Bouri et al., 2021; Billah et al., 2022; Ando et al., 2022; Mensi et al., 2022).

3.2. Metodologia

Para satisfazer os objetivos da investigação, optou-se por um modelo de correlação condicional dinâmica multivariada (cDCC-GARCH), que permite monitorizar o nível de proximidade entre as variáveis durante o período amostral, bem como selecionar a proposta de Ando et al. (2022), que ajudará a aprofundar o estudo do processo de transmissão de informação entre as variáveis estudadas.

Diversos métodos empíricos são utilizados para estimar as correlações entre as séries estudadas. Neste estudo, perante as diversas alternativas disponíveis, optou-se por escolher o modelo multivariado cDCC-GARCH para modelar a volatilidade e estimar as correlações condicionais dinâmicas geradas entre as oito variáveis analisadas. Devido às suas vantagens comparativas, optou-se por utilizar modelos de correlação restrita, como o DCC, ADCC (correlação condicional dinâmica assimétrica) e cDCC. Por um lado, estes modelos permitem superar os problemas identificados em outros modelos, particularmente nas variantes BEKK e VECH, que envolvem um número excessivo de parâmetros livres, gerando estimativas mais parcimoniosas (Yousaf & Ali, 2020). Por outro lado, os modelos DCC, ADCC e cDCC são mais fáceis de estimar e comparativamente mais robustos, provando ser adequados para estudar correlações variáveis no tempo entre ativos financeiros (Ciner et al., 2013), tendo sido aplicados em vários contextos, abrangendo tanto períodos calmos como turbulentos (Sadorsky, 2012; Yousaf & Ali, 2020).

Para corrigir possíveis inconsistências e enviesamentos nos parâmetros estimados pelo modelo DCC-GARCH de Engle (2002), Aielli (2013) propôs o modelo cDCC-GARCH.

Engle (2002) introduziu um modelo de correlação condicional dinâmica multivariada (GARCH-DCC), que difere de outros modelos, como o modelo de correlação condicional constante, proposto por Bollerslev (1990), ao permitir que a matriz de correlação condicional varie ao longo do tempo.

Este modelo é estimado em duas fases. Na primeira fase, aplicam-se modelos GARCH univariados a cada série. Na segunda fase, os resíduos padronizados obtidos na primeira fase são utilizados para calcular a correlação condicional.

No modelo GARCH-DCC, a matriz de variância-covariância é expressa como:

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (1)$$

D_t é a matriz diagonal dos desvios-padrão variáveis no tempo das estimativas univariadas do modelo GARCH e R_t é a matriz de correlação variável no tempo. R_t pode ser definida como:

$$R_t = Q_t^{*-1} Q_t Q_t^{*-1} \quad (2)$$

$$Q_t = (1 - \theta_1 - \theta_2) Q_t^* + Q_t Q_t^{*-1} \theta_1 \varepsilon_{t-1} \varepsilon'_{t-1} + \theta_2 Q_{t-1} \quad (3)$$

Q_t é a variância incondicional entre as séries e Q_t^* é a covariância incondicional entre as séries, e ε_{t-1} é a matriz empírica dos resíduos padronizados. θ_1 e θ_2 implicam a persistência dos choques. A soma desses fatores mede a persistência da volatilidade. Espera-se que $\theta_1 \geq 0$, $\theta_2 \geq 0$ e $\theta_1 + \theta_2 < 1$ para definir a matriz de correlação condicional como positiva.

No entanto, existem algumas questões sobre a consistência do modelo DCC-GARCH. Aielli (2013) argumenta que uma estimativa da matriz de correlação empírica é inconsistente porque:

$$E[\varepsilon_t \varepsilon_t'] = E[E_{t-1} \varepsilon_t \varepsilon_t'] = E[R_t] \neq E[Q_t] \quad (4)$$

Aielli (2013) sugeriu um estimador consistente das correlações dinâmicas, denominado DCC corrigido (cDCC), para resolver este problema. O modelo cDCC melhorou a consistência ao reformular as correlações como:

$$Q_t = (1 - \theta_1 - \theta_2) Q_t^* + \theta_1 \{Q_{t-1}^{1/2} \varepsilon_{t-1} \varepsilon_{t-1}' Q_{t-1}^{1/2}\} + \theta_2 Q_{t-1} \quad (5)$$

A Equação (5) mostra que, no modelo cDCC, as correlações condicionais são formuladas com a combinação das inovações relevantes e das correlações passadas. Quando a persistência da correlação e os efeitos das inovações são suficientemente elevados, o estimador cDCC permanece não tendencioso, o que não acontece com o estimador DCC.

Para aprofundar a compreensão do processo de transmissão de informação entre as variáveis estudadas, adotamos a abordagem de conectividade por quantis, desenvolvida por Ando et al. (2022). De acordo com Chen et al. (2022), Chatziantoniou et al. (2023) e Jiang e Yunfei (2024), os métodos estatísticos tradicionais não são válidos para estudar spillovers direcionais sob condições extremas. Ao permitir um estudo mais detalhado dos quantis inferiores e superiores, o método baseado no modelo QVAR ajuda a refletir na análise as consequências de choques e de eventos extremos, o que expande o quadro tradicional baseado na média, designadamente, o desenvolvido por Diebold e Yilmaz (2012, 2014), apoiando a investigação da dependência nas caudas entre as variáveis, em quaisquer condições de mercado.

Para realizar a estimativa de métricas realistas de conectividade por quantis, começa-se por definir uma representação de média móvel do QVAR (p):

$$u_t(q) y_t = u(q) + \sum_j^p \Phi_j(q) y_{t-j} + u_t(q) = u(q) + \sum_{i=0}^{\infty} \Phi_t(q) u_{t-i} \quad (6)$$

Em que y_t representa o vetor das oito variáveis endógenas; $u(q)$ e $\Phi_j(q)$ representam o vetor da mediana condicional e a matriz de coeficientes do QVAR, com o quantil q , para valores entre $[0,1]$, respetivamente; e $u_t(q)$ refere-se ao vetor de erros. A decomposição da variância do erro de previsão generalizado (GFEVD) a K passos à frente é especificada como a sensibilidade de um fator a choques em outros fatores:

$$\Theta_{ij}^g(k) = \frac{\sum_{j=1}^8 \sum_{k=0}^{k-1} (e_i \Omega_k(q) \Sigma(q) e_j)^2}{\sum_{k=0}^{k-1} (e_i \Omega_k(q) \Sigma(\tau) \Omega_k(q) e_i)} \quad (7)$$

Em que e_i indica um vetor nulo, com o valor 1 localizado na posição i -ésima. As participações na variância são então normalizadas para cada elemento da seguinte forma:

$$\theta_{ij}^g(k) = \frac{\theta_{ij}^g(k)}{\sum_{j=1}^N \theta_{ij}^g(k)}, \text{ com } \sum_{j=1}^N \theta_{ij}^g(k) = 1 \text{ e } \sum_{i,j=1}^N \theta_{ij}^g(k) = N \quad (8)$$

Os efeitos de spillover direcional de todos os índices para o índice i no quantil q são os seguintes;

$$DE_{j,t} = \sum_{j=1, i \neq j}^N \theta_{ji,t}^g(k) \quad (9)$$

Os efeitos de spillover direcional do índice i para todos os indicadores no quantil q são dados por:

$$PARA_{j,t} = \sum_{i=1, i \neq j}^N \theta_{ij,t}^g(k) \quad (10)$$

De acordo com as Eq. (9) e (10), no quantil q , o índice de spillover líquido é obtido por:

$$LIQUIDO_{j,t} = PARA_{j,t} - DE_{j,t} \quad (11)$$

Usando a decomposição da variância do erro de previsão quantílico generalizado no quadro de Diebold e Yilmaz (2012, 2014), são expressas várias medidas de conectividade do quantil condicional q -ésimo. O índice de conectividade total (ICT) no quantil q é determinado através da seguinte expressão:

$$ICT_t = \frac{\sum_{i,j=1, i \neq j}^N \theta_{i,j}^g(H)}{N-1} \quad (12)$$

4. Resultados Empíricos e Discussão

A nossa abordagem empírica desenvolve-se em duas fases distintas. Na primeira fase, estimamos vários modelos multivariados, incluindo o modelo cDCC-GARCH, proposto por Aielli (2013). Com base nestes modelos, exploramos a conectividade entre as variáveis selecionadas e investigaremos vários factos estilizados relacionados com as mesmas, como os clusters de volatilidade, a volatilidade assimétrica e a variação ao longo do tempo. É importante notar que as estimativas de correlação condicional podem estar sujeitas a enviesamento, uma vez que dependem parcialmente do estado da volatilidade. Forbes e Rigobon (2002) observaram que os mercados tendem a estar mais correlacionados durante períodos de turbulência, sem que haja mudanças substanciais nas interconexões entre eles. Para analisar o impacto dinâmico dos índices GPR nas relações entre os dois segmentos de energia, recorreremos à abordagem proposta por Ando et al. (2022), que permite aprofundar a compreensão acerca da magnitude do risco de spillover entre diferentes quantis. Esta análise começa com uma perspetiva estática sobre os

efeitos de spillover entre as variáveis estudadas, seguida de uma perspectiva dinâmica desses efeitos.

