

Determinantes do preço das emissões de carbono durante períodos de crise.

Determinants of the price of carbon emissions during periods of crisis.

Elisabete S. Vieira¹

Cristina M. Miranda²

Pedro Palavra³

Resumo

A transição energética com vista à descarbonização e a mudança para comportamentos mais sustentáveis é influenciada pelo valor financeiro atribuído às emissões de gases com efeito de estufa. As licenças de emissão de carbono são transacionadas em mercados financeiros, dependendo o seu preço da relação entre a procura e a oferta. A compreensão do valor atribuído a este instrumento financeiro permite que os intervenientes do mercado possam gerir a sua atividade e riscos de um modo mais consciente. Este estudo pretende identificar os determinantes do preço das emissões de carbono na União Europeia, analisando o período compreendido entre 2020 e 2023, que incorpora dois abalos significativos nos mercados financeiros e no mercado energético (a pandemia COVID-19 e a guerra entre a Rússia e a Ucrânia). A crise energética resultante destes acontecimentos nos diversos mercados provocou uma subida acentuada nos preços da energia com impacto significativo no gás natural, que é uma das principais matérias-primas na produção de energia elétrica europeia. O impacto significativo de ambos os eventos nos mercados energéticos e as mudanças de comportamentos oferecem espaço para que existam transformações na influência que algumas matérias-primas possuem sobre o preço das licenças de emissões de carbono.

Com recurso a diferentes modelos econométricos, os resultados mostram que os principais determinantes do preço das emissões de carbono são os preços do carvão, do gás natural, e o próprio preço do carbono.

Palavras-chave: instrumentos financeiros, energia, carbono, licenças de emissão da União Europeia, crises

Classificação do artigo: Artigo de investigação

¹ GOVCOPP - Unidade de Investigação, Instituto Superior de Contabilidade e Administração da Universidade de Aveiro (ISCA-UA), elisabete.vieira@ua.pt

² Unidade de Investigação CIDMA, ISCA-UA - Universidade de Aveiro, cristina.miranda@ua.pt

³ ISCA-UA, pedropalavra@ua.pt

Abstract

The financial value attributed to greenhouse gas emissions influences the energy transition towards decarbonization and the shift towards more sustainable behavior. Carbon emission allowances are traded on financial markets, and their price depends on demand and supply. Understanding the value attributed to this financial instrument allows market players to manage their activity and risks more consciously. This study aims to identify the determinants of the price of carbon emissions in the European Union, analyzing the period between 2020 and 2023, which incorporates two significant upheavals in the financial markets and the energy market (the COVID-19 pandemic and the war between Russia and Ukraine). The energy crisis resulting from these crises in the various markets has caused a sharp rise in energy prices, significantly impacting natural gas, one of the raw materials most used in European electricity production. The significant effect of both events on the energy markets and the changes in behavior offer scope for transformations in the influence of some raw materials on the price of carbon emission allowances.

Using different econometric models, the results show that the main determinants of the price of carbon emissions are the prices of coal and natural gas and the price of carbon itself.

Keywords: financial instruments, energy, carbon, European Union emission allowances, crises
Classification: Research paper

Received on: 2025.02.18

Approved on: 2025.03.18

Evaluated by a double blind review system

1. Introdução

A descarbonização é um dos principais desafios ambientais, sociais e económicos do século 21, em que o objetivo é alcançar um sistema em que as emissões líquidas de carbono seja zero. Este objetivo depende do investimento em tecnologias para que haja redução das emissões, bem como investimentos para a captura de carbono da atmosfera.

Diversas nações, incluindo os países da União Europeia (UE), têm como objetivo atingir a neutralidade carbónica em 2050, de acordo com o que foi estabelecido pelas Nações Unidas, sendo necessário atribuir um preço a estas emissões para que haja um incentivo económico no processo de descarbonização. Neste momento, já existe legislação na UE, como a Renewable Energy Directive (RED), que controla e incentiva este processo.

Depois de várias iniciativas, como o acordo de Kyoto, a convenção quadro das Nações Unidas sobre as alterações climáticas, e a aplicação das RED nas suas diferentes fases, passaram a ser aplicados os mecanismos de tributação do carbono e das suas emissões a cerca de 20 países da UE, incluindo Portugal, sendo a respetiva taxa denominada por taxa de carbono.

