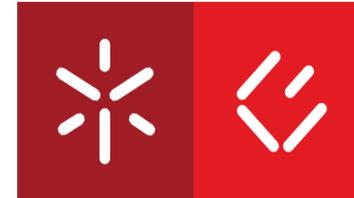




**Estudo dos principais indicadores ambientais e económicos
associados ao encerramento das centrais a carvão na Europa**

Vicente António da Silva Lima

UMinho | 2023

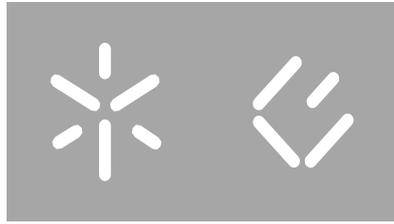


Universidade do Minho
Escola de Economia e Gestão

Vicente António da Silva Lima

**Estudo dos principais indicadores
ambientais e económicos associados ao
encerramento das centrais a carvão
na Europa**

julho de 2023



Universidade do Minho
Escola de Economia e Gestão

Vicente António da Silva Lima

**Estudo dos principais indicadores ambientais
e económicos associados ao encerramento das
centrais a carvão na Europa**

Dissertação de Mestrado
em Economia
Industrial e da
Empresa

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Rita Sousa

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



AtribuiçãoCC

BY

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.>

Agradecimentos

A realização desta dissertação foi impulsionada graças às palavras de apoio e ensinamentos de várias pessoas que me permitiram entender que com motivação e trabalho árduo seria alcançável. Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma me apoiaram ao longo do ano e expresso a minha profunda gratidão.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à professora Rita Sousa que aceitou orientar a minha tese, direcionando me desde o princípio, a direção certa a seguir no tema que escolhi. O conhecimento que me transmitiu, as suas opiniões e críticas foram fundamentais para a realização desta dissertação.

Por fim, em especial aos meus pais que sempre me incentivaram e apoiaram em toda a minha vida escolar e académica e aos meus amigos que fizeram parte desta etapa importante da minha vida e sempre estiveram presentes e me motivaram.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

*“Viva como se fosse morrer amanhã.
Aprenda como se fosse viver para
sempre”*

Gandhi

Resumo

A utilização de centrais a carvão para produzir energia elétrica representa uma fração bastante importante para esta indústria. Contudo, esta é a fonte de produção de energia com maior intensidade de carbono, e contribui significativamente de forma negativa para a emissão de gases de efeito de estufa (GEE), que é prejudicial para o meio ambiente.

O presente estudo investiga os impactos resultantes do encerramento das centrais a carvão no âmbito europeu e nacional, com foco na análise dos principais indicadores ambientais e económicos. Este encerramento tem sido uma medida debatida e implementada por governos e organizações visando a mitigação das mudanças climáticas e a transição para uma economia mais sustentável.

Através da análise estatística dos dados recolhidos, verificou-se que a utilização do carvão tem um impacto muito negativo a nível ambiental devido à grande quantidade de emissões de CO₂, sendo importante destacar a necessidade externa essencial de redução destas emissões ao longo dos anos, por causa das alterações climáticas. Outra conclusão associada diz respeito ao preço das licenças de emissão de CO₂, que tem atingido valores bastante elevados, impulsionado essencialmente por medidas da UE para pressionar os países a criarem soluções menos poluentes. De igual forma, o preço da eletricidade tem aumentado gradualmente e é uma variável fundamental para verificar o impacto do encerramento das centrais. Já a nível tecnológico, estas medidas e fatores incentivaram os países a optarem por fontes de energia alternativas mais sustentáveis, nomeadamente energias renováveis, na produção elétrica.

Em conclusão, a competitividade e viabilidade das centrais elétricas a carvão na indústria diminuirão consideravelmente dadas as crescentes medidas de combate às mudanças climáticas, com a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, a consequente subida dos preços das licenças de emissões de CO₂ e o aparecimento de energias alternativas menos poluentes.

Palavras-chave: Carvão, Energia, Gases com Efeito de Estufa, Indústria elétrica

Abstract

The use of coal-fired power plants to produce electricity represents an important fraction for this industry. However, this is the most carbon-intensive source of energy production and contributes significantly negatively to the emission of greenhouse gases (GHG), which is harmful to the environment.

This study investigates the impacts resulting from the closure of coal-fired power plants at the European and national levels, focusing on the analysis of the main environmental and economic indicators. This shutdown has been a measure debated and implemented by governments and organizations aimed at mitigating climate change and transitioning to a more sustainable economy.

Through the statistical analysis of the data collected, it was found that the use of coal has an extremely negative catastrophic impact on the environment due to the large amount of CO₂ emissions, and it is important to highlight the essential external need to reduce these emissions over the years because of climate change. Another associated conclusion concerns the price of CO₂ emission allowances, which has reached very high values, driven by EU measures to pressure countries to create fewer polluting solutions. Similarly, the price of electricity has been gradually increasing and is a key variable in verifying the impact of plant closures. At the technological level, these measures and factors have encouraged countries to opt for more sustainable alternative energy sources, namely renewable energies, in electricity production.

In conclusion, the competitiveness and viability of coal-fired power plants in the industry have decreased given the growing measures to combat climate change, with the need to reduce greenhouse gas emissions, the consequent increase in the prices of CO₂ emission permits and the emergence of less polluting alternative energies.

Keywords: Coal, Electrical Industry, Energy, Greenhouse Gases

ÍNDICE

1.Introdução	1
2.Setor Elétrico Europeu	6
2.1. Mercado Elétrico Europeu.....	6
2.2. Mix Elétrico Europeu	8
2.3. Licenças de Emissões de CO2.....	11
2.4. Impactos Ambientais	12
3.Revisão de Literatura	14
4. Metodologia	18
4.1. Análise de Correlação.....	19
5. Análise dos dados	21
5.1. Emissões de GEE das centrais a carvão.	21
5.2. Centrais encerradas na UE, ao longo dos anos.....	23
5.3 Preços de eletricidade para utilizadores industriais na UE.....	25
5.4. Potência instalada nas fontes de produção de energia, em Portugal.	27
5.5. Consumo de carvão na produção de energia e na indústria, em Portugal.	29
6. Conclusões.....	32
7. Referências Bibliográficas	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Emissões de GEE por Setor, União Europeia (27)	3
Figura 2 - Intensidade das Emissões de GEE na Produção de Energia	4
Figura 3. Emissões de CO2 na União Europeia da Produção Elétrica	6
Figura 4. Compromissos do setor elétrico	8
Figura 5. Mix Elétrico Europeu, de 2000 a 2022	9
Figura 6. Produção de eletricidade na UE	10
Figura 7. Evolução do preço das licenças de emissão	12
Figura 8. Número de centrais encerradas, por ano, na UE	24
Figura 9. Centrais a carvão encerradas por País, % do total, 2005-2022.....	25
Figura 10. Preço médio da eletricidade na EU, € por kWh	26
Figura 11. Preço da eletricidade por país, em €/ kWh.	27
Figura 12. Potência instalada para Produção de Energia em Portugal	28
Figura 13. Consumo de carvão em Portugal, em 10 ⁶ toneladas.....	30

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Número de emissões de CO ₂ e, por país, MtCO ₂ e.	21
Tabela 2. Custo por país das licenças de CO ₂ , por ano, em M€.....	22
Tabela 3. N° de centrais encerradas.....	23

ABREVIATURAS E SIGLAS

CO2 - Dióxido de carbono

GEE - Gases de efeito de estufa

UE - União Europeia

COP21 - *Conference of the Parties, session 21*

COP23 - *Conference of the Parties, session 23*

COP26 - *Conference of the Parties, session 26,*

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

PPCA - *Powering Past Coal Alliance*

CCS - *Carbon Capture Storage*

EUA - Estados Unidos da América

IEA - *International Energy Agency*

EDP - Energias de Portugal

DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

DE – Alemanha

BE – Bélgica

DK – Dinamarca

ES – Espanha

FR – França

GR – Grécia

IE – Irlanda

IT – Itália

PT – Portugal

CZ – República Checa

UK – Reino Unido

1. Introdução

O potencial energético do carvão foi fundamental para o desenvolvimento industrial, uma vez que foi a principal fonte de energia durante a Primeira Revolução Industrial, e era utilizado para o funcionamento das máquinas a vapor. Assim, a Revolução Industrial do carvão refere-se a um período histórico de grande transformação socioeconómica e tecnológica, que ocorreu no final do século XVIII e início do século XIX, caracterizada pela mecanização industrial e pelo uso do carvão como fonte de energia. (Wilde, 2023)

Esta Revolução desempenhou um papel essencial no desenvolvimento do capitalismo industrial e na transformação da sociedade, marcando o início de uma era de rápido progresso tecnológico e urbanístico. O facto de se tratar de um recurso natural existente em abundância, proporcionou um preço acessível em comparação com outras fontes de energia, o que incentivou o uso generalizado em diversos setores, tornando-o uma escolha económica e fiável.

No entanto, apesar das contribuições positivas, o uso do carvão também teve vários efeitos negativos, tais como a poluição do ar, a emissão de gases de efeito estufa e o impacto na saúde das pessoas que viviam em áreas mais industrializadas. Além disso, as condições de trabalho nas fábricas e nas minas eram frequentemente precárias, com longas horas de trabalho, baixos salários e falta de regulamentação adequada. O impacto a longo prazo destas consequências negativas fez despertar as preocupações com o meio ambiente e, por isso, ao longo do século XX aumentaram as inquietações sobre esta problemática havendo a procura por fontes de energia mais limpas e sustentáveis, levando a uma redução gradual do uso do carvão. (Wilde, 2023)

Tal como a nível mundial, vários países da União Europeia têm um amplo histórico no que respeita a extração e utilização do carvão como fonte de energia. Porém, nas últimas décadas, a UE tem procurado reduzir progressivamente a dependência do carvão e promover a transição para fontes de energia menos poluentes. Exemplo disso é a Alemanha que teve uma indústria de utilização do carvão muito importante e abrangente, sendo o país com maior número de centrais a carvão de toda a UE. Todavia, têm vindo a implementar políticas de forma reduzir gradualmente a dependência do carvão e têm como objetivo o encerramento de todas as centrais a até 2038. Assim como a República Checa, que possui reservas significativas de carvão e tem uma indústria de extração bem desenvolvida, está a trabalhar para reduzir a dependência do carvão. Por outro lado, a Polónia que é um dos principais produtores e consumidores de carvão na União Europeia, tem sido um defensor da continuação do uso do carvão, embora

também esteja a trabalhar para diversificar a matriz energética e aumentar a participação das energias renováveis. (European Commission, 2020)