4.1. Análise das Correlações Condicionais Dinâmicas

Para analisar as relações de conectividade dinâmica geradas entre as variáveis selecionadas, foram estimados vários modelos GARCH multivariados, nomeadamente os modelos DCC, ADCC, DCC-DECO e cDCC, entre outros, considerando várias especificações (distribuição dos erros, desfasamento e efeito assimétrico), com base nas séries de volatilidade das oito variáveis estudadas, as quais respeitaram a condição de estacionaridade, conforme os resultados do teste ADF, apresentados na Tabela 1. Ao estimar os modelos de heterocedasticidade condicional multivariada, foram considerados dois tipos de pressupostos. Por um lado, procurou-se garantir que as condições específicas dos modelos estimados fossem respeitadas. Por outro lado, foram tidas em conta as indicações fornecidas pelos critérios de informação de Akaike e Schwarz. Tendo em conta ambos os pressupostos, a versão mais simples do modelo cDCC-GARCH foi selecionada para este trabalho. Na Tabela 2 é apresentado um resumo das principais estimativas do referido modelo.

O Painel A da Tabela 2 apresenta as principais estimativas do modelo cDCC-GARCH, enquanto o Painel B apresenta os resultados de vários testes de diagnóstico.

De um modo geral, os parâmetros das equações de variância condicional apresentados no Painel A da Tabela 2 são estatisticamente significativos ao nível de 1%. Os parâmetros β , relativos ao efeito GARCH, são em todos os casos relativamente elevados e mostram significância estatística ao nível de 1%, refletindo que as séries estudadas reportam volatilidade elevada. Por sua vez, como a soma dos parâmetros gerais do modelo estimado é bastante elevada e menor que a unidade, concluímos que a matriz de correlação condicional é definida positivamente e que o processo de geração de volatilidade é caracterizado por intensidade e persistência.

Para concluir acerca da adequação estatística do modelo estimado, utilizámos os testes Ljung-Box e ARCH-LM, mostrados no Painel B da Tabela 2, com os resultados a indicarem que o modelo não contém erros de especificação assinaláveis.

Com base nas estimativas do modelo cDCC-GARCH, foi construída a Figura 1, que mostra as correlações condicionais dinâmicas geradas durante o período amostral para as seis séries de ETFs e as duas séries relacionadas com o risco geopolítico. Em todos os casos, os pares de correlações condicionais são caracterizados por grande variabilidade. Se considerarmos apenas

os pares relativos aos ETFs, estes apresentam correlações positivas e relativamente elevadas em todos os momentos, o que sugere proximidade no comportamento dos mesmos. No entanto, o nível de proximidade é claramente mais intenso nas relações bivariadas entre ETFs pertencentes ao mesmo segmento energético.

Tabela 2 - Estimativas do modelo multivariado cDCC-GARCH

	PBW	ICLN	QCLN	VDE	XLE	XOP	GPRA	GPRT	
Painel A	ω	0,0124 (0,0000)*	0,0104 (0,0000)*	0,0119 (0,0000)*	0,0096 (0,0000)*	0,0093 (0,0000)*	0,0143 (0,0000)*	0,5419 (0,0000)*	0,4375 (0,0000)*
	α_0	0,0108 (0,0118)**	0,0160 (0,0047)*	0,0140 (0,0055)*	0,0117 (0,0045)*	0,0108 (0,0057)*	0,0210 (0,0275)**	0,0021 (0,2264)	0,0031 (0,0696)
	α_1	0,0696 (0,0000)*	0,0859 (0,0000)*	0,0665 (0,0000)*	0,0825 (0,0000)*	0,0842 (0,0000)*	0,0967 (0,0003)*	0,0078 (0,0614)	0,0101 (0,3115)
	β	0,9290 (0,0000)*	0,9093 (0,0000)*	0,9287 (0,0000)*	0,9151 (0,0000)*	0,9140 (0,0000)*	0,9061 (0,0000)*	0,9904 (0,0000)*	0,9795 (0,0000)*
	θ_1	0,0198 (0,0000)*							
	θ_2	0,9675 (0,0000)*							
	$\theta_1 + \theta_2$	0,9873							
	LB	26.2201							
	(20)	(0.2614)							
	Painel B	LB ²	24.1592						
(20)	(0.4638)								
	ARCH (20)	11.6283							
		(0.5176)							

Notas: Esta tabela apresenta os resultados da estimação do modelo multivariado e o diagnóstico residual correspondente para as diversas variáveis (ICLN - iShares Global Clean Energy ETF; QCLN - First Trust NASDAQ Clean Edge Green Energy Index Fund; PBW - Invesco WilderHill Clean Energy ETF; XLE - Energy Select Sector SPDR Fund; VDE - Vanguard Energy ETF; XOP - SPDR S&P Oil & Gas Exploration & Production ETF; GPRA - Índice Geopolítico de Atos; GPRT - Índice Geopolítico de Ameaças). O Painel A apresenta os resultados da estimação dos coeficientes. Os números entre parênteses (.) são os valores-p. O Painel B apresenta os resultados do diagnóstico residual. LB(k) e LB2(k) (com k = 20) são as estatísticas Ljung-Box Q da autocorrelação de ordem k para os resíduos e seus quadrados, respetivamente. ARCH (20) reporta o teste de Engle (1982) para verificar a presença de efeitos ARCH até 20 desfasamentos. * e ** indicam significância nos níveis de 1% e 5%, respetivamente.

No que diz respeito ao segmento de ETFs de energia limpa, os pares ICLN/PBW e QCLN/PBW registaram as correlações condicionais mais elevadas, com valores médios de 0,66 e 0,84, respetivamente. Considerando as relações bivariadas entre ETFs de energia carbónica, os pares XLE/XOP, VDE/XOP e VDE/XLE mostraram níveis de intensidade muito elevados, com 0,86, 0,88 e 0,98, respetivamente. Os pares que envolvem simultaneamente ETFs de ambos os segmentos reportam correlações médias menos intensas. O par PBW/VDE reporta a correlação mais alta (0,43), enquanto o par ICLN/XOP reporta a correlação mais baixa (0,34), indicando que o comportamento dinâmico de cada um dos segmentos energéticos possui um forte componente idiossincrático.

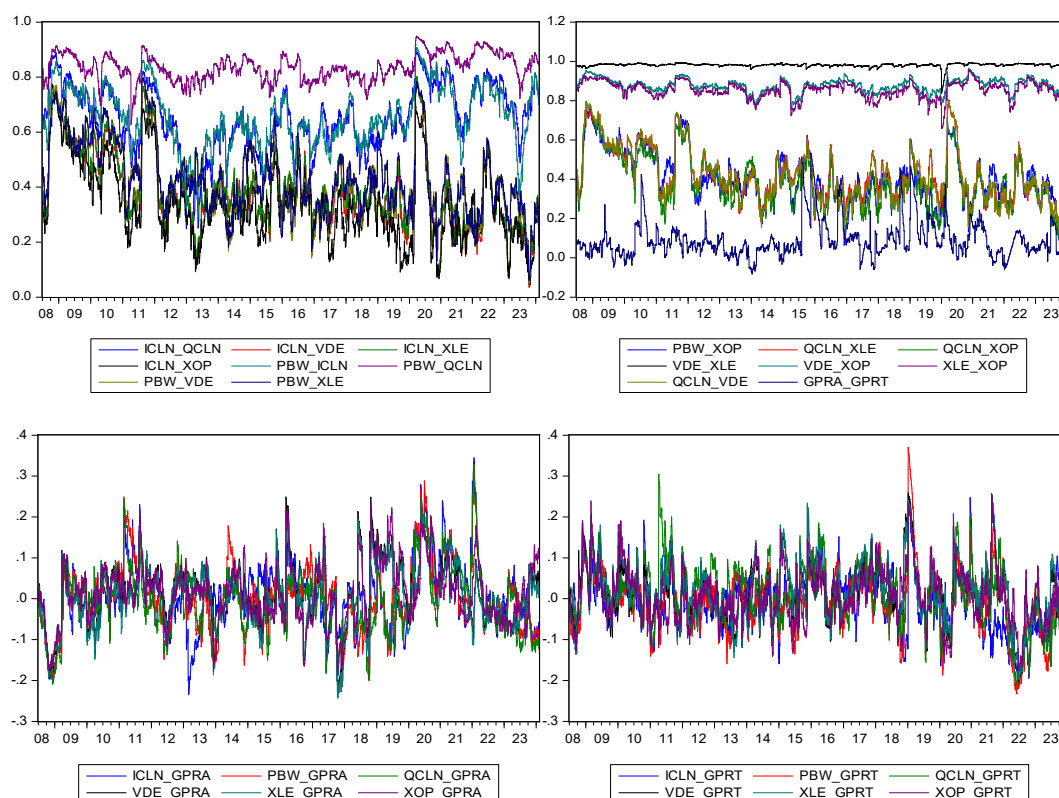


Figura 1 - Correlações condicionais dinâmicas

À semelhança dos resultados gerados em outros estudos de investigação, nomeadamente os de Umar et al. (2022), Chatziantoniou et al. (2023) e Gong et al. (2023), entre outros, que destacaram as fortes consequências na economia internacional e nos mercados financeiros geradas pela crise da pandemia de Covid-19, os nossos resultados também revelam o forte impacto desta crise, especialmente na sua primeira fase, com um aumento muito acentuado nas correlações condicionais bivariadas. No que diz respeito à guerra na Ucrânia, que começou a 24 de fevereiro de 2022, esta deu origem a uma fase de aproximação entre os ETFs, refletida na clara intensificação das correlações condicionais, em linha com os resultados obtidos por Umar

et al. (2022) e Shahzad et al. (2023). No entanto, o impacto deste conflito bélico revelou-se menos acentuado face ao registado durante a crise pandémica. Em relação ao conflito na Palestina, as consequências em termos de correlações foram muito mais fracas, se comparadas com as dos outros eventos analisados. Tendo em conta as estimativas obtidas, parece claro que, em fases turbulentas, como o início da crise pandémica, o eclodir da guerra na Ucrânia e o conflito na Palestina, o comportamento da volatilidade dos ETFs energéticos tende a convergir, independentemente do segmento a que pertencem.