O preço das emissões de carbono poderá tornar-se um instrumento financeiro relevante para diversas indústrias devido à sua importância no processo de transformação energética. A definição de um limite nas emissões de gases com efeitos de estufa (GEE) e a atribuição de um preço às emissões permite que haja incentivos económicos à descarbonização. Segundo Chun et al. (2022), a atribuição de valor ao carbono viabiliza economicamente as fontes de energia renováveis e aumenta a rentabilidade das empresas de energia renovável. Contudo, Kumar et al. (2012) defendem que os preços baixos das licenças de emissões de carbono não são capazes de estimular tecnologias de transição energética, identificando os elevados preços de fontes de energia fóssil como um incentivo para a utilização de energia renovável. Batten et al. (2021) acrescentam que a substituição por fontes de energia menos poluentes reduz a procura de licenças de emissões de GEE e, consequentemente, o preço das mesmas.

Dada a escassez de investigação neste domínio, este estudo pretende analisar os determinantes do preço das emissões de carbono para o período compreendido entre o início de 2020 e junho de 2023, caracterizado por uma elevada volatilidade nos preços nos mercados energéticos.

Globalmente, os resultados mostram que houve alterações na carteira dos determinantes energéticos do preço do carbono, identificando os preços do carvão, do gás natural e os próprios preços do carbono como determinantes significativos do preço das licenças de emissões de carbono, excluindo a influência do petróleo e da eletricidade.

Este estudo encontra-se estruturado do seguinte modo. Na secção 2 apresenta-se a revisão da literatura. A secção 3 destina-se à amostra e metodologia. De seguida, apresentam-se os resultados, e a Secção 5 conclui o trabalho.

2. Revisão da literatura

A relação entre o preço do carbono e as diferentes fontes de energia levou ao desenvolvimento de diversos estudos nas últimas décadas, com o objetivo de identificar os principais determinantes do preço do carbono. Os mercados de carbono dependem da procura e oferta desenhada pelas políticas governamentais e ambientais, uma vez que são estas que definem os limites de emissões e impõem as obrigações legais às indústrias e às empresas.

Vários foram os estudos que analisaram este fenómeno no mercado europeu.

Alberola et al. (2008) analisaram o mercado de carbono europeu entre 2005 e 2007, concluindo que os preços da energia influenciam o preço do carbono. Destacam o efeito de substituição entre o carvão e o gás natural, acrescentando que o preço de equilíbrio do carbono é aquele que permite igualar o custo de produção de eletricidade através de gás natural e o custo de produção através de carvão. Alberola et al. (2009) analisaram a influência dos dados da produção industrial no preço do carbono, verificando que em apenas três dos nove setores analisados (combustão, ferro e papel) existe um impacto significativo no preço das licenças de emissões, possuindo estes 78% das licenças de emissões existentes. Segundo os autores, o impacto poderá divergir entre países, podendo, inclusive, ser positivo ou negativo, de acordo com o facto do setor de atividade ser excedentário ou deficitário de licenças de emissão de carbono.

Hammoudeh et al. (2014) analisaram o período compreendido entre 2006 e 2013, e concluíram que o impacto do carvão e do gás natural no preço das licenças de emissões de carbono pode relacionar-se com a revolução do gás de xisto, queda dos preços do gás, e com o encerramento das centrais a carvão. Os autores verificaram ainda que a influência do preço de petróleo e do gás natural são particularmente robustas. Batten et al. (2021) acrescentam que a utilização de gás natural ao invés de carvão reduz em mais de 50% as necessidades de licenças de emissões de carbono. Apesar de mencionarem uma relação inconstante entre o carvão e o gás natural, Batten et al. (2021) concluíram que existe evidência de influência do efeito de substituição entre carvão e gás natural durante alguns subperíodos, consistente com a conclusão de Alberola et al. (2008).

Numa perspetiva de previsão dos preços de carbono e numa análise de mercados do G6 entre 1978 e 2014, Nguyen et al. (2021) identificam uma relação significativa entre os preços de emissões de dióxido de carbono e diversas variáveis, como sejam o crescimento económico, investimento direto estrangeiro, desenvolvimento financeiro e o grau de abertura dos países do G6. As previsões de preço e dos consumos de petróleo também foram classificadas como significativas para a previsão dos preços do carbono.