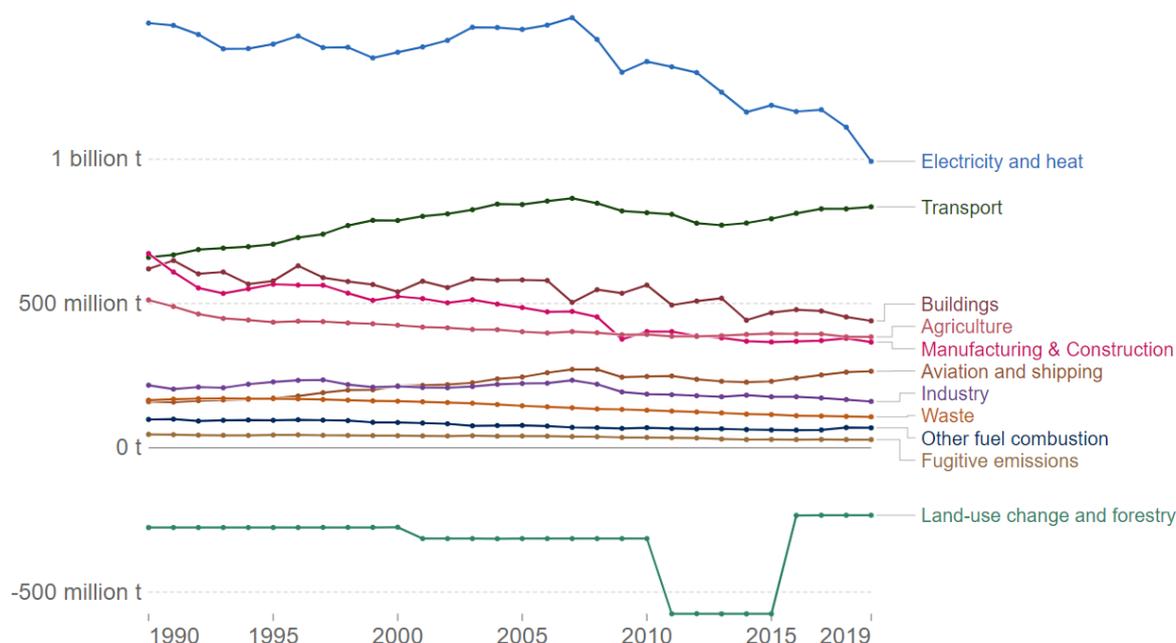
Portanto, o encerramento das centrais a carvão tornou-se fundamental para os países europeus que têm o objetivo de alcançar as metas do Acordo de Paris, estabelecido em 2015. Este Acordo estabeleceu um marco inovador capaz de assegurar o compromisso de todos os países com a redução das emissões GEE, e teve como principal objetivo definir metas e promover a cooperação entre os governos para desenvolverem técnicas de combate ao aquecimento global. As metas foram implementadas com o propósito de reduzir os gases de efeito estufa, a fim de limitar o aquecimento global a 1,5/2 °C acima dos níveis pré-industriais, clima antes da Revolução Industrial. (Maamoun, Kennedy, Jin, & Urpelainen, 2020)

Para além disso, mais recentemente, no Pacto Climático de Glasgow (COP26 em 2021), que é um acompanhamento do Acordo de Paris (COP21 em 2015), vários países a nível mundial concordaram em reduzir o uso do carvão. Atualmente, existem inúmeras iniciativas políticas com o intuito de eliminar o carvão especialmente na produção de eletricidade (Böhringer & Rosendahl, 2022). De acordo com a Powering Past Coal Alliance (PPCA), lançada na COP23 em 2017, é necessária uma eliminação gradual do carvão até 2030 na OCDE e na UE e até 2050 no resto do mundo. (IPCC, 2021)

De forma a dar seguimento aos Acordos e garantir a estabilidade climática foi necessário proceder à descarbonização da economia a nível global. O setor energético, de um modo geral, é responsável por 35% das emissões globais de GEE, já a produção de energia recorrendo ao uso de carvão é a forma mais intensiva de emissão de carbono, no que diz respeito ao fornecimento de eletricidade, contribuindo para mais de 70% das emissões de dióxido de carbono nos últimos 60 anos. (IPCC, 2021)

Exemplo disso é a figura 1, que ilustra a repartição do total de GEE, ou seja, a soma de todos os gases com efeito de estufa, medidos em toneladas de dióxido de carbono equivalente, por sector, na UE. Através da sua análise é possível verificar que comparativamente às emissões de GEE por setor na UE, tem havido uma tendência de diminuição em grande parte dos setores, estando em evidência o setor da eletricidade que apesar da drástica diminuição, registou em 2018 mais de 1 bilhão de toneladas de CO₂. Seguindo-se os transportes, a indústria transformadora, a construção (principalmente cimento e materiais similares) e a agricultura.

Figura 1 - Emissões de GEE por Setor, União Europeia (27)



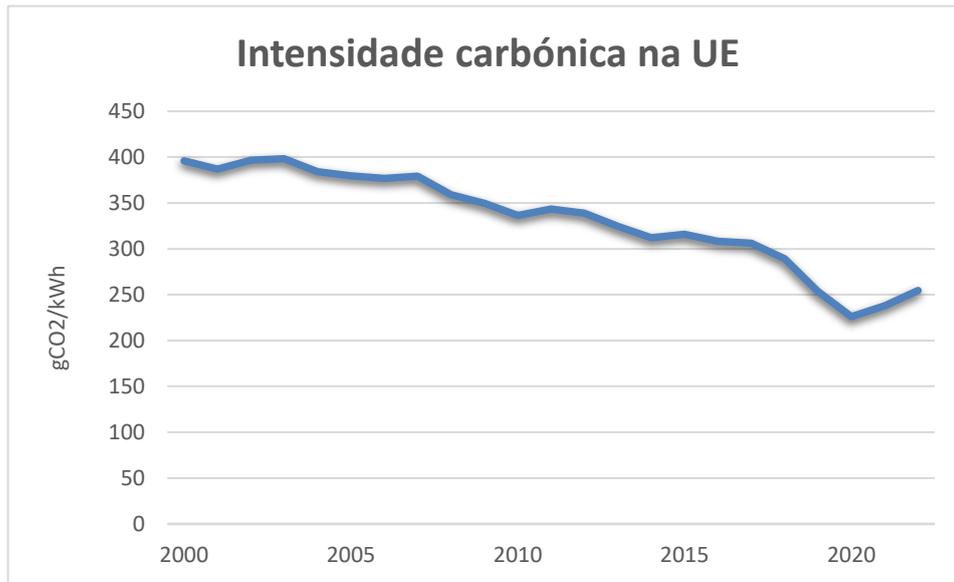
Fonte. Our World in Data based on Climate Analysis Indicators Tool (CAIT), de Hannah Ritchie, Max Roser e Pablo Rosado, 2020, "CO₂ and Greenhouse Gas Emissions". Publicado online em OurWorldInData.org. Retirado de <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>, consultado em dezembro de 2022.

O setor elétrico tem sido historicamente uma das principais fontes de emissões de GEE na UE. Apesar de muitos países da UE terem reduzido significativamente sua dependência de carvão nas últimas décadas, ainda há emissões significativas provenientes do uso de petróleo e gás natural na produção de eletricidade e calor.

Em sentido contrário está o setor dos transportes, uma fonte significativa de emissões de GEE que tem crescido gradualmente desde 1990. A queima de combustíveis fósseis em veículos rodoviários, aviões e navios contribui para uma parte considerável das emissões totais. Contudo, a transição para veículos elétricos, infraestruturas de carregamento e políticas de transporte sustentável tem sido uma prioridade para reduzir essas emissões.

Por outro lado, a intensidade das emissões de gases com efeito de estufa na produção de energia na UE, também tem vindo a diminuir constantemente ao longo das últimas três décadas. Esta análise é possível ser realizada na interpretação da Figura 2, que segue abaixo indicada, onde se verifica que as políticas têm desempenhado um papel importante na condução desta mudança, optando por fontes de energia renováveis com menos intensidade em carbono que combatem as alterações climáticas, procurando a utilização eficiente da energia e controlando as emissões industriais. É possível constatar pela análise da figura 2 que de 1990 a 2020 a intensidade de emissões de GEE causadas pela produção de eletricidade diminuiu progressivamente, havendo uma tendência para continuar a reduzir nos próximos anos.

Figura 2 - Intensidade das Emissões de GEE na Produção de Energia



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do site EMBER, consultados em março de 2023.

A intensidade de carbono da produção elétrica na UE em 2022 (255 gCO₂/kWh) é expressivamente inferior à de 2000 (396 gCO₂/kWh).

Esta intensidade é influenciada pelas fontes de energia utilizadas por cada país. Os países que dependem fortemente de combustíveis fósseis, como carvão e gás natural, tendem a ter uma intensidade de emissões mais alta. Por outro lado, os países que utilizam energias renováveis, como solar, eólica, hídrica e biomassa, apresentam uma intensidade de emissões mais baixa. Quanto menor for essa relação, menor será a intensidade de emissões e, portanto, menor será o impacto ambiental da produção elétrica.

Do ponto de vista económico e ambiental, a decisão de encerrar as centrais a carvão vai ao encontro do que é pretendido com a estratégia de descarbonização, e foi tomada num contexto em que a produção de energia depende cada vez mais de fontes renováveis e há muita preocupação relativa às questões ambientais. Além disso, com o crescente aumento do custo da produção a carvão e do preço das licenças de emissões de CO₂, aliado a um agravamento da carga fiscal, e com a maior competitividade do gás natural, as perspetivas de viabilidade das centrais a carvão diminuíram drasticamente.

No contexto deste estudo, entende-se por impacto do encerramento das centrais a carvão, todos os efeitos e consequências que foram verificados na economia da UE, na economia de cada país e nas empresas que atuavam no setor energético com o uso de carvão. Os impactos das centrais a carvão são, assim, de grande importância ambiental, e ainda

socioeconómica. Dada a urgência na descarbonização, é importante perceber como lidar com esses impactos. Assim, neste trabalho, pretendemos abordar o encerramento das centrais a carvão e as respetivas consequências verificadas na economia, mas também a nível ambiental e social.

Sobre o encerramento das centrais a carvão o objetivo é estudar os principais fatores que levaram a que os países optassem por essa decisão, bem como, analisar as alternativas a este combustível fóssil e as medidas que foram desenvolvidas e estão a ser implementadas para diminuir de forma progressiva o uso de carvão na produção de energia.

Este trabalho está organizado em seis capítulos. O capítulo 2 analisa a setor elétrico europeu, nomeadamente, o mercado e mix elétrico europeu, o comércio europeu de licenças de emissão e os impactos ambientais. Posteriormente, no capítulo 3 é feita a revisão de literatura e os respetivos estudos já realizados sobre este tema, justificando os objetivos e perguntas de investigação a estudar nesta tese. Nos capítulos 4 e 5 apresentam-se a metodologia e a análise dos dados, respetivamente. Por fim, no capítulo 6 conclui-se o trabalho apontando os caminhos para desenvolvimento futuro.