Tal como nas correlações bivariadas entre ETFs, as correlações geradas entre estes e os índices de risco geopolítico também foram marcadamente variáveis ao longo do período amostral estudado, embora os níveis de intensidade tenham sido relativamente ténues, com o respetivo percurso evolutivo a acomodar correlações condicionais de valores positivos e negativos, de forma semelhante às estimativas de Yang et al. (2021) e Sohag et al. (2022). As correlações negativas estiveram, fundamentalmente, associadas a fases de mercado de baixa volatilidade, enquanto as correlações positivas estiveram relacionadas com fases de alta volatilidade, coincidentes com movimentos descendentes nos preços dos ativos energéticos, como a emergência da crise pandémica e a guerra na Ucrânia. A elevada variabilidade das correlações condicionais indica claramente o grau de complexidade subjacente aos mecanismos de influência do risco geopolítico, o que requer uma análise mais detalhada, a qual teremos a oportunidade de aprofundar na próxima secção deste trabalho.

4.2. Análise da Conectividade Estática

Para aprofundar o estudo do processo de transmissão de risco entre os índices GPR e os segmentos de energia, recorreremos à abordagem de Ando et al. (2022) para a mediana condicional ($q = 0,5$). O tamanho do desfasamento do VAR para estimar a conectividade é 2, considerando as indicações fornecidas pelos critérios de informação de Akaike e Schwarz. A decomposição da variância do erro de previsão consiste em 10 passos, seguindo (Bouri et al., 2021; Gabriel et al., 2024). A Tabela 2 apresenta os spillovers gerados entre as oito variáveis, com base nesta abordagem.

A média do spillover de todas as séries estudadas, segundo o índice de conectividade total (ICT), é de 51,09%, indicando a existência de ligações não negligenciáveis entre os segmentos de energia e o GPR. Estes resultados mostram a independência entre as variáveis estudadas, com mais de metade dos respetivos erros de previsão a resultarem de spillovers gerados entre as

oito variáveis, o que sugere que os efeitos dos spillovers devem ser considerados ao analisar as relações entre os segmentos de energia.

Tabela 2: Spillovers na mediana condicional (q = 0,5)

	PBW	ICLN	QCLN	VDE	XLE	XOP	GPRA	GPRT	Recetores
PBW	36.88	15.16	24.91	7.50	7.55	6.69	0.67	0.64	63.12
ICLN	17.11	43.92	16.76	7.36	7.49	5.88	0.77	0.71	56.08
QCLN	25.16	14.95	37.43	7.37	7.39	6.43	0.55	0.71	62.57
VDE	6.30	5.42	6.08	29.89	28.68	22.53	0.51	0.57	70.11
XLE	6.37	5.55	6.08	28.94	30.24	21.77	0.48	0.57	69.76
XOP	6.26	4.86	5.84	24.90	23.86	33.10	0.63	0.56	66.90
GPRA	1.24	1.41	1.01	1.22	1.1	1.16	89.6	3.26	10.40
GPRT	1.06	0.79	1.23	1.10	1.19	0.98	3.43	90.22	9.78
Transmissores	63.49	48.14	61.92	78.40	77.27	65.44	7.03	7.02	408.72
Incl. Próprio	100.37	92.06	99.35	108.3	107.51	98.54	96.63	97.24	ICT=51.09
Líquido	0.37	-7.94	-0.65	8.30	7.51	-1.46	-3.37	-2.76	

Notas: O par de conectividade direcional ij-ésimo para as variáveis das várias variáveis (ICLN - iShares Global Clean Energy ETF; QCLN - First Trust NASDAQ Clean Edge Green Energy Index Fund; PBW - Invesco WilderHill Clean Energy ETF; XLE - Energy Select Sector SPDR Fund; VDE - Vanguard Energy ETF; XOP - SPDR S&P Oil & Gas Exploration & Production ETF; GPRA - Geopolitical Acts Index; GPRT - Geopolitical Threats Index), obtido a partir do modelo QVAR; a percentagem da variância do erro de previsão da variável i devido a choques da variável j. A coluna denominada “recetores” mostra a conectividade direcional total de todas as outras variáveis para a variável i, enquanto a linha denominada “transmissores” mostra a conectividade direcional total de todas as outras variáveis para a variável j. As contribuições próprias das variáveis são mostradas na diagonal. A linha denominada “líquido” mostra a conectividade direcional líquida total de cada par de variáveis (transmissores - recetores). O elemento no canto inferior direito (em negrito) é a conectividade total (média da conectividade “recetores”, ou, equivalentemente, média da conectividade “transmissores”).

Os elementos diagonais, que representam a parte autoexplicativa da variância do erro de previsão de cada série, apresentam o valor mais significativo. Cada série encontra o fator mais explicativo dentro da sua variância sob a mediana condicional. No que diz respeito à volatilidade do segmento de energia limpa, o ICLN destaca-se, com 43,92% da variância do erro de previsão explicada pela parte autoexplicativa, enquanto os restantes 56,08% recebem o maior spillover do PBW (17,11%), seguido pelo QCLN (16,76%), ambos do mesmo segmento energético. Em contraste, a capacidade explicativa dos ETFs pertencentes ao segmento de energia carbónica é relativamente menor, com o maior valor associado ao XLE (7,49%). Por sua vez, ambos os índices de GPR revelaram uma pequena capacidade explicativa para a volatilidade do ICLN, com valores de 0,77 e 0,71, para o GPRA e o GPRT, respetivamente. O mesmo pode ser dito para os restantes ETFs que integram o segmento de energia limpa. Relativamente à volatilidade do segmento de energia carbónica, também se destaca a componente idiosincrática, enquanto elemento explicativo da variância do erro de previsão dos três ETFs, embora de forma menos acentuada em comparação com os valores observados no outro segmento de energia. Por exemplo, no caso do XOP, 33,10% da variância do erro de previsão é explicada pela parte autoexplicativa,

enquanto os restantes 66,90% recebem o maior spillover dos ETFs no mesmo segmento de energia, especificamente do VDE (24,90%) e do XLE (23,86%). Os ETFs do outro segmento de energia registaram uma capacidade explicativa muito inferior, com o maior valor associado ao PBW (6,26%). No que diz respeito aos índices de GPR, estes mostraram uma pequena capacidade explicativa para a volatilidade dos ETFs de energia carbónica, sem diferenças assinaláveis entre os dois índices, o mesmo acontecendo relativamente ao seu impacto em cada um dos ETFs.

Analisando globalmente o processo de transmissão de spillovers entre os ETFs, é possível identificar dois segmentos com características específicas e homogêneas: energia limpa e energia carbónica. Dentro de cada um destes segmentos, a transmissão de informação ocorre principalmente entre os ETFs que os integram. Embora os resultados revelem casos de transmissão de spillover entre os dois segmentos, estes são de menor intensidade em comparação com o que ocorre dentro de cada segmento homogêneo, de forma consistente face aos resultados apurados na secção anterior, geradas com base no modelo cDCC-GARCH. Por outro lado, ao contrário do que a extensa literatura documenta, os ETFs de energia carbónica não mostraram uma influência significativa sobre os seus homólogos de energia limpa, como se o comportamento destes últimos dependesse principalmente das suas dinâmicas internas, e não de impulsos externos. Devido a algumas limitações, os investidores não têm acesso a toda a informação sobre o mercado de energia. Assim, quando um segmento é caracterizado por volatilidade, os investidores avaliam o outro segmento com base nessa informação. As avaliações e reações dos investidores às mudanças em determinado segmento são mais semelhantes se os segmentos partilharem atributos idênticos, tornando os choques mais facilmente transmitidos.

Considerando os spillovers líquidos de cada série, o VDE recebe 70,11% do spillover de outras variáveis, enquanto o spillover transmitido para outras variáveis é de 78,40%, indicando que este ETF é um transmissor líquido dentro do sistema (8,30%). O XLE e o PBW também são transmissores líquidos de spillovers. O ICLN é o maior recetor líquido, sendo principalmente influenciado pelos seus pares do mesmo segmento de energia. Por seu lado, a incerteza geopolítica também atua como um recetor líquido de spillovers e é afetada em diferentes graus pelos segmentos de energia.