Lovcha et al. (2022) focaram-se no período 2008-2018, encontrando evidência de mudanças nos influenciadores do preço do carbono ao longo do período analisado. Enquanto num período inicial, o gás natural e o crescimento económico foram os principais determinantes, o seu impacto diminuiu em 2016, passando os principais

determinantes a ser o petróleo e o carvão. Os autores referem que o forte crescimento económico origina preços dos combustíveis fósseis mais elevados e um aumento da procura de licenças de emissões, enquanto o efeito de substituição entre gás natural e carvão é novamente mencionado como efeito relevante para a evolução do preço das licenças de emissões. Os resultados permitiram destacar o preço do petróleo, gás natural e carvão como os principais determinantes para o preço do carbono. Além destes determinantes, Ozturk et al. (2022) identificou também a incerteza climática como um fator de influência nos preços das licenças de emissões.

Zhong et al. (2023) analisaram a relação entre a liquidez e a eficiência do mercado nos períodos de pandemia COVID-19 e da guerra entre a Rússia e a Ucrânia, encontrando evidência de que os abalos na liquidez têm uma relação positiva com a eficiência no mercado de carbono europeu a longo prazo, o que pode dever-se a oportunidades de arbitragem que surgem nos momentos de maior volatilidade dos mercados. Os resultados corroboram o argumento de que a liquidez é relevante para a eficiência dos mercados e para a capacidade de ajustamento dos preços do carbono (Ibikunle et al., 2016).

Ainda no contexto europeu, mas para os períodos 2005-2010 e 2008-2018, Bai e Okullo (2023) encontraram evidência do impacto da eletricidade, do carvão e do gás natural sobre o preço do carbono. A evidência de que o preço do carbono é positivamente influenciado pelo preço do gás natural e negativamente pelo preço do carvão, é coerente com a hipótese de substituição entre o carvão e o gás natural (Alberola et al., 2008; Batten et al., 2021; Lovcha et al., 2022).

Tendo por base alguns países da Europa, da Ásia e da América do Norte durante o período compreendido entre 2006 e 2019, Zhu et al. (2022) analisaram os determinantes do preço de carbono, tendo identificado doze determinantes, como o petróleo, o gás natural e a eletricidade, concluindo que o preço do petróleo é o que se apresenta como mais significativo. A relação positiva do petróleo com o carbono é justificada pelo facto da subida dos preços de petróleo aumentar o consumo de carvão através do efeito de substituição, aumentando a quantidade de emissões de GEE, que, por sua vez, estimula a procura de licenças de emissões.

Analisando o mercado chinês no período entre 2013 e 2019, Ji et al. (2021) encontraram uma relação negativa entre o preço do carbono e o preço do carvão, e uma relação positiva entre o preço do carbono e o consumo de gás natural e entre o preço do petróleo e as emissões de carbono. Lei et al. (2024) analisaram os mercados de carbono de Shenzhen, Hubei e Beijing (representativos do mercado chinês) entre 2014 e 2023, tendo concluído que a pandemia COVID-19 não afetou significativamente os determinantes do carbono, sendo o preço do carvão um dos principais determinantes dos preços de carbono.

Vários foram os autores que encontraram evidência de que os determinantes do preço do carbono mudam ao longo do tempo. Por exemplo, Tan e Wang (2017) analisaram as variações nos preços das licenças de emissões durante as três primeiras fases do regime de comércio de licenças de emissão da UE (2005-2016), tendo os resultados sugerido que

o petróleo influencia positivamente o preço das emissões de carbono e que as subidas dos preços de petróleo intensificam a influência do efeito de substituição sobre o preço do carbono, particularmente quando os preços das emissões de carbono são elevados. Também Tenke (2023) concluiu que o padrão dos determinantes não foi constante ao longo do tempo, encontrando evidência de que a influência do petróleo é mais estável do que outras fontes de energia fóssil, como sejam o carvão ou o gás natural. Os resultados mostram ainda que o petróleo tem um impacto negativo no preço do carbono. O autor concluiu que o preço do carbono é influenciado negativamente pelo seu próprio preço, sugerindo que existem correções do preço devido a reações exageradas dos intervenientes do mercado.

A literatura existente demonstra que os principais determinantes para o preço do carbono são o petróleo, o gás natural e o carvão.

O preço do petróleo é identificado como determinante por vários autores, nomeadamente por Hammoudeh et al. (2014), Tan e Wang (2017), Nguyen et al. (2021), Ji et al. (2021), Lovcha et al. (2022), Zhu et al. (2022) e Tenke (2023). O gás natural é identificado como determinante por Hammoudeh et al. (2014), Tan e Wang (2017), Batten et al. (2021), Ji et al. (2021), Lovcha et al. (2022) e Bai e Okullo (2023). O carvão é identificado como determinante por Tan e Wang (2017), Batten et al. (2021), Ji et al. (2021), Lovcha et al. (2022), Bai e Okullo (2023) e Lei et al. (2024). No entanto Hammoudeh et al. (2014) e Zhu et al. (2022) indicam que o carvão não possui influência sobre o preço do carbono.