2. Setor Elétrico Europeu

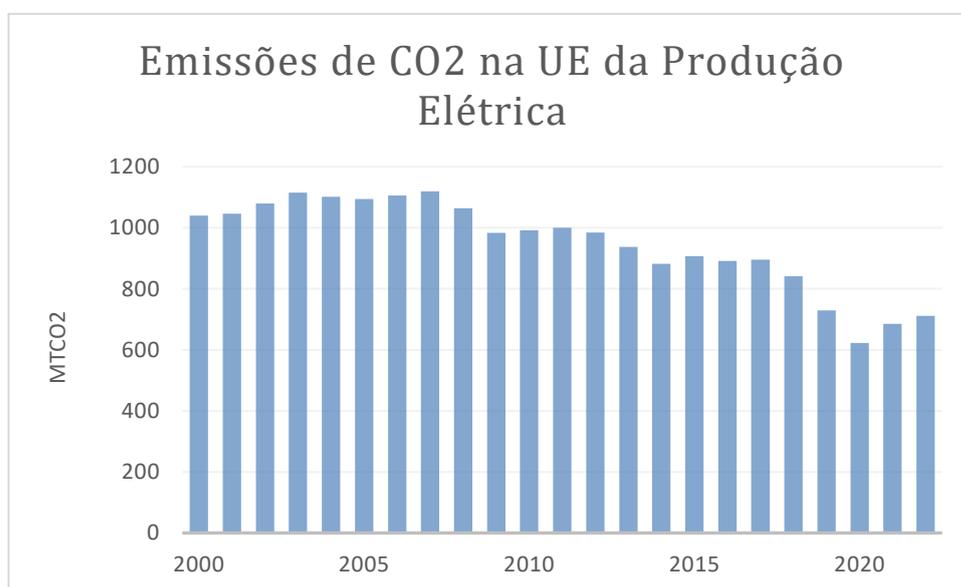
2.1. Mercado Elétrico Europeu

O mercado elétrico europeu é um sistema complexo regulado pela União Europeia e tem como objetivo garantir o acesso justo e um alto nível de proteção dos consumidores, a segurança do abastecimento energético na União, a promoção da eficiência energética, o desenvolvimento de energias renováveis e a promoção da interconexão das redes de energia dos Estados-Membros. Para além disso, é caracterizado por uma combinação de políticas e regulamentações nacionais e europeias, bem como por uma variedade de intervenientes, incluindo empresas de energia, operadores de rede, reguladores e consumidores. (ERSE, s.d.)

Este mercado está em constante evolução, impulsionado por mudanças nas políticas energéticas, avanços tecnológicos e pelo aumento da procura por eletricidade sustentável. A transição para uma matriz energética mais limpa e a criação de um mercado elétrico mais integrado são objetivos importantes para a União Europeia, visando a segurança energética, a sustentabilidade e principalmente a redução das emissões de gases de efeito estufa.

No que diz respeito às emissões de CO₂ provocadas pela produção de eletricidade, estas diminuíram significativamente nos últimos anos.

Figura 3. Emissões de CO₂ na União Europeia da Produção Elétrica



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do site EMBER, consultados em março de 2023

Esta diminuição das emissões de CO₂ é uma consequência à diminuição do uso de carvão na produção elétrica uma vez que é a fonte de energia mais poluente.

De igual modo, desde o Acordo de Paris em 2015, a intensidade de carbono também

diminuiu em todos os países da UE (com exceção da França, em resultado do défice nuclear deste ano), e consequentemente, as emissões anuais do sector elétrico da UE diminuíram.

Posto isto, ao nível económico, substituir a produção de eletricidade a carvão por outras energias é considerado a opção de redução de carbono mais barata, dado que os bancos de investimento e os fundos globais estão ao longo do tempo a excluir a eletricidade obtida pelo carvão e a extração de carvão dos seus interesses, refletindo preocupações sobre as mudanças climáticas globais. Por outro lado, a eliminação acelerada da produção de eletricidade com carvão pode causar custos adicionais devido ao investimento já realizado em novas tecnologias inovadoras nas centrais a carvão para a redução de CO₂, como a captura e armazenamento de carbono (CCS). Os custos dos combustíveis alternativos, por exemplo, gás natural, energia eólica e energia solar, para a produção de eletricidade são opção mais económicas o que torna o carvão, em muitas regiões, pouco económico. (Finkelman, Wolfe, & Hendryx, 2021)

Assim, após o acordo de 2015 vários países da UE anunciaram a eliminação gradual das centrais a carvão durante o período 2020-2030. A França assumiu esse compromisso até 2024, a Alemanha está a desenvolver uma estratégia para eliminar gradualmente o carvão, até 2038, o Reino Unido espera eliminar gradualmente o carvão até 2025, através da implementação de novas políticas de emissão, no que diz respeito à Espanha, o Governo acredita que o sistema de energia estará livre do uso de carvão até 2030.

Figura 4. Compromissos do setor elétrico



Fonte: European Commission, 2020, “Coal Phase-out commitments in the EU”. Publicado em commission.europa.eu. Retirado de https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/eu-coal-regions/coal-regions-transition_en, consultado em dezembro de 2022.

No caso em concreto de Portugal, em 2021, foi anunciado oficialmente o encerramento das duas centrais termoelétricas a carvão, a central do Pego (Abrantes) e Sines, que eram responsáveis por 15% das emissões de gases de efeito de estufa, ocupando os lugares mais destacados da tabela das instalações mais poluentes a nível nacional.

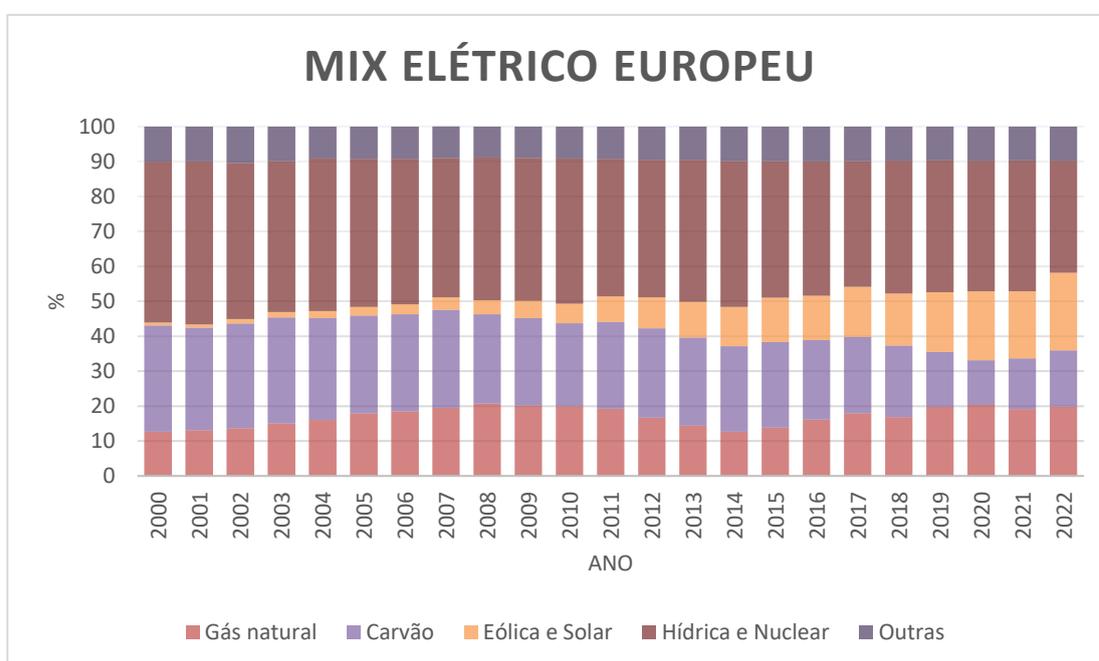
Assim, o encerramento das centrais a carvão é imperativo para cumprir o compromisso da UE de reduzir as emissões de CO₂ em pelo menos 55% até 2030, e tornar-se o primeiro bloco neutro em termos climáticos do mundo até 2050. (European Commission, 2020)

2.2. Mix Elétrico Europeu

O mix elétrico europeu refere-se à composição das fontes de energia utilizadas na produção de eletricidade em países europeus. A Europa tem adotado uma abordagem cada vez mais voltada para a diversificação e transição para fontes de energia mais limpas e renováveis. É importante referir que a participação de cada fonte de energia no mix elétrico varia de acordo com os recursos disponíveis em cada país, as políticas energéticas adotadas e as metas de redução de emissões de carbono estabelecidas pela União Europeia e pelos governos nacionais. (Jones, 2023)

Nos últimos anos, este tem sofrido alterações uma vez que a Europa se esforça para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e aumentar o uso de fontes renováveis. A energia eólica, a energia solar e a biomassa são as fontes renováveis mais importantes na Europa e a sua participação no mix elétrico está a aumentar rapidamente. O carvão é a principal fonte de energia fóssil na Europa, mas sua participação no mix elétrico está a diminuir gradualmente. O gás natural é uma fonte de energia mais limpa do que o carvão e a sua participação no mix elétrico europeu está a aumentar lentamente. A energia nuclear é uma fonte de energia limpa e confiável e a sua participação no mix elétrico europeu está estável. Outros combustíveis fósseis, como o petróleo e o óleo combustível, têm uma participação relativamente pequena no mix elétrico europeu.

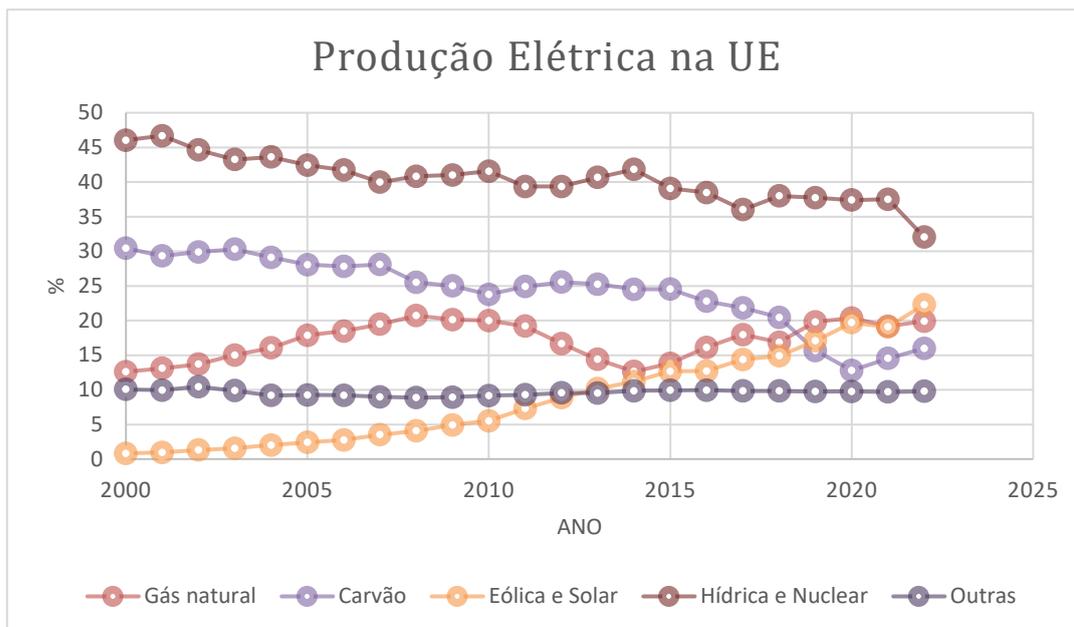
Figura 5. Mix Elétrico Europeu, de 2000 a 2022



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados do site EMBER, consultados em março de 2023.