Para explorar mais detalhadamente o processo de transmissão de spillovers em resposta a choques negativos e positivos, estimámos a interconectividade dos quantis extremos inferior e superior. As Tabelas 3 e 4 mostram os resultados para os spillovers nos quantis inferior e superior do sistema estudado, respetivamente. Essas tabelas também mostram que o spillover

nas caudas extremas das variáveis estudadas corresponde a um aumento dos níveis de spillover em comparação com o que é observado em condições medianas, o que é consistente com os resultados de Su (2020), Cui et al. (2021), Saeed et al. (2021) e Shahzad et al. (2021), entre outros. No quantil inferior extremo, o ICT das variáveis estudadas é de 72,82%. No quantil superior extremo, correspondente às fases de mercado mais voláteis, o ICT dos mercados estudados é de 85,30%, significativamente mais elevado face ao registado para a mediana condicional (51,09%). Estes resultados revelam que os choques extremos têm um impacto maior nos spillovers entre as variáveis do que as condições normais de mercado, tal como tinham concluído outros trabalhos de investigação, particularmente os de Khalfaoui et al. (2022), Ando et al. (2022) e Saeed et al. (2021). No quantil superior extremo (0,95), todos os ETFs são contribuintes líquidos para o sistema, com o ICLN, QCLN e XPO a passarem de recetores a transmissores líquidos de spillover. Considerando investigações anteriores (Ang e Bekaert, 2002; Bouri et al., 2020; Saeed et al., 2021), sob pressão de mercado, especialmente quando o quantil é alto, ocorrem situações de risco extremo de mercado, com a interconectividade entre os segmentos de energia a revelar-se mais forte do que em circunstâncias normais, assim como a interconectividade entre os índices do GPR e esses segmentos. O aumento significativo da interconectividade reflete uma relação mais estreita entre as variáveis estudadas, fazendo com que os dois segmentos de energia, com características específicas e homogêneas identificadas para a mediana condicional, se tornem mais difusos, resultando numa situação generalizada de risco sistémico. Ao avaliar a interconectividade dos ETFs e do GPR, os resultados mostram que considerar a hipótese da mediana condicional falha em capturar a intensidade do spillover em casos de choques extremos positivos e negativos.

Tabela 3: Spillovers estáticos no quantil inferior extremo (q = 0.05)

	PBW	ICLN	QCLN	VDE	XLE	XOP	GPRA	GPRT	Recetores
PBW	22.01	15.25	18.69	11.76	11.71	11.52	4.04	5.02	77.99
ICLN	16.35	23.76	16.10	11.74	11.74	11.04	4.32	4.95	76.24
QCLN	18.93	15.20	22.33	11.64	11.61	11.24	3.90	5.15	77.67
VDE	11.09	10.33	10.87	20.78	20.38	18.27	3.57	4.70	79.22
XLE	11.10	10.39	10.89	20.49	20.90	17.99	3.51	4.73	79.10
XOP	11.29	10.10	10.91	18.97	18.57	21.60	3.69	4.87	78.40
GPRA	8.00	8.07	7.75	7.51	7.34	7.51	45.95	7.87	54.05
GPRT	8.89	8.15	9.10	8.90	8.87	8.87	7.16	40.06	59.94
Transmissores	85.67	77.49	84.31	91.01	90.21	86.44	30.18	37.29	582.60
Incl. Próprio	107.68	101.25	106.64	111.79	111.11	108.04	76.13	77.36	ICT=72.82
NET	7.68	1.25	6.64	11.79	11.11	8.04	-23.87	-22.64	

Os valores do efeito de spillover para as extremidades esquerda e direita parecem mostrar um padrão de comportamento muito diferente em comparação com a suposição da mediana, de forma consistente com estudos anteriores, os quais indicam que choques grandes têm um efeito significativo sobre a volatilidade (Saeed et al., 2021; Chen et al., 2022). O grau de interconectividade entre os mercados aumenta com a magnitude dos choques negativos e positivos extremos, em linha com investigações anteriores sobre contágio no mercado, destacando a predominância dos efeitos de spillover nos quantis extremos superiores e inferiores (Balcilar et al., 2020; Bouri et al., 2020). Isso significa que, quando ocorre um impacto significativo que afete o comportamento do mercado, especialmente durante períodos correspondentes a um aumento do risco, os investidores podem obter informações para reavaliar o nível de risco dos seus portfólios de investimento. Isso reforça a adequação do modelo de extremidades para reguladores e formuladores de políticas, assim como para a reavaliação do risco de mercado (Betz et al., 2016; Saeed et al., 2021).

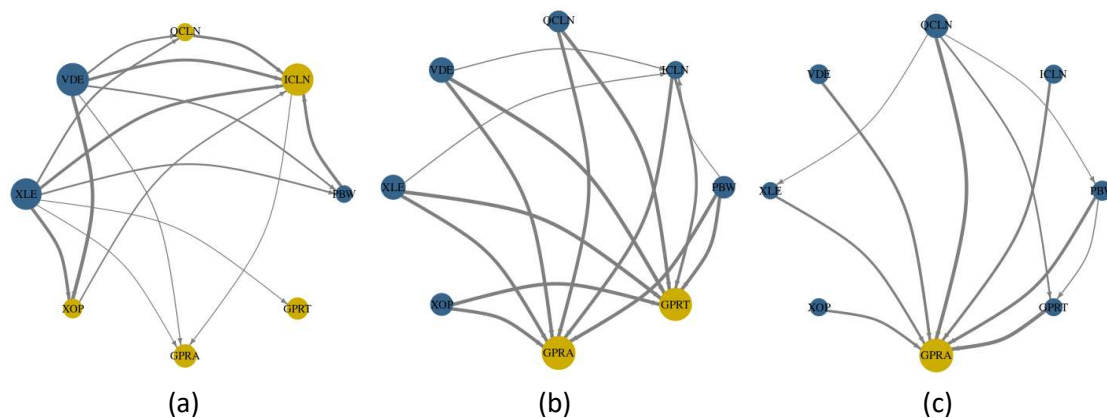
Tabela 4 - Spillovers estáticos no quantil superior extremo (q = 0.95)

	PBW	ICLN	QCLN	VDE	XLE	XOP	GPRA	GPRT	Recetores
PBW	14.45	13.05	13.93	12.14	11.95	12.12	10.77	11.59	85.55
ICLN	13.02	14.54	13.32	12.17	12.02	11.95	10.9	12.07	85.46
QCLN	13.52	13.09	14.66	12.23	12.03	12.11	10.73	11.64	85.34
VDE	12.05	12.07	12.43	14.06	13.75	13.27	10.6	11.77	85.94
XLE	12.09	12.15	12.44	13.85	13.96	13.09	10.61	11.8	86.04
XOP	12.28	12.04	12.46	13.36	13.12	14.16	10.72	11.86	85.84
GPRA	12.09	12.05	12.23	11.8	11.64	11.81	15.23	13.14	84.77
GPRT	12.09	12.03	12.43	11.83	11.57	11.93	11.57	16.54	83.46
Transmissores	87.14	86.48	89.24	87.38	86.09	86.29	75.91	83.87	682.4
Incl. Próprio	101.59	101.02	103.89	101.44	100.05	100.45	91.14	100.41	ICT=85.30
NET	1.59	1.02	3.89	1.44	0.05	0.45	-8.86	0.41	

Em situações associadas aos quantis mais elevados, que representam fases de mercado mais voláteis, os investidores reagem de forma mais intensa às condições do mercado. O comportamento irracional dos investidores e os efeitos do comportamento mimético também são mais fortes do que em fases de mercado estáveis, agravando os episódios de spillover entre os segmentos de mercado. Por outro lado, ocorrem mudanças no processo de transmissão de informação, particularmente no que diz respeito aos recetores e transmissores líquidos de spillover. Devido às diferenças nas características do mercado, por exemplo, os investidores têm expectativas diferentes sobre os movimentos futuros a diferentes níveis de volatilidade. Podem retirar fundos de um segmento e transferi-los para outro, resultando numa alteração na direção da transmissão dos choques. No quantil extremamente baixo, todos os ETFs tornam-se

contribuintes líquidos para o sistema, especialmente porque há um aumento significativo nos efeitos de spillover. Em comparação com os resultados sob condições medianas, no extremo superior, os efeitos de spillover de todas as séries de ETFs aumentam significativamente, com o GPRT também a assumir o papel de transmissor líquido.

Para aprofundar, de forma mais intuitiva, os spillovers gerados os diferentes ETFs e os índices de GPR, construímos uma rede de conectividade para os diversos quantis. A Figura 2 mostra a rede de transmissão de spillover de volatilidade durante todo o período da amostra.



Nota: Esta figura mostra a ligação entre os ETFs e os índices GPR, para a mediana condicional (a), o quantil inferior extremo (b) e o quantil superior extremo (c). A direção da seta na análise de ligação da rede indica a direção do spillover de risco, e a espessura da seta indica a intensidade do spillover de risco. O tamanho de cada nó representa a intensidade da ligação direcional líquida. Os nós amarelos ilustram os receptores líquidos, enquanto os nós azuis ilustram os emissores líquidos.

Figura 2 - Redes de spillover em diferentes quantis

Como mostrado na Figura 2, a correlação é mais forte durante as fases de volatilidade extrema, especialmente em situações de volatilidade extremamente alta, o que indica que o mercado é caracterizado por volatilidade intensa. Sob os três cenários considerados, os segmentos de energia e os índices de risco geopolítico geram entre si processos fortes de transmissão de spillover.