3. Metodologia

3.1 Amostra

Este estudo pretende determinar os fatores influenciadores do preço do carbono, analisando o período compreendido entre 1 de janeiro de 2020 e 5 de junho de 2023, tendo este período sido abalado pela pandemia COVID-19 e pela guerra entre a Rússia e a Ucrânia, que levou a uma crise energética.

A presente análise foca-se nos preços diários das licenças de emissões de carbono na Europa devido à elevada dimensão do mercado europeu e à sua liquidez, que promove a eficiência deste mercado.

3.2 Variáveis

Este estudo analisa o impacto do preço das matérias-primas através dos preços diários do carbono. Acompanhando a literatura existente, as variáveis analisadas como possíveis determinantes do preço do carbono são os preços do petróleo, da eletricidade, do gás natural, e do carvão.

O preço do petróleo utilizado é o preço do Brent, visto que este é a referência do petróleo mais utilizada na Europa. O gás natural e o carvão são matérias-primas utilizadas para a produção de eletricidade, e o preço da eletricidade foi identificado como determinante do

preço das emissões de carbono, já que o preço das respetivas emissões faz parte dos custos de produção de eletricidade (Bai & Okullo, 2023).

Os preços das matérias-primas selecionados para a presente análise são preços de contratos futuros da Intercontinental Exchange (ICE) representativos do mercado europeu que são frequentemente utilizados pelos intervenientes destes mercados para as suas operações e para a respetiva gestão de risco. A maturidade dos contratos futuros foi selecionada em função da sua liquidez considerando que a maturidade com maior liquidez reflete mais eficientemente o preço justo de mercado e reduz desvios à análise provocados por picos de volatilidades por falta de liquidez.

No caso do petróleo, do gás natural e do carvão foram selecionados os contratos mensais mais próximos da data de maturidade sendo que estes geralmente possuem maior liquidez. A maior liquidez destes contratos deve-se proximidade temporal com o preço spot e com a necessidade de ajuste de posições antes do contrato expirar.

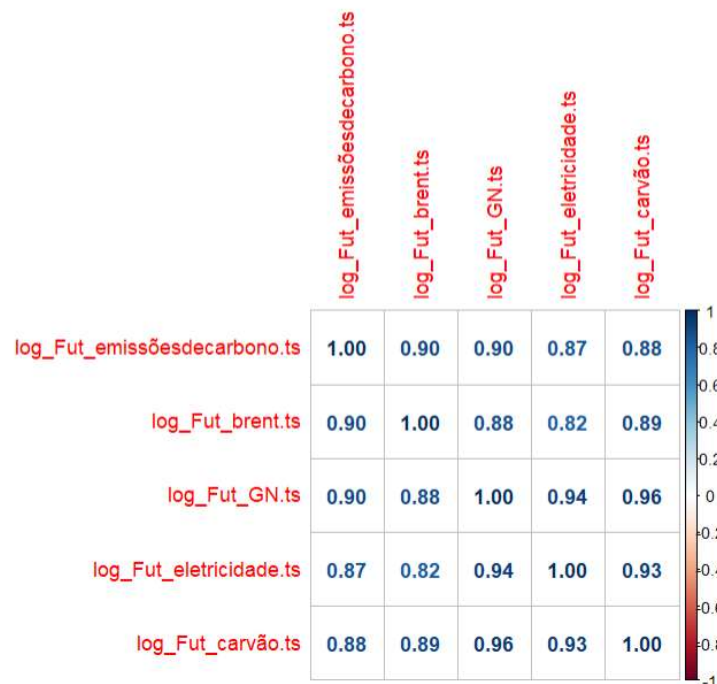
No caso dos futuros de emissões de carbono, foram escolhidos os futuros anuais porque estes possuem maior liquidez do que os contratos mensais. A maior liquidez deve-se ao facto de estes permitirem maior flexibilidade aos intervenientes para ajustar as suas posições no final do ano visto que as metas de redução de emissões de EGE são definidas para períodos anuais.