Em 2022, a energia eólica e solar geraram um quinto recorde da eletricidade da UE (22%), ultrapassando pela primeira vez o gás natural (20%) e mantendo-se acima da energia a carvão (16%), que em 2000 a sua quota no mix elétrico foi cerca de 30%. A utilização do carvão para a produção de eletricidade na UE deverá continuar a diminuir. As metas de eliminação progressiva do carvão, o aumento da utilização de fontes como a eólica e solar, bem como uma recuperação da produção nuclear francesa reduzirão a necessidade do combustível fóssil comparativamente mais caro.

Figura 6. Produção de eletricidade na UE



Fonte: Elaboração própria com base nos dados do site EMBER, consultados em março de 2023.

A implementação da energia eólica e solar, acelerou desde 2010 e, apesar do declínio da produção nuclear (-29 % desde 2000), a rede da UE continua a ficar mais limpa.

Contudo, apesar do carvão, representar atualmente apenas cerca de um sexto da produção total de eletricidade na UE, continua a ser um importante motor económico, proporcionando empregos a cerca de 230.000 pessoas em minas e centrais elétricas em 31 regiões e 11 países da UE. (European Commission, 2020)

Posto isto, a mudança no mix elétrico europeu terá um impacto significativo na economia europeia devido ao facto de que a produção de eletricidade é um setor importante para a economia e tem um impacto considerável nos preços da energia, no emprego e no meio ambiente.

2.3. Licenças de Emissões de CO2

A União Europeia possui um sistema abrangente de “limitação e comércio” intitulado como Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) que funciona no Espaço Económico Europeu e estabelece um limite anual para as emissões de gases de efeito de estufa das instalações fixas e abrange indústrias com utilização intensiva de carvão para a produção de energia. Se as emissões de uma determinada instalação excederem as licenças que lhe foram atribuídas, este deve adquirir licenças adicionais no mercado. Contudo, sendo o carvão a principal fonte de emissões de gases com efeito de estufa, as empresas que utilizam o carvão como fonte de energia teriam de adquirir mais licenças para cobrir as suas emissões e, portanto, mais custos associados. Os setores abrangidos pelo CELE representam, em conjunto, 36% das emissões totais do Espaço Económico Europeu. (European Commission)

Posto isto, o mercado de licenças de emissões da UE tem como objetivo incentivar a redução de emissões de forma economicamente viável e promover a inovação tecnológica. Este desempenha um papel fundamental na transição para uma economia de baixa percentagem de carbono na UE, e tem sido um exemplo para outros países e regiões que procuram implementar sistemas de comércio de emissões.

Assim, os preços das licenças de CO2 na UE são determinados pelo mercado, com base na oferta e na procura, nas políticas climáticas adotadas pelos países membros e pelas metas de redução de emissões estabelecidas pela União Europeia. Esses preços podem variar ao longo do tempo e podem influenciar as decisões das empresas em relação às suas emissões e estratégias de redução.

Inicialmente, os preços das licenças de CO2 eram relativamente baixos, refletindo um excesso de oferta de licenças no mercado. No entanto, ao longo dos anos, a UE implementou medidas para reduzir o excesso de oferta e fortalecer o comércio europeu de licenças de emissão.

Figura 7. Evolução do preço das licenças de emissão



Fonte. Trading Economics, 2023, “EU Carbon Permits”. Publicado online em TradingEconomics.com. Retirado de <https://tradingeconomics.com/commodity/carbon>. Copyright 2023, consultado em junho de 2023.

Através da figura 8, é possível verificar que o preço das licenças de emissão de CO₂ aumentou significativamente ao longo dos anos passando de 10€ por tonelada métrica de carbono em 2018 para atingir valores historicamente altos a partir de 2019, sendo o valor máximo de 105€ registado em fevereiro de 2023. Este aumento é impulsionado principalmente por fatores do lado da procura, a escassez de licenças disponíveis e a expectativa de metas de redução de emissões mais ambiciosas

2.4. Impactos Ambientais

O carvão é um grande contribuinte para as mudanças climáticas. Tem efeitos devastadores sobre a saúde pública, e as comunidades que vivem perto dessas centrais sofrem, não só com a poluição do ar e da água, mas também por serem deslocadas das suas casas, já que as localidades ficam consumidas pela expansão das centrais. Estudos revelam que as centrais a carvão em toda a Europa devem ser extintas rapidamente, de forma a cuidar da saúde humana e do ambiente. Para isso, é necessário garantir que os trabalhadores dessas centrais e as comunidades que se localizam próximas destas, tenham apoios que assegurem o seu bem-estar. Embora as necessidades de cada comunidade sejam diferentes, o objetivo é o mesmo em todos os lugares, ou seja, uma transição justa para todos, água limpa e um ambiente seguro. (Coal, 2023)

As centrais de produção de energia elétrica a carvão são uma das maiores colaboradoras das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE). A nível global, em 2010, estes representavam cerca de 25 a 30% do dióxido de carbono total emitido. (Sampedro, et al., 2021)

Uma alternativa às centrais a carvão são as centrais a gás, embora ainda sejam combustíveis fósseis, estes emitem cerca de 50% a 60% menos dióxido de carbono do que as centrais a carvão. Como o gás natural é mais limpo que o carvão, a substituição do carvão pelo gás levou a uma melhoria significativa da qualidade ambiental em escala global e local, através de reduções nas emissões de gases de efeito estufa e menor descarga de poluentes locais no ar (Rivera & Loveridge, 2022)

Um dos principais objetivos assumido pelos países é limitar o aquecimento global a 1,5 °C ou 2 °C, contudo exigiria que todas as centrais a carvão fossem eliminadas gradualmente nos próximos 30 anos. A redução do consumo de combustíveis fósseis, a penetração de tecnologias mais limpas no setor elétrico ou a eletrificação da frota de veículos têm se mostrado como medidas eficazes para melhorar a qualidade atmosférica. (Maamoun, Kennedy, Jin, & Urpelainen, 2020)

Posto isto, as centrais a carvão apresentam vários impactos ambientais, tais como, a poluição atmosférica que ocorre quando o carvão é queimado libertando uma série de toxinas e poluentes aéreos que têm impactos na saúde e que podem ir desde dificuldades respiratórias, até problemas cardíacos, cancro, doenças neurológicas e morte prematura; a poluição hídrica, uma vez que as centrais a carvão produzem anualmente mais de 100 milhões de toneladas de cinzas de carvão e mais de metade desses resíduos acabam em lagoas, lagos, aterros e outros locais onde, com o tempo, pode contaminar as vias navegáveis e o abastecimento de água potável; por fim, o aquecimento global, que ocorre quando o carvão é queimado e reage com oxigénio no ar para produzir dióxido de carbono, um gás que aprisiona o calor em que quando libertado para a atmosfera, este aquece a terra acima dos limites normais, originando consequências como, a seca, a subida do nível do mar, inundações, condições meteorológicas extremas e perda de espécies e biodiversidade. (Scientists, 2019)

Em suma, a gravidade destes impactos está diretamente ligada à quantidade de dióxido de carbono libertada, principalmente das centrais a carvão.

3. Revisão de Literatura

Inúmeros artigos tratam da análise do quadro jurídico, político e dos impactos da eliminação do carvão em diferentes países, como por exemplo, Böhringer & Rosendahl (2022), Maamoun et al. (2020), Figueiredo et al. (2019), Keles & Yilmaz. (2020). O setor energético é um dos setores mais regulamentados e, por isso, vários instrumentos políticos foram implementados no passado, a fim de reduzir a intensidade de carbono da produção de eletricidade.

No entanto, há várias razões pelas quais o setor energético ainda está no foco do debate político. Em alguns países, o setor energético é, apesar de algumas conquistas, a maior fonte de emissões de GEE (gases de efeito estufa). O aumento destas emissões implicou o desenvolvimento de novas intervenções políticas para alcançar reduções rápidas e significativas neste mesmo setor. Como uma medida adicional, vários países a nível europeu anunciaram o objetivo de terminar com a produção de energia a carvão nos próximos anos ou, pelo menos, a discussão deste assunto (Gillich, Hufendiek, & Klempp, 2020)

Além dos impactos ambientais, a análise do impacto social e dos efeitos económicos também é muito importante. A eliminação do carvão tem custos e encargos significativos, mas também é possível obter benefícios económicos. Vários autores, como Keles & Yilmaz (2020) e Chan, Fell, Lange, & Li. (2017) chegaram a conclusões diferentes ao analisar os custos e benefícios da eliminação do carvão tais como, custos ambientais e de saúde por meio de emissões de CO₂ evitadas, ou resolver os problemas de emprego nas regiões em que estas centrais se localizam. Os estudos revelam que o encerramento das centrais seria muito importante, mas ao mesmo tempo é difícil encontrar um equilíbrio entre os aspetos ambientais, económicos e sociais. Portanto, a eliminação do carvão deve ser implementada mantendo os princípios da transição justa. (Keles & Yilmaz, 2020)

Outros estudos concentram-se no lucro das centrais de energia e no impacto da eliminação do carvão nesse lucro. Chestney (2020) analisou o lucro de 6 685 centrais a carvão em todo o mundo e destacou que aproximadamente 42% das centrais operaram com prejuízo em 2018. Uma conclusão semelhante foi alcançada, até 2025, em que as viabilidades económicas de várias centrais a carvão se tornariam questionáveis como resultado do aumento da produção de energia renovável, portanto o encerramento pode ser uma opção inevitável para essas centrais. (Tristan & Bowyer, 2021)

Segundo Finkelman, Wolfe, & Hendryx (2021) para além dos efeitos cardiovasculares, a exposição à poeira e às emissões de carvão tem sido associada aos efeitos respiratórios e à

função pulmonar comprometida, ao aumento da suscetibilidade às infecções virais e bacterianas, ao baixo peso no nascimento em recém-nascidos, ao aumento da mortalidade infantil, aos efeitos neurológicos e à diminuição da esperança média de vida. As centrais elétricas com sistemas modernos de controlo da poluição são capazes de capturar mais de 99% das partículas geradas.

Em contrapartida, as emissões provenientes do envelhecimento das infraestruturas das centrais elétricas contribuem para uma série de problemas de saúde e mais de 800 000 mortes prematuras anuais a nível global. Na Europa, o carvão mata cerca de 23 300 pessoas por ano e os custos económicos do impacto da combustão do carvão, na saúde, estão avaliados em cerca de 70 mil milhões de euros por ano, com 250 600 anos de vida perdidos. Estas estatísticas estimativas mostram a ordem de grandeza das consequências para a saúde associados à exposição às emissões das centrais a carvão. (Finkelman, Wolfe, & Hendryx, 2021)

Em particular, Böhringer & Rosendahl (2022), mostram que o apoio à eletricidade verde beneficia, também, a eletricidade mais intensiva em termos de emissões, como a energia do carvão, se estiver em vigor um sistema de licenças de emissão com um limite fixo, subsidiar a eletricidade verde diminui o preço das emissões, que beneficia mais o carvão que é mais intensivo em termos de emissões, em detrimento de um gás menos intensivo. Para além disso, argumentam que, para limitar as perturbações sociais e económicas, os decisores políticos podem complementar os baixos preços do carbono com políticas complementares, como moratórias em novas centrais a carvão.