As características dos nós nos diagramas de rede nas Figuras 2(b) e (c) também mostram que, nos quantis superiores e inferiores, os efeitos de spillover são mais fortes em comparação com o nível da mediana (Fig. 2(a)), refletindo uma conectividade mais forte entre as variáveis estudadas, o que é consistente com os resultados mostrados nas Tabelas 2-4 e com as descobertas de outras investigações, designadamente as de Bouri et al. (2020), Zhang et al. (2020) e Lin e Su (2021). Relativamente ao quantil superior, é importante destacar que o índice GPRT assume um papel central, tornando-se um contribuinte líquido para o sistema (Fig. 2(c)). Em situações extremas de mercado, os ETFs de energia limpa parecem ser menos sensíveis e vulneráveis a choques de informação e à influência dos seus homólogos de energia carbónica,

demonstrando uma certa resiliência face a condições turbulentas, o que implica mudanças substanciais no processo de transmissão de informação gerada entre as variáveis dentro do sistema.

4.3. Análise da Conectividade Dinâmica

A análise estática apresentada anteriormente forneceu uma visão geral da contribuição média das variáveis durante o período estudado, mas não foi capaz de acompanhar a evolução temporal do processo de transmissão de informação nem de captar os impactos voláteis de eventos que desencadeiam turbulências políticas e financeiras, tal como sugerido por Cui et al. (2021) e Gabriel et al. (2024). A ocorrência destes eventos pode alterar a intensidade e a direção dos efeitos de spillover nos segmentos energéticos. Seguindo as sugestões de Bouri et al. (2021) e Saeed et al. (2021), considerámos o método da janela móvel para analisar as características das oscilações e os spillovers gerados entre os dois segmentos energéticos e os índices de risco geopolítico ao longo do tempo. Para aprofundar a compreensão da intensidade das relações entre as variáveis estudadas em condições extremas, estimámos os spillovers variáveis no tempo para diferentes quantis ($q = 0,5$; $q = 0,05$; $q = 0,95$), permitindo-nos avaliar a possível dependência nas caudas, considerando janelas móveis de 200 dias e horizontes de previsão de 10 dias, conforme sugerido por Khalfaoui et al. (2022) e Ando et al. (2022).

A Figura 3 oferece uma perspetiva dinâmica do sistema composto pelas oito variáveis estudadas. Tanto o índice de efeitos totais de spillover (parte superior esquerda da Figura 3) como os índices de efeitos líquidos de spillover para diferentes quantis (parte superior direita e inferior da Figura 3) demonstram uma notável sensibilidade a eventos geradores de turbulência política e financeira. Como resultado, ambos os índices exibem uma variabilidade significativa ao longo do período amostral, em linha com os resultados de outros investigadores, como Balcilar et al. (2018), Hoque et al. (2019), Smales (2021), Yahya et al. (2021), Zhou et al. (2021), Sohag et al. (2022), Shahzad et al. (2023) e Gabriel et al. (2024), entre outros. Esta variação reflete a complexidade dinâmica dos efeitos de spillover entre os segmentos energéticos e o risco geopolítico, sublinhando a necessidade de considerar a volatilidade e as condições turbulentas ao se analisar a interconexão entre estas variáveis ao longo do tempo.

Os efeitos de spillover para o valor mediano mostram uma elevada variabilidade ao longo do tempo, com os spillovers dinâmicos globais a variar entre 45% e 71%. Além disso, de acordo com a tendência dos efeitos totais de spillover, a interconexão entre os segmentos energéticos e os índices de risco geopolítico é significativamente afetada pela ocorrência de turbulências. Durante episódios de turbulência, os efeitos de spillover entre as variáveis aumentam

significativamente. Este foi o caso, por exemplo, durante a crise das dívidas soberanas de 2011, os ataques terroristas em Paris em 2015 e o surgimento da pandemia de COVID-19 em 2020.

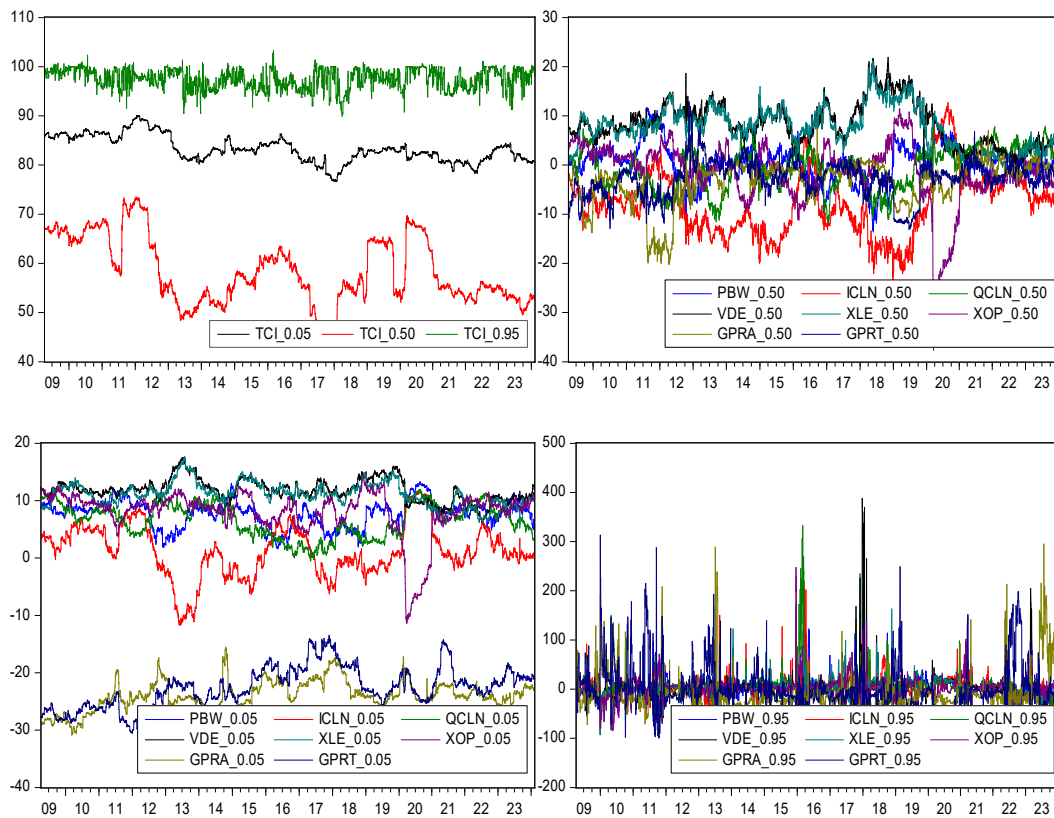


Figura 3 - Conectividade dinâmica em diferentes quantis

Para aprofundar o estudo da dinâmica gerada entre as variáveis, é importante observar as características temporais dos spillovers sob condições extremas de mercado. Neste sentido, analisamos a intensidade da interconexão de mercado nos quantis extremos, tanto superiores como inferiores, estimando os efeitos de spillover no 95.º percentil ($q = 0,95$) e no 5.º percentil ($q = 0,05$). A Figura 3 (superior esquerda) mostra a tendência dos spillovers ao longo do tempo nos dois quantis extremos e na mediana, revelando que a interconexão temporal entre as oito variáveis é muito mais intensa nas caudas esquerda e direita do que sob condições medianas. No entanto, o intervalo de flutuação do índice de spillover nos quantis inferiores extremos (77-90%) e superiores extremos (90-100%) é relativamente mais estreito em comparação com a suposição de mediana. As estimativas também mostram que a sensibilidade das variáveis aumenta significativamente em resposta a choques positivos e negativos extremos. Embora as amplitudes das flutuações nas estimativas de spillovers extremos positivos e negativos sejam relativamente pequenas, elas são suscetíveis a eventos súbitos, como a já referida crise das dívidas soberanas europeias, os ataques terroristas, o surto da pandemia de COVID-19, assim

como a guerra na Ucrânia em 2022 e o conflito na Palestina em 2023, uma vez que os spillovers entre as variáveis aumentam significativamente durante estes eventos. Por outro lado, em linha com as conclusões de Bouri et al. (2020) e Saeed et al. (2021), ao analisar a dependência dinâmica das caudas das variáveis estudadas, as estimativas mostram que, ao longo de todo o período da amostra, a cauda direita é mais dependente do que a cauda esquerda, sendo o índice de conectividade no quantil superior mais intenso do que no quantil inferior, indicando que a correlação no quantil superior é mais forte do que no quantil oposto.

Para uma análise mais aprofundada da interconectividade direcional entre as variáveis estudadas, a Figura 3 (partes superior direita e inferior) apresenta os índices líquidos de spillover. Esta representação visual permite-nos acompanhar a evolução dinâmica da transmissão e receção de choques gerados pelo sistema.