No caso dos futuros de eletricidade, os contratos diários possuem menor liquidez enquanto esta se concentra nos contratos mensais e anuais. A negociação de eletricidade é efetuada frequentemente através de *Power Purchase Agreements* conhecidos por PPAs que são contratos de longo prazo que viabilizam investimentos elevados em infraestruturas de produção de energia elétrica. Os intervenientes do mercado utilizam os contratos anuais para gerir a sua exposição a estes contratos favorecendo a sua liquidez. Na presente análise foram escolhidos os contratos de eletricidade anuais devido à sua liquidez e à superior consistência e significância, comparativamente com os futuros mensais identificada por Aatola et al. (2013).

Os dados originais dos preços foram transformados utilizando a função logarítmica para facilitar a análise da sua variação percentual ao longo do tempo. Essa transformação permite calcular as rendibilidades logarítmicas, que são adequadas para avaliar mudanças percentuais em séries temporais financeiras. Os dados originais também foram diferenciados permitindo obter a variação absoluta que ajuda a estabilizar a variabilidade dos dados, tornando as análises estatísticas mais robustas e proporcionando uma melhor interpretação das flutuações de preço.

A Tabela 1 apresenta os valores da correlação existente entre as rendibilidades logarítmicas das diferentes variáveis que são alvo de análise.

Tabela 1 - Correlações das rendibilidades logarítmicas das variáveis



A análise de correlação permite identificar a endogeneidade das variáveis, ou seja, se existe relação entre o futuro das emissões de carbono e as variáveis dependentes. Esta relação é notória na linha de futuros de emissões de carbono, indicando que existe endogeneidade. As correlações entre os preços das matérias-primas e do preço das emissões de carbono são positivas. O coeficiente de correlação de 0,90 entre o futuro de emissões de carbono e o futuro do Brent corrobora Zhu et al. (2022), que indica uma forte correlação positiva entre ambos. Apesar de se observar pares de variáveis com correlações elevadas, verifica-se que não existe colinearidade perfeita.

3.3. Metodologia

A presente análise foi desenvolvida com recurso aos modelos de vetores autorregressivos Vector Autoregressive Model (VAR) e Vector Error Correction Model (VECM), que utiliza por base o VAR aplicando a diferenciação das variáveis e adicionando um termo de correção de erro que também reflete a relação de longo-prazo.

3.3.1. Modelo VAR

O modelo VAR permite analisar a relação entre múltiplas variáveis ao longo do tempo e, consequentemente, a influência que possam ter no estudo de variáveis dependentes. A aplicação deste modelo estende-se à previsão de preços futuros com base em variáveis endógenas com desfasamentos temporais (lags). Consideramos ser um modelo adequado,

já que permite analisar o impacto da variação dos diferentes determinantes na variação deste modelo.

Com o modelo VAR, pretende-se determinar uma fórmula que permita compreender o possível impacto dos preços de diversos determinantes na variação do preço das emissões de carbono, além de verificar se estes determinantes possuem um grau de significância aceitável. A utilização deste modelo baseia-se na seguinte equação:

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{c} + \sum_{i=1}^p \boldsymbol{\phi}_i \mathbf{y}_{t-i} + \boldsymbol{\varepsilon}_t \quad (1)$$

Em que $\mathbf{y}_t$ é um vetor ($n \times 1$) de variáveis endógenas, $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_n)$ é vector ($n \times 1$) de interceção do modelo VAR, $\boldsymbol{\phi}_i$ é a i -ésima matriz ($n \times n$) dos coeficientes para $i = 1, 2, \dots, p$ e $\boldsymbol{\varepsilon}_t = (\varepsilon_{1t}, \dots, \varepsilon_{nt})$ é o ruído branco ($n \times 1$).

A análise de autocorrelação sugere a possibilidade de que as variáveis são representadas por séries temporais não estacionárias. Assim, aplicamos o teste de Dickey-Fuller aumentado (ADF), a fim de avaliar a estacionariedade das séries, tendo verificado que a hipótese nula de que os dados são não estacionários não foi rejeitada. Perante este cenário, recorremos a transformações para conseguir séries estacionárias, tais como a diferenciação das variáveis. Neste sentido foi aplicada a diferenciação às séries originais para que seja possível obter séries estacionárias, após o que obtivemos características de estacionariedade em relação à média.

Adicionalmente, foi também aplicada a diferença das rendibilidades logarítmicas, o que permite obter séries estacionárias que refletem as variações percentuais dos instrumentos financeiros e analisar a relação entre essas variáveis, seguindo uma metodologia frequentemente usada neste tipo de análise (e.g., Aatola et al., 2013). Como resultado desta transformação, os dados passam a refletir a variação das rendibilidades logarítmicas diárias de cada uma das variáveis, e não a evolução de preço absoluto, correspondente às séries originais.