Mais especificamente, a Alemanha tem grande influência sobre a indústria e, por isso, foi estudada com alguma atenção. Esses estudos verificam que, quando a Alemanha elimina a produção de energia utilizando o carvão, o preço da eletricidade neste país aumenta. Como consequência, outras tecnologias de produção de energia aumentam a sua produção pendente nas elasticidades de fornecimento específicas da tecnologia e nas intensidades de carbono, de notar que a produção de energia nuclear na Alemanha até 2030 já está gradualmente eliminada de acordo com a legislação política. A percentagem de eletricidade renovável aumenta de 64% para 84% nas três políticas alternativas de cancelamento de licenças de emissão. (Böhringer & Rosendahl, 2022)

Com o foco na Alemanha, investigações mostram que uma eliminação gradual e progressiva do carvão pode reduzir as emissões, mas, conseqüentemente, aumentar os custos totais do sistema elétrico. Para além disso, Gillich, Hufendiek, & Klempf (2020) afirmam que a eliminação progressiva do carvão na Alemanha, ao contrário do Reino Unido, tem um impacto significativo na importação, exportação e nos preços de eletricidade na UE. A eliminação do

carvão na Alemanha teria um pequeno impacto adicional sobre as emissões globais europeias, por sua vez, uma eliminação gradual do carvão em toda a UE reduziria significativamente as emissões globais, em cerca de 19% (Keles & Yilmaz, 2020).

Alguns estudos investigam as medidas que visam a reduzir as emissões de carbono consequentes da produção a carvão, como a captura e o armazenamento de carbono (CCS), e o seu papel nos sistemas energéticos nacionais e/ou regionais. Outros trabalhos, por sua vez, sublinham a relevância da política de preços de carbono para a substituição da combustão do carvão para o gás natural na produção de energia e, assim, obter a redução das emissões de carbono. (Keles & Yilmaz, 2020)

A atual discussão na literatura sobre a produção de carvão centra-se na redução das emissões de carbono. Vários autores questionam o papel do gás natural na substituição da produção de carvão para alcançar a redução das emissões de carbono e concluir que a substituição de um recurso natural por outro por vezes não acontece como previsto devido a fatores políticos e económicos. (Greiner, York, & MacGee, 2018)

Como a combustão do gás natural é mais limpa que a do carvão, esta conversão de carvão para gás conduziu a uma melhoria da qualidade ambiental à escala global e local, através de reduções consideráveis nas emissões de gases de efeito de estufa e de descargas poluentes. (Rivera & Loveridge, 2022)

Segundo Mei, Gao, Zhang, & Yang (2021), a conversão do carvão para o gás natural, originou impactos positivos na melhoria da qualidade ambiental nas áreas próximas de centrais elétricas.

Dois estudos dos Estados Unidos da América, mostram que a proximidade às centrais elétricas também tem um impacto negativo nos preços da habitação. Assim, concluíram que as habitações localizadas a menos de duas milhas das centrais elétricas têm preços entre 3% e 7% mais baixos do que as casas mais afastadas destas centrais. Por outro lado, resultados de estimativas mostram que os preços das habitações perto das centrais elétricas convertidas para gás natural são 11% superiores aos das centrais a carvão. Esta disparidade de preços, deve-se às melhores condições de qualidade do ar perto de centrais elétricas convertidas para gás natural. (Mei, Gao, Zhang, & Yang, 2021)

As centrais de carvão estão a enfrentar baixos níveis de utilização da sua capacidade, tornaram-se não só pouco rentáveis para os proprietários, mas também para os clientes. É possível verificar que o foco da maioria dos estudos tem sido o encerramento das centrais de carvão, as questões que daí advêm, bem como o planeamento para as comunidades, sendo que era necessário que as intervenções políticas abordassem questões de equidade e eficiência.

(Jindal & Shrimali, 2022)

Em resumo, estudos concluíram que o impacto do CCS na economia das centrais a carvão impõe uma mudança de prioridades da atual aposta na eficiência para os custos de investimento. Por conseguinte, as empresas devem considerar explicitamente esta questão para as decisões de compensação para melhorar os ganhos que podem ser obtidos pela melhoria dos custos de investimento e da eficiência. Assim, podemos constatar que o foco do atual interesse em investigação dos vários autores é, principalmente, melhorar a eficiência do processo de captura e armazenamento de carbono (CCS). (Lohwasser & Madlener, 2012)

Dado que o objetivo deste trabalho é estudar os principais fatores que levaram a que os países optassem por essa decisão, bem como, analisar as alternativas a este combustível fóssil e as estratégias que foram desenvolvidas e estão a ser implementadas para diminuir de forma progressiva o uso de carvão na produção de energia. Sendo o principal propósito não só dar resposta a todas as perguntas de investigação que foram elaboradas, de forma a obter resoluções e conclusões com rigor, mas também analisar e comparar os estudos realizados pelos autores já mencionados.

Para atingir os objetivos desta investigação, foram elaboradas várias perguntas de investigação, relacionadas com o tema em estudo, que abordam tanto a temática das centrais a carvão quanto os assuntos referentes à economia, à indústria e ao ambiente.

Essas perguntas são:

- Quais os fatores responsáveis pelo encerramento das centrais a carvão?
- Quais são os recursos alternativos para a produção de energia? Nomeadamente, energia renovável e não renovável.
- Quais as consequências que se verificaram com o encerramento das centrais a carvão? A nível económico, ambiental e social.

4. Metodologia

De forma a analisar as variáveis que influenciaram ou são consequência do encerramento das centrais a carvão, foram recolhidos dados dos principais sites de dados estatísticos, EMBER, PORDATA, DGEG, Europe Beyond Coal e Trading Economics. Foram seis as principais variáveis estudadas, as emissões de GEE, o preço das licenças de emissões de CO₂, o número de centrais a carvão, os preços de eletricidade para utilizadores industriais, a potência instalada nas fontes renováveis e não renováveis e, por fim, o consumo de carvão.

Uma das variáveis a analisar foi o preço das licenças de emissões de CO₂. Os dados reunidos abordam o preço médio da licença por tonelada de CO₂, por ano, desde 2014 até 2021 em seis países da UE em conjunto com o número de toneladas de CO₂ emitidas, de forma a ser possível verificar o custo total das licenças de emissões por país. Consecutivamente, é fundamental estudar as emissões de GEE. Foram recolhidos dados que abordam as emissões de CO₂ nas centrais a carvão, de 2014 até 2021, em seis países. Esses países foram particularmente selecionados por serem os que têm maior número de centrais a carvão e, também, os que verificam maior índice de emissões de CO₂. A análise destas variáveis foi crucial para verificar a evolução dos preços das licenças de emissão e relacionar com as emissões de CO₂, de forma a obter o custo total que cada país suportou por contribuir negativamente com emissões de CO₂ para a atmosfera.

Outra variável essencial é o número de centrais a carvão que estão a ser encerradas por ano, por país. Para isso foram recolhidos dados que tratam o número de centrais encerradas desde 2005 até 2022 nos vários países da UE. O estudo desta variável teve como objetivo determinar se efetivamente o número de centrais a carvão tem vindo a diminuir tendo em conta as políticas implementadas ao longo dos anos.

De seguida, será utilizada outra variável importante que permite verificar o impacto do encerramento das centrais a carvão, que diz respeito à evolução dos preços médios de eletricidade desde 2008 até 2021 na UE. O estudo desta variável visa verificar a evolução dos preços de eletricidade como consequência do encerramento das centrais a carvão (variável anterior), dado que existe um maior investimento em energias alternativas.

Por outro lado, para perceber a realidade de Portugal, foi fundamental reunir dados sobre as fontes de energia renováveis e não renováveis de forma a verificar que fontes de energia têm vindo a obter maior ou menor investimento e consequentemente aumentar ou diminuir a sua potência instalada. Assim, os dados recolhidos abordam a potência instalada nas diferentes fontes de energia, desde 2008 até 2021, em megawatts.

Por fim, os dados reunidos para analisar o consumo de carvão em Portugal, representam os valores de carvão utilizado, em toneladas desde 2000 até 2021, para a produção de energia e para a indústria, em Portugal. Assim, este estudo tem como finalidade analisar o progresso da quantidade de carvão consumida nos últimos anos.

A análise de correlação foi o método utilizado para a análise das variáveis, através do Teste de Correlação de Pearson, uma vez que este mede a intensidade, ou seja, o grau de relação entre duas variáveis e é o teste mais prático para verificar essa relação. Este método foi implementado em duas situações distintas, primeiramente na análise do consumo de carvão na produção de energia e na indústria, em Portugal, através da relação da variável do consumo do carvão na indústria com a variável do consumo do carvão na produção de energia de forma a verificar se existe, ou não, relação linear entre as duas variáveis. (Se uma aumenta à medida que a outra diminui, se as duas aumentam ou diminuem na mesma proporção, etc). Foi utilizado, também, para analisar a potência instalada nas fontes de produção de energia, em Portugal, através do estudo da relação da variável potencia instalada nas fontes de energia renováveis com a variável potencia instalada nas fontes de energia não renováveis, se forma a verificar se existe alguma relação entre as duas variáveis.

A teoria empregue para a descrição do teste estatístico utilizados, nomeadamente o Teste de Correlação de Pearson, foi retirada do livro de Zaid (2015)

4.1. Análise de Correlação

A Análise de Correlação é um método em que se mede a relação entre duas variáveis. Isso resulta no denominado coeficiente de correlação, que mostra se as alterações numa variável (a variável independente) resultarão em alterações na outra (variável dependente).

A correlação é uma medida estatística que indica até que ponto duas ou mais variáveis são dependentes. Uma correlação positiva indica até que ponto essas variáveis aumentam ou diminuem em paralelo; uma correlação negativa indica até que ponto uma variável aumenta à medida que a outra diminui.

Esta análise não implica causalidade e pode haver um fator desconhecido que influencia ambas as variáveis de forma semelhante. Trata-se de uma técnica estatística que pode mostrar com que intensidade os pares de variáveis estão relacionados, embora essa correlação seja bastante óbvia, os seus dados podem conter correlações surpreendentes.

Uma análise de correlação bem estruturada pode levar a uma melhor compreensão dos dados, assim:

- A correlação é positiva ou direta quando os valores aumentam em paralelo;
- A correlação é negativa quando um valor diminui à medida que o outro aumenta, e é chamada de correlação inversa ou contrária.