Relativamente aos segmentos energéticos, é importante destacar que, sob a suposição de mediana, o sistema é dominado pelo segmento de carbono, sendo um contributo líquido durante a esmagadora maioria do período amostral. Tanto nos cenários inferior extremo como superior extremo, os dois segmentos energéticos tendem a reportar respostas muito semelhantes. Quando focamos a nossa análise nos índices GPR, é essencial destacar duas situações distintas. Em primeiro lugar, quando consideramos os cenários mediano e inferior extremo, ambos os índices atuam como recetores líquidos dos ETFs de energia, em grande parte das sessões diárias, sugerindo que os índices geopolíticos desempenham um papel menos relevante no processo de transmissão líquida dos efeitos de spillover, especialmente durante períodos caracterizados por menor volatilidade. Em contraste, a segunda situação refere-se ao cenário superior extremo, em que os índices de risco geopolítico ganham proeminência, tornando-se contribuintes líquidos para o sistema durante fases de elevada turbulência. O GPRA torna-se particularmente notável quando os conflitos militares se intensificam. Por sua vez, o GPRT parece funcionar como uma espécie de antecipador de situações que agravam eventos geradores de risco geopolítico. Isto foi evidente durante as fases iniciais da crise de COVID-19 e os eventos de guerra na Ucrânia e Palestina. Estes resultados estão em linha com os obtidos em outros estudos envolvendo ativos convencionais, como os de Hoque e Zaidi (2020), Zhou et al. (2020), Cai e Wu (2021) e Smales (2021), assim como se revelaram consistentes com os resultados de Sohag et al. (2022), cujo foco se concentrou em ativos ambientais.

A sensibilidade dos ETFs de energia a eventos que geram turbulência política, económica e financeira leva a uma intensificação do processo de transmissão de informação, como observado nos eventos mencionados anteriormente, com o GPRA a tornar-se particularmente significativo durante a escalada de conflitos militares. Por sua vez, o GPRT parece funcionar

como uma espécie de antecipador de situações que exacerbam eventos geradores de risco geopolítico, expondo os investimentos em energia a situações de risco sistémico, com os eventos adversos a demonstrarem capacidade para impactar significativamente e de forma ampla os mercados. O comportamento dos segmentos energéticos estudados parece assemelhar-se ao observado em outros ativos financeiros, cujo desempenho e comportamento são influenciados pelo risco geopolítico, como concluído por vários estudos anteriores, incluindo os de Apergis et al. (2018), Caldara e Iacoviello (2018), Balcilar et al. (2018), Bouri et al. (2019), Hoque et al. (2019) e Smales (2021), entre outros. Esta situação sugere que os ativos energéticos não são imunes a influências externas. Tal como outros ativos financeiros, os ativos energéticos também são influenciados pela dinâmica de interação com fatores geopolíticos e económicos.

As estimativas obtidas neste estudo ampliam a compreensão da disseminação de choques extremos no mercado de energia. À luz de eventos extremos, como os conflitos militares em curso, os decisores e os participantes no mercado energético devem, pois, estar atentos às alterações nos efeitos dinâmicos de spillover.

As conclusões destacadas na literatura, que indicam proximidade e interconectividade entre ativos financeiros, especialmente em períodos de elevada turbulência, são suportadas pelos resultados deste estudo. O comportamento dos setores energéticos segue padrões semelhantes aos observados em outros ativos financeiros. Perante eventos globais significativos, como a crise de COVID-19 e os conflitos bélicos recentes, os ativos energéticos tendem a convergir nas suas respostas, refletindo trajetórias semelhantes. A magnitude destes eventos globais terá provavelmente contribuído para alterar as perceções dos investidores sobre o risco, levando-os a adotar posições mais defensivas e a desinvestir em ativos considerados mais arriscados. Em fases de turbulência generalizada nos mercados financeiros, como as observados durante a invasão da Ucrânia, os índices de risco geopolítico demonstraram poder explicativo sobre a volatilidade dos ativos de energia, atuando como transmissores líquidos de spillover para esses ativos. Perante os resultados obtidos, parece crucial considerar o risco geopolítico como uma variável relevante para os participantes do mercado, especialmente para os que estejam interessados no mercado de energia.

5. Verificação de Robustez

Para garantir a robustez das estimativas obtidas a partir do modelo cDCC-GARCH, foram considerados dois procedimentos. Em primeiro lugar, este modelo foi estimado recorrendo a dados mensais, sem que as dinâmicas geradas entre as oito variáveis mostrassem alterações

assinaláveis. Em segundo lugar, a estimação deste modelo estatístico foi gerada para diversas especificações, mas as correlações dinâmicas não apresentaram alterações significativas. A ausência de sensibilidade das estimativas do modelo selecionado a estes procedimentos reforça a robustez dos resultados, assim como as conclusões geradas a partir deles.

Relativamente ao modelo QVAR, foram considerados diversos cenários de estimação. Começou-se por estimar o modelo VAR para diferentes níveis de defasamento, para se concluir que a dinâmica dos efeitos de contágio não sofreu alterações significativas. Posteriormente, foi efetuada uma análise de sensibilidade utilizando uma abordagem de quantis, considerando diferentes tamanhos de janelas móveis e horizontes de previsão.

Repetimos as análises empíricas de três formas distintas, para garantir que os resultados apresentados não são influenciados pelas especificidades do modelo estatístico e dos métodos utilizados. Em primeiro lugar, a literatura não é consensual quanto ao quantil a considerar para medir os spillovers extremos. Para evitar potenciais enviesamentos decorrentes da escolha do quantil, também analisámos os efeitos de spillover extremo entre os segmentos energéticos e os índices de risco geopolítico, focando-nos nos quantis 0,01 e 0,99. No entanto, tanto os resultados estáticos como as dinâmicas entre as variáveis não mostraram alterações significativas. Em segundo lugar, alterámos o comprimento das janelas móveis e o horizonte de previsão. Com janelas de 150 e 250 dias e horizontes de 5 e 15 dias, os spillovers dinâmicos entre as variáveis estudadas foram reavaliados, mas mantiveram-se insensíveis a essas mudanças. Finalmente, considerando os possíveis enviesamentos derivados da frequência dos dados, também quantificámos os efeitos de spillover recorrendo a dados mensais. Porém, não foram observadas alterações significativas, quer em termos estáticos, quer termos dinâmicos.

As análises de robustez produziram resultados consistentes com os das estimativas principais, sugerindo que as conclusões geradas a partir destas estimativas são robustas e relevantes, pelo que podem ser consideradas em estratégias de investimento e em processos de tomada de decisão.

6. Conclusões

Este estudo analisou a hipótese de um sistema interconectado entre dois segmentos energéticos, com foco em seis ETFs — três relacionados com energia limpa e três ligados a fontes tradicionais. Avaliámos duas dimensões do risco geopolítico: atos e ameaças. O objetivo foi melhorar a compreensão de como a informação flui entre estas variáveis e a sua suscetibilidade

ao processo de transmissão de risco, em diferentes condições de mercado. Para isso, utilizámos um conjunto de dados abrangente que cobre o período de 26 de junho de 2008 a 7 de fevereiro de 2024.

Embora inúmeros estudos tenham explorado o comportamento dos ativos energéticos, poucos compararam os combustíveis fósseis com os segmentos de energia limpa. Com o intuito de contribuir para a literatura sobre investimento em energia, este estudo investigou o impacto de duas dimensões do risco geopolítico em ambos os segmentos, considerando diferentes contextos de mercado, incluindo os decorrentes da pandemia, da guerra na Ucrânia e do conflito na Palestina.

Para alcançar os nossos objetivos de pesquisa, recorreremos a dados de frequência diária e a dois modelos dinâmicos multivariados: o modelo cDCC-GARCH e a metodologia proposta por Ando et al. (2022), baseada na conectividade de quantis, para analisar como os segmentos energéticos respondem ao risco geopolítico em condições extremas de mercado, considerando tanto perspectivas estáticas como dinâmicas.

Relativamente ao primeiro modelo, este permitiu destacar a elevada variabilidade das correlações condicionais, mostrando também que as volatilidades dos segmentos de energia tendem a estar estreitamente alinhadas, especialmente em fases pautadas por turbulência de mercado. Este alinhamento restringiu as oportunidades de diversificação. No que respeita ao segundo modelo, sob a perspetiva estática, descobrimos que cada um dos segmentos energéticos é mais afetado por choques dos seus pares do que por fatores individuais específicos. Por outro lado, a perspetiva dinâmica revelou que, embora os segmentos energéticos sejam influenciados pelos riscos geopolíticos, o nível de influência é condicionado pelas condições de mercado. Durante períodos relacionados com a pandemia e as guerras na Ucrânia e na Palestina, observámos um aumento significativo nos efeitos de spillover sobre os segmentos energéticos, com os índices de risco geopolítico a demonstrarem capacidade para influenciar o comportamento dos ativos energéticos, especialmente em situações de elevada volatilidade.

Os resultados deste estudo são significativos para reguladores, investidores e gestores de portfólios, uma vez que a ligação entre os segmentos energéticos é fortalecida pelo risco geopolítico, especialmente em cenários extremos. As nossas estimativas de interconexão em vários quantis sublinham a importância destes protagonistas de mercado compreenderem os processos de transmissão de risco nas caudas. No que respeita aos reguladores de mercado, estes devem procurar compreender a direção e a magnitude dos impactos de risco extremo nos

mercados de energia limpa e de carbono, podendo implementar ferramentas políticas para melhorar a coordenação das políticas relacionadas e realizar uma supervisão direcionada com base nas condições de mercado. Esta abordagem proativa poderia mitigar a probabilidade de riscos extremos, que são particularmente preocupantes para os reguladores de mercado. Além disso, é essencial desenvolver políticas que previnam a propagação de riscos entre mercados, para manter a estabilidade financeira.