No cenário VAR, e de modo a analisar a influência dos determinantes do preço do carbono, é desenvolvida a análise dos impactos das variações absolutas através da diferenciação dos dados originais, e desenvolvida a análise das variações das rendibilidades logarítmicas através das diferenças dos logaritmos dos dados originais. Aplicando o teste ADF às variáveis resultantes da diferenciação, concluímos que a estacionariedade foi estabilizada.

Para determinar o número de períodos de atraso (lag) máximo a considerar no modelo, recorremos aos testes Akaike Information Criterion (AIC), Schwarz Bayesian Information Criterion (SIC), Hannan Quinn Criterion (HQ) e Final Prediction Error (FPE), tendo constatado que o número de períodos de atraso que revelou maior concordância foi seis. Quando aplicados os testes às séries das rendibilidades logarítmicas diferenciadas, os resultados indicam que deve ser usado um ou dois períodos de atraso.

3.3.2. Modelo VECM

O modelo VECM desenvolve o modelo VAR, integrando diretamente a diferenciação das variáveis com um período de desfasamento (1 lag). Inclui um termo de correção de erro, permitindo, assim, que as séries temporais não-estacionárias sejam usadas com o pressuposto de existência de cointegração. Este modelo é aplicado através da seguinte fórmula:

$$\Delta y_t = c + \sum_{i=1}^p \phi_i y_{t-1} + e_{t-1} + \varepsilon_t \quad (2)$$

A cointegração baseia-se numa relação de equilíbrio de longo-prazo entre variáveis, mesmo que esta não seja visível no curto prazo (Tu et al., 2019). Neste sentido, existe cointegração quando as diversas variáveis não são estacionárias ao longo do tempo, mas o resultado de uma combinação linear destas é estacionária. De modo a avaliar esta cointegração, foram aplicados os testes de cointegração de Johansen (1988), validando o pressuposto de cointegração.

Aplicando o mesmo teste à série das rendibilidades logarítmicas, os resultados demonstraram que não existem relações de cointegração entre as variáveis. Neste sentido, estas séries não se adequam ao modelo VECM porque não existe cointegração, e não se adequam ao modelo VAR porque são estacionárias. Assim, foram aplicados os modelos VECM apenas para os dados originais com uma relação de cointegração.

A determinação do número de períodos de atraso (lag) máximo foi obtida através dos testes AIC, SIC, HQ e FPE. Dado que os resultados revelaram que o número ótimo de períodos de atraso é sete, e que o modelo VECM incorpora a diferenciação de um período de atraso, o número ótimo de períodos considerado foi seis (7-1).

4. Resultados

O resultado obtido através do modelo VECM demonstra um vetor de correção de erro negativo e sem significância estatística, indicando a ausência de relação de longo-prazo.

Nas relações de curto-prazo, foram resumidas na Tabela 2 as relações com grau de significância de 0,1; 0,05 ou 0,10.

Tabela 2 - Resultados modelo VECM

<i>Determinante_(lag)</i>	Coeficiente	
<i>Futuro de Carvão_{t-1}</i>	-0,0250	***
<i>Futuro de Gas Natural_{t-3}</i>	-0,0299	**
<i>Futuro de Carvão_{t-4}</i>	-0,0158	*
<i>Futuro de Emissões de Carbono_{t-5}</i>	-0,1295	***
<i>Futuro de Carvão_{t-5}</i>	0,0148	*
<i>Futuro de Carvão_{t-6}</i>	0,0145	*

Grau de significância: *0,1; **0,05; *** 0,01

As variáveis obtidas através da diferenciação foram aplicadas ao modelo VAR através da seguinte fórmula:

$$Y_t = P_1 Y_{t-1} + \dots + P_p Y_{t-p} + \varepsilon_t \quad (3)$$

Os resultados do modelo VAR aplicado às séries originais diferenciadas, o qual denominamos por VAR0, são idênticos aos resultados obtidos com o modelo VECM. Adicionalmente, aplicámos o modelo VAR às diferenças dos logaritmos das variáveis com um (VAR1) e dois (VAR2) períodos de atraso, visto que os testes relativos ao número de períodos de atraso (lag) máximo a considerar no modelo não foi explícito. Ambos os modelos apresentam resultados semelhantes, indicando que apenas os futuros de carvão são estatisticamente significativos (Tabela 3).