O valor do coeficiente de correlação dependerá do grau de relacionamento linear entre as variáveis envolvidas, isto é, quanto mais próximo estiver dos extremos, maior será a associação entre as variáveis, sendo que:

- 1, indica uma correlação (associação linear) positiva perfeita;
- 0, indica a inexistência de correlação (associação linear) as variáveis são independentes;
- -1, indica uma correlação (associação linear) negativa perfeita.

Normalmente, em estatística, existem três tipos de correlações: correlação de Pearson, Correlação de classificação de *Kendall* e correlação de *Spearman*

É assumido o princípio de que as variáveis são independentes, supondo que foram selecionadas aleatoriamente da população. As duas, ou mais, variáveis seguem uma distribuição normal e a associação dos dados é homogênea, ou seja, têm o mesmo desvio padrão. Por outro lado, em diferentes grupos onde os dados são heterogêneos e têm diferentes desvios padrão, assume-se que a relação entre as variáveis é linear.

4.1.1. Correlação de Pearson

A correlação bivariada mede a relação entre duas ou mais variáveis, ou seja, a força entre elas. Essa força pode variar de valor absoluto entre 0 e 1, e quanto mais forte a relação, mais próximo o valor está de 1. Por outro lado, a direção pode ser positiva (direta) ou negativa (inversa ou contrária). Na correlação é descrito o efeito em que dois ou mais fenômenos ocorrem juntos e, portanto, estão ligados.

O coeficiente de correlação de Pearson é dado pela seguinte equação:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Onde, \bar{x} é a média do variável x; x são os valores do variável x; \bar{y} é a média da variável y; y são os valores da variável y.

5. Análise dos dados

5.1. Emissões de GEE das centrais a carvão.

A tabela abaixo representa uma visão geral da evolução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) medidas em unidades de CO₂ equivalente - CO₂e, provenientes das centrais de produção elétrica a carvão, por país na União Europeia de 2014 a 2021. É importante referir que estes dados são valores aproximados e podem variar dependendo das fontes utilizadas.

Tabela 1. Número de emissões de CO₂e, por país, MtCO₂e.

ANO	Emissões de CO ₂ e das centrais a carvão, por país, em Mtoneladas					
	Portugal	Alemanha	Polónia	Rep. Checa	França	Holanda
2014	10.1	270.5	129.1	39.4	9.1	25.6
2015	12.3	266.6	129	40.1	10.8	32.7
2016	10.6	257.1	128.1	41.9	10.6	29.6
2017	12.1	240.1	130.1	39.3	13.1	25.2
2018	10.2	228.6	127.3	37.4	7.9	21.9
2019	9.5	174.9	112.5	34.8	4.8	15.2
2020	6.6	140.4	103.8	29.7	2.9	6.8
2021	4.8	168.1	111.7	27.2	4.1	11.6

Fonte. Elaboração própria, com base nos dados da Europe Beyond Coal: European Coal Plant Database, consultados em março de 2023.

Os dados apresentados mostram uma clara tendência de redução das emissões de CO₂ das centrais a carvão, ao longo dos últimos anos. Vários países têm vindo a reduzir gradualmente a dependência desta fonte de energia devido às políticas climáticas que têm sido implementadas, à transição para fontes de energia mais limpas e às metas estabelecidas para a redução das emissões.

A evolução dos custos com as licenças de emissões de CO₂ pode variar ao longo do tempo e depender de diversos fatores, como a oferta e procura de licenças, políticas de precificação de carbono, metas de redução de emissões, entre outros.

Uma vez que os preços das licenças têm um impacto direto com os gastos que as centrais a carvão têm, é importante referir que estes podem variar entre os países membros da União Europeia, pois cada país tem uma alocação de licenças de emissão diferente com base nas suas metas de redução de emissões e na estrutura industrial.

Tabela 2. Custo por país das licenças de CO₂, por ano, em M€

ANO	Licença a €/tonC O ₂	Custo por país, por ano (M€)					
		Portugal	Alemanha	Polónia	Rep. Checa	França	Holanda
2014	6,0€	60	1 626	775	236	54	153
2015	7,7€	94	2 055	994	309	83	252
2016	5,4€	56	1 383	689	225	57	159
2017	5,9€	71	1 405	761	230	76	147
2018	16,0€	163	3 658	2 037	598	127	350
2019	24,9€	237	4 361	2 804	869	119	379
2020	25,0€	165	3 511	2 596	743	74	171
2021	45,0€	216	7 563	5 029	1 227	182	523

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da Europe Beyond Coal: European Coal Plant Database, consultados em março de 2023.

Posto isto, com a multiplicação das variáveis anteriores (emissões x preço médio das licenças de CO₂) obtemos os custos que a central a carvão de cada país tinha por contribuir negativamente para o ambiente. É possível verificar na tabela 2 que com o aumento dos preços das licenças de CO₂ as emissões diminuem, o que indica que os países estão a optar por fontes de energia mais competitivas e mais limpas ou então em tecnologia avançada nas centrais que faz com que emitem menos. Esta diminuição das emissões deve-se também ao encerramento de várias centrais a carvão ao longo dos anos. É importante referir que apesar das emissões das centrais a carvão nestes 6 países estarem a diminuir (tabela 2), o custo que obtém é maior dado ao aumento considerável do preço das licenças de emissão por tonelada de CO₂.

A Alemanha foi destacadamente o país com os maiores gastos com as licenças de CO₂ e consequentemente emitir mais emissões de CO₂. Teve uma indústria de extração de carvão importante, mas a produção diminuiu consideravelmente nas últimas décadas. O país ainda possui várias centrais a carvão e é um grande consumidor dessa fonte de energia. Tem implementado políticas para reduzir gradualmente sua dependência do carvão e tem planos para fechar todas as centrais de carvão até 2038.

De seguida, o país com mais gastos com as licenças de carbono é a Polónia. Isto deve-se pelo facto de ser um dos principais produtores e consumidores de carvão na União Europeia e o carvão desempenhar um papel fundamental na produção de eletricidade e na indústria do país. A Polónia tem sido um defensor da continuação do uso do carvão, embora também esteja a trabalhar para diversificar sua matriz energética e aumentar a participação de energias renováveis.

No que diz respeito a Portugal, apesar de ter tido apenas duas centrais a carvão (Pego e

Sines), este obteve o maior gasto com as licenças no ano 2018, cerca de 164 milhões de euros, sendo este o último ano em que as duas centrais estavam a trabalhar na sua plenitude.

5.2. Centrais encerradas na UE, ao longo dos anos

A análise da base de dados European Coal Plant Database, de 17 janeiro 2023, possibilitou a investigação do encerramento das centrais a carvão nos últimos anos. Esta análise é importante para verificar se o número de centrais a carvão a serem utilizadas tem vindo a diminuir, com a implementação das medidas de combate às alterações climáticas.

A tabela seguinte ilustra o número de centrais a carvão que foram encerradas desde 2005 até 2015, desde 2015 até 2022 e também a previsão de encerramentos para o período de 2023 a 2030.

Tabela 3. N° de centrais encerradas

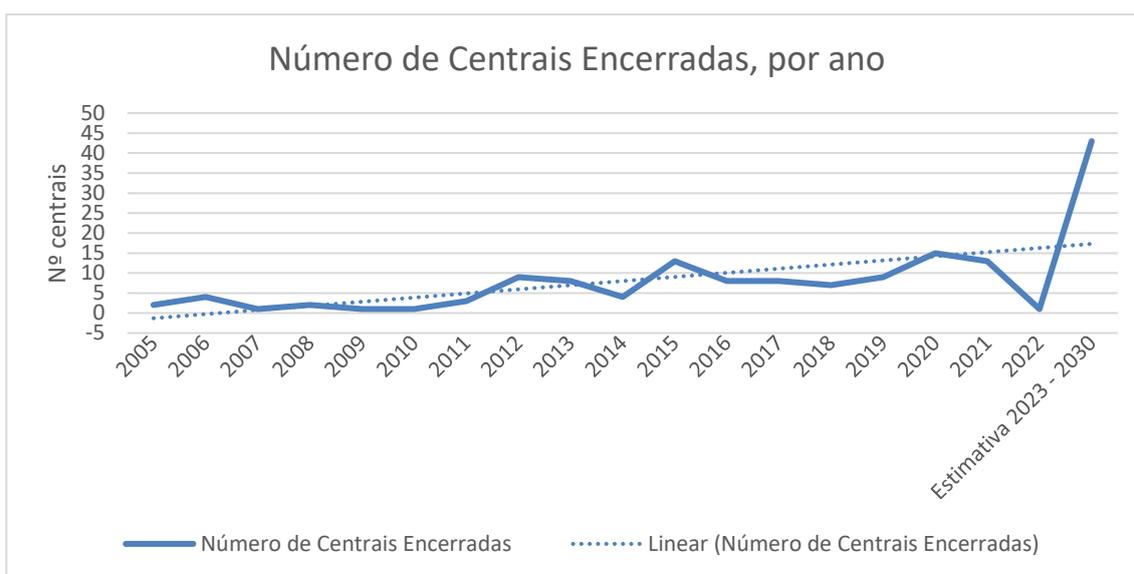
	N° de centrais encerradas	
2005 - 2015	48	44%
2015 - 2022	61	56%
Previsão 2023 - 2030	43	

Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da Europe Beyond Coal: European Coal Plant Database, consultados em Abril de 2023.

Como é possível verificar pela interpretação dos resultados acima, de 2005 a 2015 (10 anos) foram encerradas 48 centrais a carvão o que significa 44% das centrais encerradas. Por outro lado, de 2015 a 2022 (7 anos) foram encerradas cerca de 61 centrais a carvão, ou seja, 56% do número de encerramentos. Estima-se que de 2023 até 2030 sejam encerradas mais 43 centrais que utilizem carvão para a produção de energia. É importante salientar que esta previsão poderá sofrer alterações uma vez que que vários países estão a recuar na decisão de encerrar as centrais a carvão.

Verifica-se que após o acordo de Paris, em 2016, houve uma mudança de atitude o que se transmite no aumento do número de encerramentos, havendo maior número de encerramentos num número de anos menor. Assim o Acordo de Paris mudou toda a perspetiva de combate às alterações climáticas.

Figura 8. Número de centrais encerradas, por ano, na UE



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da Europe Beyond Coal: European Coal Plant Database, consultados em abril de 2023.

O gráfico acima permite confirmar que o número de centrais a carvão encerradas tem vindo a aumentar, sendo esse aumento mais significativo desde 2015. Em 2015 e em 2013 foram encerradas 13 centrais a carvão, mas o número máximo foi atingido em 2020 com 15 centrais encerradas.