Os investidores e gestores de portfólios devem continuar a monitorizar os efeitos de spillover dos riscos geopolíticos extremos nos mercados de energia fóssil e limpa, uma vez que esses efeitos influenciam a cobertura de investimentos e a diversificação. Ao fazê-lo, estes protagonistas de mercado poderão refinar as suas decisões de negociação e avaliação de risco, com base nas condições dinâmicas do mercado, especialmente perante eventos extremos. Reconhecer a ocorrência de situações de spillover entre segmentos de mercado permite aos investidores melhorar os seus portfólios e refinar estratégias de investimento, em resposta a quedas acentuadas. Além disso, os traders e gestores de portfólio devem considerar a natureza variável dos efeitos de spillover ao longo do tempo, ao ajustarem as suas posições em diferentes condições de mercado, uma vez que os resultados do presente estudo sublinham os riscos de limitar os investimentos exclusivamente a ativos do setor energético. Isto é particularmente crítico durante períodos turbulentos, tornando altamente aconselhável a diversificação envolvendo outras classes de ativos e o recurso a instrumentos de proteção.

Em futuras pesquisas, o candidato pretende explorar mais aprofundadamente o impacto do risco geopolítico em ativos energéticos e em outras classes de ativos. Uma abordagem potencial poderá envolver a incorporação de informações mais detalhadas que considerem os aspetos nacionais do risco político. Isso permitiria uma análise mais direcionada dos efeitos geopolíticos sobre os segmentos energéticos, levando em conta as circunstâncias únicas de cada país. Além disso, uma investigação mais aprofundada acerca dos efeitos geopolíticos a longo prazo seria valiosa, com vista a analisar tendências históricas e projeções futuras do panorama geopolítico global e como essas dinâmicas influenciam os mercados de energia ao longo do tempo.

7. Referências

- Acheampong, A., Boateng, E., Amponsah, M., Dzator, J. (2021). Revisiting the economic growth–energy consumption nexus: does globalization matter? *Energy Economics*, 102, 105472.
- Adekoya, O., Oliyide, J. (2021). How COVID-19 drives connectedness among commodity and financial markets: Evidence from TVP-VAR and causality-inquantiles techniques. *Resources Policy*, 70, 101898.

- Aielli, G. (2013). Dynamic conditional correlation: On properties and estimation. *Journal of Business and Economic Statistics*, 31, 282–99.
- Amenc, N., Goltz, F., Le Sourd, V. (2017). The EDHEC European ETF and smart beta survey, EDHEC-Risk Institute.
- Ando, T., Greenwood-Nimmo, M., Shin, Y. (2022). Quantile connectedness: Modeling tail behavior in the topology of financial networks. *Management Science*, 68(4), 2401–2431.
- Ang, A., Bekaert, G. (2002). International asset allocation with regime shifts. *Review of Financial Studies*, 15 (4), 1137–1187.
- Antonakakis, N., Chatziantoniou, I., Filis, G. (2013). Dynamic co-movements of stock market returns, implied volatility and policy uncertainty. *Economic Letters*, 120 (1), 87–92.
- Antoniewicz, R., Heinrichs, J. (2014). Understanding exchange-traded funds: How ETFs work. In: ICI Research Perspective, 20, 11–13.
- Apergis, N., Bonato, M., Gupta, R., Kyei, C. (2018). Does geopolitical risks predict stock returns and volatility of leading defense companies? Evidence from a nonparametric approach. *Defense and Peace Economics*, 29 (6), 684–696.
- Arin, K., Ciferri, D., Spagnolo, N. (2008). The price of terror: the effects of terrorism on stock market returns and volatility. *Economic Letters*, 101 (3), 164–167.
- Aslam, F., Kang, H. (2015). How different terrorist attacks affect stock markets. *Defense and Peace Economics*, 26 (6), 634–648.
- Balcilar, M., Bonato, M., Demirer, R., Gupta, R., (2018). Geopolitical risks and stock market dynamics of the BRICS. *Economic Systems*, 42 (2), 295–306.
- Balcilar, M., Ozdemir, Z., Ozdemir, H., Wohar, M. (2020). Transmission of US and EU economic policy uncertainty shock to Asian economies in bad and good times. In: IZA Discussion Papers 13274, 1–44.
- Baruník, J., Křehlík, T. (2018). Measuring the frequency dynamics of financial connectedness and systemic risk. *Journal of Financial Econometrics*, 16 (2), 271–296.
- Batten J., Maddox, G., Young, M. (2021). Does weather, or energy prices, affect carbon prices? *Energy Economics*, 96, 105016.
- Betz, F., Hautsch, N., Peltonen, T. (2016). Systemic risk spillovers in the European banking and sovereign network. *Journal of Financial Stability*, 25, 206–224.
- Billah, M., Karim, S., Naeem, M., Vigne, S. (2022). Return and volatility spillovers between energy and BRIC markets: evidence from quantile connectedness. *Research in International Business and Finance*, 62, 101680.
- Bondia, R., Ghosh, S., Kanjilal, K. (2016). International crude oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies: evidence from non-linear cointegration tests with unknown structural breaks. *Energy*, 101, 558–565.
- Bouoiyour, J., Selmi, R., Hammoudeh, S., Wohar, M. (2019). What are the categories of geopolitical risks that could drive oil prices higher? Acts or threats? *Energy Economics*, 84, 104523.
- Bouri, E., Demirer, R., Gupta, R., Marfatia, H. (2019). Geopolitical risks and movements in Islamic bond and equity markets: a note. *Defense and Peace Economics*, 30 (3), 367–379.
- Bouri, E., Lucey, B., Saeed, T., Vo, X. (2020). Extreme spillovers across Asian-Pacific currencies: a quantile-based analysis. *International Review of Financial Analysis*, 72, 101605.
- Bouri, E., Saeed, T., Vo, X., Roubaud, D. (2021). Quantile connectedness in the cryptocurrency market. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 71, 101302.
- Cai, Y., Wu, Y. (2021). Time-varying interactions between geopolitical risks and renewable energy consumption. *International Review of Economics and Finance*, 74, 116–137.
- Caldara, D., Iacoviello, M. (2018). Measuring Geopolitical Risk, vol. 1222, FRB International Finance, Washington, DC, USA, Discussion Paper.

- Chatziantoniou, I., Gabauer, D., Gupta, R. (2023). Integration and risk transmission in the market for crude oil: New evidence from a time-varying parameter frequency connectedness approach. *Resources Policy*, 84, 103729.
- Chen, J., Liang, Z., Ding, Q., Liu, Z. (2022). Extreme spillovers among fossil energy, clean energy, and metals markets: evidence from a quantile-based analysis. *Energy Economics*, 107, 105880.
- Cheng, C., Chiu, C., (2018). How important are global geopolitical risks to emerging countries? *International Economics*, 156, 305–325.
- Ciner, C., Gurdgiev, C., Lucey, B. (2013). Hedges and safe havens: an examination of stocks, bonds, gold, oil and exchange rates. *International Review of Financial Analysis*, 29, 202-211.
- Cui, J., Goh, M., Zou, H. (2021). Coherence, extreme risk spillovers, and dynamic linkages between oil and China's commodity futures markets. *Energy*, 225, 1–27.
- Cunado, J. Gupta, R., Lau, C., Sheng, X. (2019). Time-varying Impact of Geopolitical Risks on Oil Prices. *Defence and Peace Economics*, 31(6), 692-706.
- Das, D., Kannadhasan, M., Bhattacharyya, M., (2019). Do the emerging stock markets react to international economic policy uncertainty, geopolitical risk and financial stress alike? *North American Journal of Economics and Finance*, 48, 1–19.
- Demirer, R., Gupta, R., Suleman, T., Wohar, M. (2018). Time-varying rare disaster risks, oil returns and volatility. *Energy Economics*, 75, 239e248.
- Dickey, D., Fuller, A. (1981). Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with Unit Root. *Econometrica*, 49, 1057-1072.
- Diebold, F., Yilmaz, K. (2009). Measuring financial asset return and volatility spillovers, with application to global equity markets. *Economic Journal*, 119 (534), 158–171.
- Diebold, F., Yilmaz, K. (2012). Better to give than to receive: Predictive directional measurement of volatility spillovers. *International Journal of Forecasting*, 28, 1, 57-66.
- Diebold, F., Yilmaz, K. (2014). On the network topology of variance decompositions: measuring the connectedness of financial firms. *Journal of Econometrics*, 182 (1), 119–134.
- Dogan, E., Majeed, M., Luni, T. (2021). Analyzing the impacts of geopolitical risk and economic uncertainty on natural resources rents. *Resources Policy*, 72, 102056.
- Dogan, E., Seker, F. (2016). Determinants of CO2 emissions in the European Union: the role of renewable and non-renewable energy. *Renewable Energy*, 94, 429–439.
- Elie, B., Naji, J., Dutta, A., Uddin, G. (2019). Gold and crude oil as safe-haven assets for clean energy stock indices: blended copulas approach. *Energy*, 178, 544–553.
- Elsayed, A., Helmi, M. (2021). Volatility transmission and spillover dynamics across financial markets: the role of geopolitical risk. *Annals of Operations Research*, 305 (1), 1–22.
- Elsayed, A., Yarovaya, L. (2019). Financial stress dynamics in the MENA region: evidence from the Arab spring. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 62, 20–34.
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate GARCH models. *Journal of Business and Economic Statistics*, 20, 339-350.
- Ferrer, R., Shahzad, S., López, R., Jareño, F. (2018). Time and frequency dynamics of connectedness between renewable energy stocks and crude oil prices. *Energy Economics*, 76, 1–20.
- Gabriel, V., Almeida, D., Dionisio, A., Ferreira, P. (2024). From wars to waves: geopolitical risks and environmental investment behaviour. *Post-Communist Economies*, 1–28.
- Gong, X., Feng, Y., Liu, J., Xiong, X. (2023). Study on international energy market and geopolitical risk contagion based on complex network. *Resources Policy*, 82, 103495.
- Gu, Y., Ho, K., Yan, C., Gozgor, G., (2021). Public environmental concern, CEO turnover, and green investment: evidence from a quasi-natural experiment in China. *Energy Economics*, 100, 105379.