Tabela 3 - Resultados modelo VAR1 e VAR2

VAR1	<i>Determinante_(lag)</i>	Coeficiente	
	<i>Futuro de Carvão_{t-1}</i>	-0,0973	***
VAR2	<i>Determinante_(lag)</i>	Coeficiente	
	<i>Futuro de Carvão_{t-1}</i>	-0,0974	***

Grau de significância: *** 0,01

Os resultados obtidos são semelhantes para VAR1 e VAR2, demonstrando que o número de períodos de atraso não impactou consideravelmente os resultados.

Resumindo, os resultados dos quatro modelos mostram que o carvão influencia negativamente o preço do carbono, sendo estes resultados coerentes com os de Tan e Wang (2017), Batten et al. (2021), Ji et al. (2021), Lovcha et al. (2022), Bai e Okullo (2023) e Lei et al. (2024).

Os modelos VECM e VAR0 mostram a existência de uma influência negativa do preço do carbono (com 5 períodos de atraso), o que indica que existem correções do preço ao longo do tempo, o que vai ao encontro dos resultados de Tenke (2023). Estes modelos permitiram verificar que o preço do gás natural com 3 períodos de atraso é igualmente um determinante do preço do carbono.

Contudo, os resultados mostram que o preço do petróleo e da eletricidade não são determinantes para o preço do carbono, ao contrário dos resultados obtidos por Hammoudeh et al. (2014), na UE, e Zhu et al. (2022), em vários continentes.

5. Conclusão

Este estudo analisou os determinantes do preço do carbono do mercado europeu para o período compreendido entre 1 de janeiro de 2020 e 5 de junho de 2023, tendo por base a aplicação dos modelos VAR e VECM.

Os resultados mostram que os determinantes do preço do carbono são o preço do carvão, do gás natural e o próprio preço do carbono, não existindo evidência de uma influência significativa do preço do petróleo e da eletricidade no preço do carbono.

O preço de carvão influencia negativamente o preço do carbono, tanto ao longo ao tempo, como de forma quase imediata. Este resultado adequa-se à teoria fundamental do efeito de substituição. Teoricamente, a subida do preço da matéria-prima mais poluente desincentiva a sua utilização e influencia a queda do preço das emissões de carbono. O crescimento significativo da influência do carvão em detrimento da influência dos preços do petróleo e da eletricidade sugere mudanças alterações face aos resultados obtidos no passado.

Os resultados relativos ao gás natural indicam uma influência negativa, contrariando a teoria relativa ao efeito de substituição, que indica que uma subida do preço do gás natural, como matéria-prima alternativa menos poluente, se reflete numa subida do preço das emissões de carbono. A necessidade da Europa responder a uma crise energética com implicações de curto e de longo prazo poderá provocar mudanças significativas nestes mercados.

Este estudo apresenta algumas limitações. O impacto total deste choque nos mercados é ainda uma incerteza e poderão existir outras alterações estruturais que não estão refletidas nos resultados do presente estudo. Apesar deste trabalho refletir os impactos iniciais na estrutura de determinantes do preço do carbono, comparativamente com a literatura existente, a evolução destes determinantes deve ser acompanhada. Adicionalmente, este

estudo não reflete o impacto de outros fatores que podem ter impactos estruturais como indicadores económicos ou alterações nas políticas energéticas e ambientais. O aumento da inflação forçou diversos países a adotar políticas monetárias mais restritivas com impactos macroeconómicos significativos, enquanto diversos países também adotaram algumas políticas de apoio à economia em detrimento de políticas de descarbonização. Estas mudanças também podem influenciar a estrutura do mercado de emissões de carbono e esses fatores não estão refletidos na presente análise.

Parece-nos que seria interessante, como trabalhos de investigação futura, analisar um período mais extenso, bem como os impactos de longo prazo derivados do conflito entre a Rússia e a Ucrânia no pressuposto que a Europa tenderá a alterar gradualmente o seu comportamento de consumo energético.