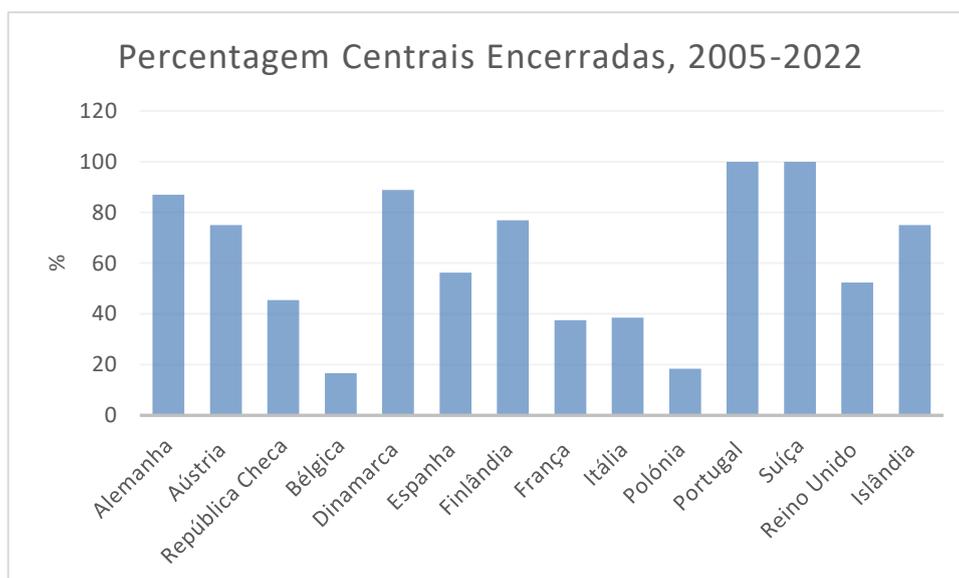
Relativamente a Portugal, as duas centrais a carvão existentes no país foram encerradas em 2021, juntamente com seis centrais da Alemanha, uma da Espanha e duas da França. (Coal, 2023)

A avaliação do nº de centrais é relevante de um ponto de vista ambiental, mas em termos económicos é também importante conhecer a proporção destas centrais no total de centrais de um país. O gráfico em baixo indica a percentagem de centrais a carvão que foram encerradas em cada país da UE, desde 2005 até 2022. O cálculo dessa percentagem resulta da divisão do número de centrais encerradas pelo número total de centrais existentes em cada país, o que nos permite ver o impacto que esta energia tinha nos sistemas elétricos nacionais, e o esforço em mudar para energias alternativas

É possível verificar que tanto Portugal, que tinha duas centrais, quanto a Suíça que tinha somente uma central, atingiram 100% do número de centrais a carvão encerradas. Seguindo-se a Dinamarca com 88,9% e a Alemanha com 86,8%, sendo a Alemanha o país com maior número de centrais a carvão, ou seja, 59 centrais encerradas num total de 69 existentes. Este número considerável da Alemanha poderá sofrer alterações uma vez que há a necessidade da reativação de algumas centrais a carvão de forma a corresponder às necessidades de toda a União Europeia

no curto-prazo.

Figura 9. Centrais a carvão encerradas por País, % do total, 2005-2022



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da Europe Beyond Coal: European Coal Plant Database, consultados em abril de 2023.

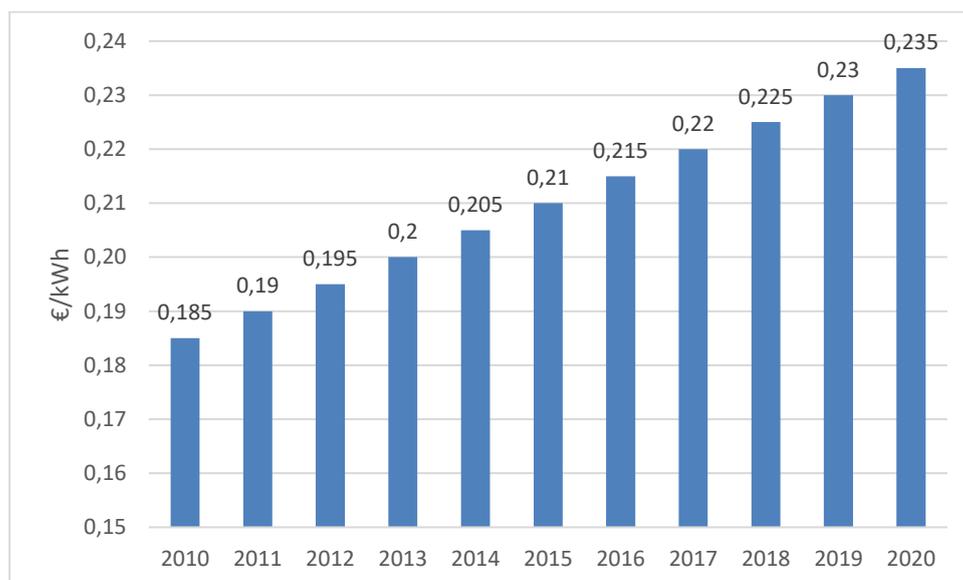
Por outro lado, os países que têm menor percentagem de encerramento das suas centrais são a Polónia com 18,4%, apenas 9 centrais encerradas, e a Bélgica com 16,7%, ou seja, apenas uma central encerrada.

5.3 Preços de eletricidade para utilizadores industriais na UE

O preço da eletricidade é uma variável fundamental para observar o impacto do encerramento das centrais a carvão. Para analisar a evolução dos preços ao longo dos últimos anos, foram recolhidos dados desde 2008 até 2021 sobre o preço da eletricidade em onze países da UE e, também, dados sobre a média dos preços na UE desde 2010 até 2021.

A figura 10 representa a evolução do preço médio da eletricidade na UE. É possível verificar que o preço da eletricidade tem aumentado gradualmente ao longo dos últimos anos, sendo que o valor médio em 2010 era de 0,185€/kWh e em 2021 passou a ser 0,235€/kWh. Todos os anos tem existido um ligeiro aumento no preço da eletricidade, em valores médios, na União Europeia.

Figura 10. Preço médio da eletricidade na EU, € por kWh



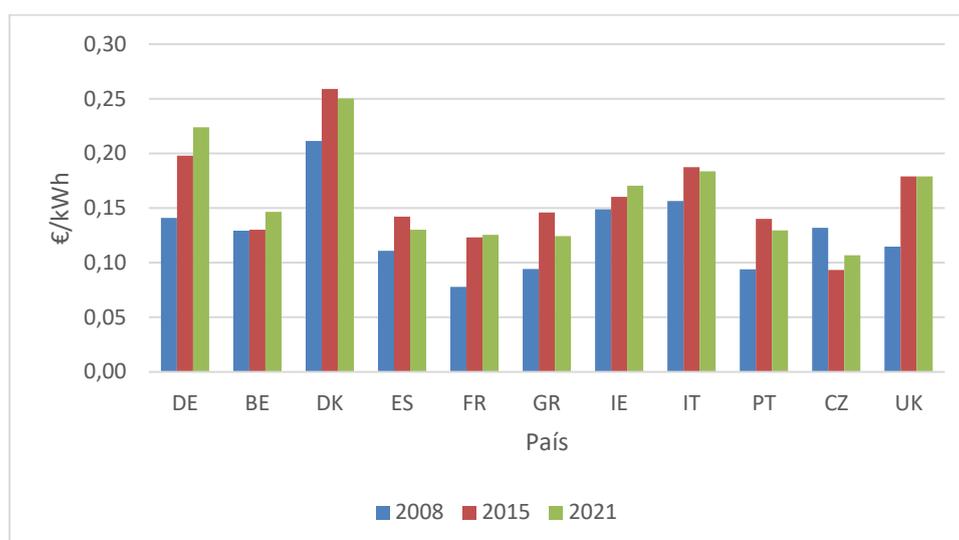
Fonte. Elaboração própria, com base nos dados do PORDATA, consultados em março de 2023.

Como foi possível verificar anteriormente, o preço médio da eletricidade tem vindo a aumentar na UE. Assim, para perceber o impacto que os preços estão a sofrer em alguns dos países, vê-se na Figura 11 o preço da eletricidade em 2008, 2015 e 2021, sucessivamente.

É verificável que é generalizado o aumento do preço em 2021 comparativamente a 2008 em todos os países analisados, exceto na República Checa onde o preço em 2008 era 0,13€/kWh e em 2021 passou a ser 0,11€/kWh.

O preço máximo atingido na eletricidade foi de 0,26€/kWh, na Dinamarca em 2015, e o preço mínimo foi 0,08€/kWh na França em 2008.

Figura 11. Preço da eletricidade por país, em €/ kWh.



Fonte. Elaboração própria, com base nos dados do PORDATA, consultados em março de 2023.

Em alguns países como a Dinamarca, Espanha, Grécia, Itália e Portugal, o preço da eletricidade em 2015 foi superior a 2008 e a 2021, sendo a diferença de valor em comparação com 2021 bastante baixa.

O preço máximo atingido na eletricidade foi de 0,26€/kWh, na Dinamarca em 2015, e o preço mínimo foi 0,08€/kWh na França em 2008.

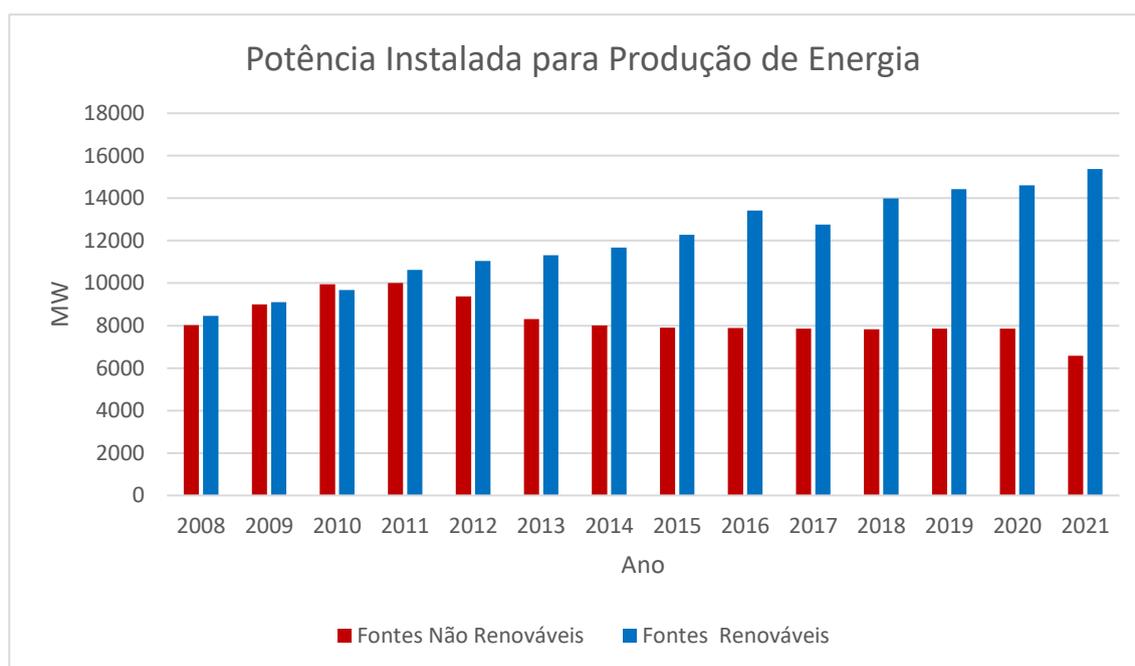
5.4. Potência instalada nas fontes de produção de energia, em Portugal.