- Guidolin, M., La Ferrara, E. (2010). The economic effects of violent conflict: evidence from asset market reactions. *Journal of Peace Research*, 47, 671–684.
- Herrera, A., Karaki, M., Rangaraju, S. (2019). Oil price shocks and US economic activity. *Energy Policy*, 129, 89–99.
- Hoque, M., Wah, L., Zaidi, M., (2019). Oil price shocks, global economic policy uncertainty, geopolitical risk, and stock price in Malaysia: factor augmented VAR approach. *Economic Research-Ekonomika Istraživanja*, 32 (1), 3701–3733.
- Hoque, M., Zaidi, M. (2020). Global and country-specific geopolitical risk uncertainty and stock return of fragile emerging economies. *Borsa Istanbul Review*, 20 (3), 197–213.
- Janda, K., Kristoufek, L., Zhang, B. (2022). Return and volatility spillovers between Chinese and US clean energy related stocks. *Energy Economics*, 108, 105911.
- Jiang, W., Yunfei, C. (2024). Impact of Russia-Ukraine conflict on the time-frequency and quantile connectedness between energy, metal and agricultural markets. *Resources Policy*, 88, 104376.
- Karkowska, R., Urjasz, S. (2023). How does the Russian-Ukrainian war change connectedness and hedging opportunities? Comparison between dirty and clean energy markets versus global stock indices. *Journal of International Financial Markets Institutions and Money*, 85, 101768.
- Khalifaoui, R., Stef, N., Wissal, B., Sami, B. (2022). Dynamic spillover effects and connectedness among climate change, technological innovation, and uncertainty: evidence from a quantile VAR network and wavelet coherence. *Technological Forecasting and Social Change*, 181, 121743.
- Kocaarslan, B., Soytaş, U. (2019). Dynamic correlations between oil prices and the stock prices of clean energy and technology firms: the role of reserve currency (US dollar). *Energy Economics*, 84, 104502.
- Kollias, C., Kyrtsov, C., Papadamou, S. (2013). The effects of terrorism and war on the oil price-stock index relationship. *Energy Economics*, 40 (6), 743–752.
- Kyritsis, E., Serletis, A. (2019). Oil prices and the renewable energy sector. *The Energy Journal*, 40, 337-363.
- Lee, C., Chen, M., (2020). Do natural disasters and geopolitical risks matter for crossborder country exchange-traded fund returns? *North American Journal of Economics and Finance*, 51, 101054.
- Lin, B., Su, T. (2021). Does COVID-19 open a Pandora’s box of changing the connectedness in energy commodities? *Research in International Business and Finance*, 56, 1–16.
- Liu, X., Pan, F., Yuan, L., Chen, Y. (2019). The dependence structure between crude oil futures prices and Chinese agricultural commodity futures prices: measurement based on Markov-switching GRG copula. *Energy*, 182, 999–1012.
- Lo, A., MacKinlay, A. (1990). An econometric analysis of nonsynchronous trading. *Journal of Econometrics*, 45, 1-2, 181-211.
- Maghyereh, A., Awartani, B., Abdoh, H. (2019). The co-movement between oil and clean energy stocks: a wavelet-based analysis of horizon associations. *Energy*, 169, 895–913.
- Managi, S., Okimoto, T. (2013). Does the price of oil interact with clean energy prices in the stock market? *Japan and the World Economy*, 27 (3), 1–9.
- Marques, A., Fuinhas, J., Pereira, D. (2018). Have fossil fuels been substituted by renewables? An empirical assessment for 10 European countries. *Energy Policy*, 116, 257-265.
- Mensi, W., Shafiullah, M., Vo, X., Kang, S. (2022). Spillovers and connectedness between green bond and stock markets in bearish and bullish market scenarios. *Financial Research Letters*, 49, 103120.
- Mohammed, K., Mellit, A. (2023). The relationship between oil prices and the indices of renewable energy and technology companies based on QQR and GCQ techniques. *Renewable Energy*, 209, 97–105.
- Naeem, M., Peng, Z., Suleman, M., Nepal, R., Shahzad, S. (2020). Time and frequency connectedness among oil shocks, electricity and clean energy markets. *Energy Economics*, 91, 104914.

- Omar, A., Wisniewski, T., Nolte, S. (2017). Diversifying away the risk of war and crossborder political crisis. *Energy Economics*, 64, 494–510.
- Reboredo, J., Rivera-Castro, M., Ugolini, A. (2017). Wavelet-based test of comovement and causality between oil and renewable energy stock prices. *Energy Economics*, 61, 241–252.
- Sadorsky, P. (2012). Correlations and volatility spillovers between oil prices and the stock prices of clean energy and technology companies. *Energy Economics*, 34, 248–55.
- Saeed, T., Bouri, E., Alsulami, H. (2021). Extreme return connectedness and its determinants between clean/green and dirty energy investments. *Energy Economics*, 96, 105017.
- Shahzad, U., Mohammed, K., Tiwari, S., Nakonieczny, J., Nesterowicz, R. (2023). Connectedness between geopolitical risk, financial instability indices and precious metals markets: novel findings from Russia Ukraine conflict perspective. *Resources Policy*, 80, 103190.
- Shahzad, J., Bouri, E., Kristoufek, L. (2021). Impact of the COVID-19 outbreak on the US equity sectors: evidence from quantile return spillovers. *Financial Innovation*, 7, 1–23.
- Smales, L. (2021). Geopolitical risk and volatility spillovers in oil and stock markets. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 80, 358–366.
- Sohag, K., Hammoudeh, S., Elsayed, A., Mariev, O., Safonova, Y. (2022). Do geopolitical events transmit opportunity or threat to green markets? Decomposed measures of geopolitical risks. *Energy Economics*, 111(19).
- Su, X. (2020). Measuring extreme risk spillovers across international stock markets: a quantile variance decomposition analysis. *North American Journal of Economics and Finance*, 51, 1–14.
- Sweidan, O. (2021). The geopolitical risk effect on the US renewable energy deployment. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126189.
- Umar, Z., Kenourgios, D., Papathanasiou, S. (2020). The static and dynamic connectedness of environmental, social, and governance investments: International evidence. *Economic Modelling*, 93, 112–124.
- Umar, Z., Polat, O., Choi, S., Teplova, T. (2022). The impact of the Russia-Ukraine conflict on the connectedness of financial markets. *Finance Research Letters*, 48, 102976.
- Virbickaitė, A., Ausín, M., Galeano, P. (2020). Copula stochastic volatility in oil returns: approximate Bayesian computation with volatility prediction. *Energy Economics*, 92, 104961.
- Wang, L. (2022). Research on the dynamic relationship between China's renewable energy consumption and carbon emissions based on ARDL model. *Resources Policy*, 77, 102764.
- Wen, F., Cao, J., Liu, Z., Wang, X. (2021). Dynamic volatility spillovers and investment strategies between the Chinese stock market and commodity markets. *International Review of Financial Analysis*, 76, 101772.
- Wen, F., Zhao, L., He, S., Yang, G. (2020). Asymmetric relationship between carbon emission trading market and stock market: evidences from China. *Energy Economics*, 91, 104850.
- Yahya, M., Kanjilal, K., Dutta, A., Uddin, G., Ghosh, S. (2021). Can clean energy stock price rule oil price? New evidences from a regime-switching model at first and second moments. *Energy Economics*, 95, 105116.
- Yang, K., Wei, Y., Li, S., He, J. (2021). Geopolitical risk and renewable energy stock markets: An insight from multiscale dynamic risk spillover. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123429.
- Yousaf, I. Ali, S. (2020). The COVID-19 outbreak and high frequency information transmission between major cryptocurrencies: Evidence from the VAR-DCC-GARCH approach. *Borsa Istanbul Review*, 20 (1), 1–10.
- Zhang, W., Zhuang, X., Lu, Y., Wang, J. (2020). Spatial linkage of volatility spillovers and its explanation across G20 stock markets: a network framework. *International Review of Financial Analysis*, 71, 1–13.
- Zhou, L., Gozgor, G., Huang, M., Lau, M., (2020). The impact of geopolitical risks on financial development: evidence from emerging markets. *Journal of Competitiveness*, 12 (1), 93–102.

Zhou, W., Gu, Q., Chen, J. (2021). From volatility spillover to risk spread: an empirical study focuses on renewable energy markets. *Renewable Energy*, 180, 329–342.