Referências

- Aatola, P., Ollikainen, M., and Toppinen, A. (2013). Price determination in the EU ETS market: Theory and econometric analysis with market fundamentals. *Energy Economics*, 36, 380–395. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2012.09.009>
- Alberola, E., Chevallier, J., & Chèze, B. (2008). Price drivers and structural breaks in European carbon prices 2005–2007. *Energy Policy*, 36(2), 787–797. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2007.10.029>
- Alberola, E., Chevallier, J., & Chèze, B. (2009). Emissions Compliances and Carbon Prices under the EU ETS: A Country Specific Analysis of Industrial Sectors. *Journal of Policy Modeling*, 31(3), 446–462. <https://doi.org/10.1016/J.JPOLMOD.2008.12.004>
- Bai, Y., & Okullo, S. J. (2023). Drivers and pass-through of the EU ETS price: Evidence from the power sector. *Energy Economics*, 123. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2023.106698>
- Batten, J. A., Maddox, G. E., & Young, M. R. (2021). Does weather, or energy prices, affect carbon prices? *Energy Economics*, 96, 105016. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2020.105016>
- Chun, D., Cho, H., & Kim, J. (2022). The relationship between carbon-intensive fuel and renewable energy stock prices under the emissions trading system. *Energy Economics*, 114, 106257. <https://doi.org/10.1016/J.ENECO.2022.106257>

- Hammoudeh, S., Nguyen, D. K., & Sousa, R. M. (2014). What explain the short-term dynamics of the prices of CO₂ emissions? *Energy Economics*, 46, 122–135. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2014.07.020>
- Ibikunle, G., Gregoriou, A., Hoepner, A. G. F., & Rhodes, M. (2016). Liquidity and market efficiency in the world's largest carbon market. *The British Accounting Review*, 48(4), 431–447. <https://doi.org/10.1016/J.BAR.2015.11.001>
- Ji, C. J., Hu, Y. J., Tang, B. J., & Qu, S. (2021). Price drivers in the carbon emissions trading scheme: Evidence from Chinese emissions trading scheme pilots. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123469. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.123469>
- Johansen, S. (1988). Statistical analysis of cointegration vectors. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12(2–3), 231–254. [https://doi.org/10.1016/0165-1889\(88\)90041-3](https://doi.org/10.1016/0165-1889(88)90041-3)
- Kumar, S., Managi, S., & Matsuda, A. (2012). Stock prices of clean energy firms, oil and carbon markets: A vector autoregressive analysis. *Energy Economics*, 34(1), 215–226. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2011.03.002>
- Lei, H., Xue, M., Liu, H., & Ye, J. (2024). Unveiling the driving patterns of carbon prices through an explainable machine learning framework: Evidence from Chinese emission trading schemes. *Journal of Cleaner Production*, 438, 140697. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.140697>
- Lovcha, Y., Perez-Laborda, A., & Sikora, I. (2022). The determinants of CO₂ prices in the EU emission trading system. *Applied Energy*, 305, 117903. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2021.117903>
- Nguyen, D. K., Huynh, T. L. D., & Nasir, M. A. (2021). Carbon emissions determinants and forecasting: Evidence from G6 countries. *Journal of Environmental Management*, 285, 111988. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.111988>
- Ozturk, S. S., Demirer, R., & Gupta, R. (2022). Climate uncertainty and carbon emissions prices: The relative roles of transition and physical climate risks. *Economics Letters*, 217, 110687. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2022.110687>

Tan, X. P., & Wang, X. Y. (2017). Dependence changes between the carbon price and its fundamentals: A quantile regression approach. *Applied Energy*, 190, 306–325. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2016.12.116>

Tenke, Á. Z. (2023). *Price dynamics in the European Union emissions trading system: an empirical study of carbon allowances*. Dissertação de mestrado. Universidade Católica Portuguesa. <https://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/45339>

Tu, C., Fan, Y., & Fan, J. (2019). Universal Cointegration and Its Applications. *IScience*, 19, 986–995. <https://doi.org/10.1016/J.ISCI.2019.08.048>

Zhong, M., Zhang, R., & Ren, X. (2023). The time-varying effects of liquidity and market efficiency of the European Union carbon market: Evidence from the TVP-SVAR-SV approach. *Energy Economics*, 123, 106708. <https://doi.org/10.1016/J.ENERCO.2023.106708>

Zhu, B., Tang, J., Wang, P., & Zhang, L. (2022). Exploring the drivers of carbon market risk: A meta regression analysis. *Journal of Cleaner Production*, 352, 131538. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131538>

How to cite this article:

Vieira, E. S., Miranda, C. M., & Palavra, P. (2025). Determinantes do preço das emissões de carbono durante períodos de crise. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, 11 (21), 1 - 15. Disponível em <http://u3isjournal.isvouga.pt/index.php/PJFMA>. DOI: <https://doi.org/10.54663/2183-3826.2025.v11.n21.1-15>