Ao longo dos anos desenvolveram-se novas fontes de produção de energia, nomeadamente, fontes de energia renováveis que foram consequência da evolução da tecnologia e dos problemas ambientais.

De forma a analisar o desenvolvimento da utilização das diferentes fontes de energia, recorreu-se à base de dados extraída do DGEG. Esses dados representam a potência instalada nas diferentes centrais de produção de energia, em MW, desde 2008 até 2021, em Portugal.

A Figura 12, representa uma parte dos dados sobre a utilização de diferentes fontes para a produção de energia elétrica em Portugal, ao longo dos anos. De uma forma sintetizada, está exibida a potência instalada nas centrais, em MW, nas fontes de energia não renovável e renovável de 2008 até 2021.

Figura 12. Potência instalada para Produção de Energia em Portugal



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da DGEG, consultados em março de 2023.

É possível identificar que se verifica uma ligeira redução, ao longo dos anos, da utilização de fontes de energia não renováveis como o carvão e o gás natural. Por outro lado, em relação às fontes de energia renováveis, como hídrica, eólica, fotovoltaica, biomassa, biogás e geotérmica, é possível verificar que a sua utilização tem vindo a aumentar de forma progressiva.

Em 2021, verificaram-se em Portugal os melhores resultados relativamente à potência instalada nas centrais produtoras de energia. Atingindo o menor valor nas fontes não renováveis, 6587 MW, e o maior valor nas fontes renováveis, 15370 MW. Dado o contexto de que atualmente não há possibilidade de usar o carvão (energias fósseis) e neste enquadramento é possível dizer que as alternativas são as renováveis.

É possível concluir que, na última década, a utilização das centrais a carvão diminuiu e a potência instalada nas fontes de produção de energia renováveis aumentou, essa diferença é mais acentuada nos últimos anos.

A implementação do Teste de Correção de Pearson permite determinar se existe relação linear entre a utilização de fontes renováveis e não renováveis para a produção de energia elétrica. Permitindo analisar se o aumento da utilização de fontes renováveis faz variar de forma positiva ou negativa, a utilização das fontes não renováveis.

Portanto, relacionar a evolução das fontes de energias renováveis, ao longo dos anos, com as fontes de energias não renováveis torna-se relevante para este estudo.

Correlações

		Não Renovável	Renovável
Não Renovável	Correlação de Pearson	1	-,688**
	Sig. (2 extremidades)		,007
	N	14	14
Renovável	Correlação de Pearson	-,688**	1
	Sig. (2 extremidades)	,007	
	N	14	14

** . A correlação é significativa no nível 0,01 (2 extremidades).

- Hipótese nula: $\rho = 0$, ou seja, não existe relação linear entre as variáveis (as variáveis são independentes).
- Hipótese alternativa: $\rho \neq 0$, ou seja, existe relação linear entre as variáveis.

Pode-se concluir, com o Teste de Correlação de Pearson, que existe correlação negativa entre as variáveis e esse valor é igual a $\rho = -0,688$. Ou seja, rejeitamos a hipótese nula e aceitamos a hipótese alternativa, as variáveis não são independentes e por isso a correlação é diferente de zero.

Isto significa que, à medida que aumenta o uso das fontes de energias renováveis, diminui o uso das fontes de energias não renováveis. Ou seja, à medida que se aumenta a utilização de fontes de produção de energia como hídrica, eólica, fotovoltaica, biomassa e geotérmica, diminui a utilização de fontes como centrais a carvão e gás natural.

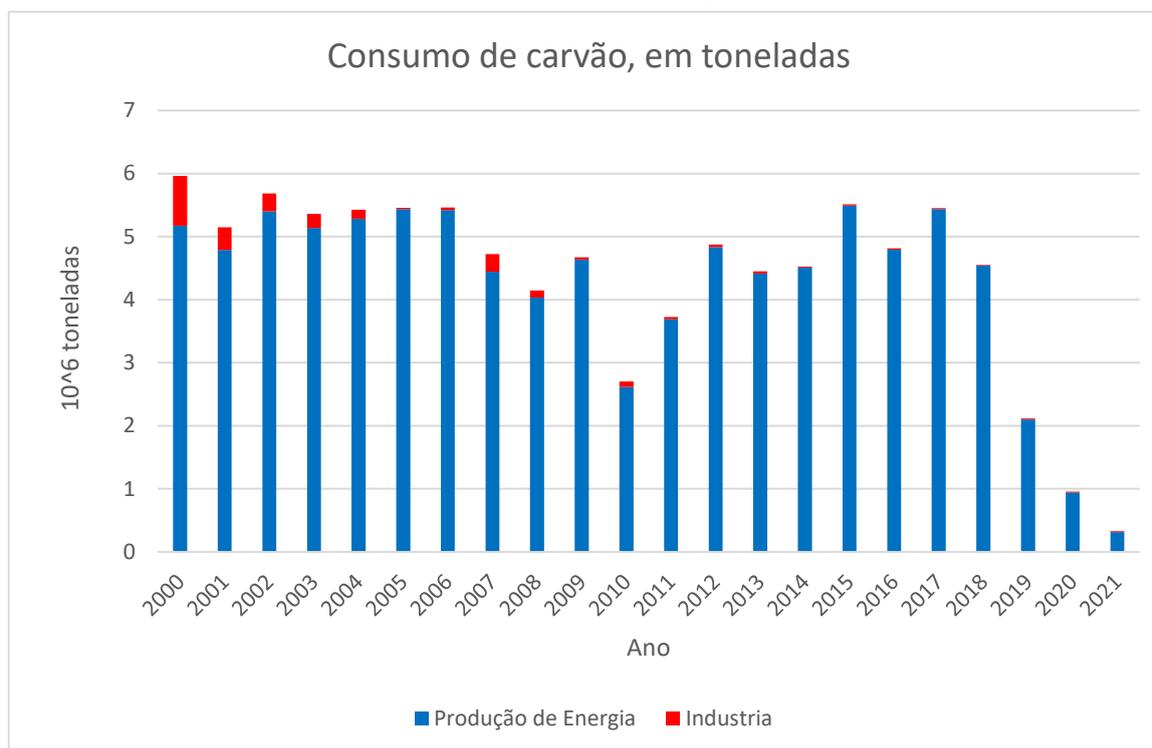
5.5. Consumo de carvão na produção de energia e na indústria, em Portugal.

Como já foi abordado anteriormente, a principal variável para este estudo é a utilização do carvão, nomeadamente, o uso das centrais a carvão. De forma a permitir analisar o consumo do carvão para a produção de energia elétrica e para a indústria, recorreu-se ao estudo de uma base de dados.

A base de dados utilizada exhibe os valores, em toneladas, de carvão utilizado na produção de eletricidade e na indústria, desde o ano de 2000 até 2021.

Assim, o gráfico que se segue apresenta os valores do consumo de carvão na produção de energia e na indústria, ao longo dos anos, em Portugal.

Figura 13. Consumo de carvão em Portugal, em 10⁶ toneladas.



Fonte: Elaboração própria, com base nos dados da DGEG, consultados em março de 2023.

Em 2015 foi o ano que se verificou maior consumo de carvão para produzir energia elétrica, sendo esse valor de 5 493 895 toneladas, por outro lado, em 2000 foi quando se verificou maior número de toneladas no consumo de carvão para a indústria, cerca de 792 169 toneladas.

Relativamente ao menor valor de toneladas de carvão consumidas no ano, em 2021 utilizaram-se apenas 314 818 toneladas de carvão para produzir eletricidade e 13 647 toneladas para a indústria. Ao longo de 20 anos, a redução do consumo de carvão na indústria foi de 172% e na produção de energia elétrica de 608%.

É possível verificar que a maior redução do número de toneladas de carvão utilizado para produzir energia elétrica, é a partir de 2019. Por outro lado, em relação à indústria essa redução é contínua desde 2013.

O Teste de Correlação de Pearson permite relacionar a evolução do consumo de carvão para a produção de energia, ao longo dos anos, com o consumo de carvão para a indústria, para verificarmos de existe, ou não, relação linear entre as duas variáveis.

		Produção Energia	Industria
Produção Energia	Correlação de Pearson	1	,270
	Sig. (2 extremidades)		,224
	N	22	22
Industria	Correlação de Pearson	,270	1
	Sig. (2 extremidades)	,224	
	N	22	22

- Hipótese nula: $\rho = 0$, ou seja, não existe relação linear entre o consumo de carvão na produção de energia e na indústria (as variáveis são independentes).
- Hipótese alternativa: $\rho \neq 0$, ou seja, existe relação linear entre o consumo de carvão na produção de energia e na indústria.

Podemos concluir, com o Teste de Correlação de Pearson, que a correlação das duas variáveis é igual a $\rho = 0,270$. Ou seja, existe correlação positiva entre as variáveis e, por isso, rejeitamos a hipótese nula e aceitamos a hipótese alternativa, as variáveis são dependentes.

Isto significa que, à medida que aumenta o uso de carvão para produzir energia, também aumenta o uso do carvão para a indústria. O contrário também se verifica, quando o uso do carvão para a produção de eletricidade diminui, também diminui o uso do carvão para a indústria.

Este facto é verificado também com a análise do gráfico anterior uma vez que ao longo dos anos diminuiu o uso do carvão nas duas variáveis, mesmo que em proporções diferentes.

6. Conclusões

A produção de energia é influenciada por vários fatores, como por exemplo a evolução dos preços dos combustíveis fósseis, neste caso do carvão, as responsabilidades da proteção climática, em relação às emissões de CO₂, o preço das licenças de emissão de CO₂ e o rápido desenvolvimento da produção de energia renovável, através de fontes renováveis.

De acordo com vários estudos, a viabilidade económica, social e ambiental das centrais a carvão tornou-se questionável nos últimos anos, o que fez com que o seu encerramento seja uma opção importante ou mesmo inevitável. Assim, de forma a implementar com sucesso o mecanismo de eliminação progressiva do carvão, é essencial garantir a estabilidade do sistema energético e a segurança do seu abastecimento mantendo os princípios de uma transição justa.

Com a análise e interpretação de estudos prévios, foi possível compilar as vantagens e desvantagens do encerramento das centrais a carvão. Uma das desvantagens é o efeito negativo nos preços da eletricidade, o que levou a consequências macroeconómicas prejudiciais, assim como o efeito no setor da energia em geral e no mercado da eletricidade em particular. Essas consequências macroeconómicas incluem o PIB, preços da eletricidade, desemprego, investimento em alternativas, bem como as contas do setor público e do setor externo. Por outro lado, a vantagem mais expressiva é o efeito significativo a nível ambiental, o impacto do CELE foi primordial, nomeadamente na produção de eletricidade para a diminuição significativa das emissões de CO₂.

A decisão de encerrar as centrais a carvão vai ao encontro do que é pretendido com a estratégia de descarbonização, e foi tomada num contexto em que a produção de energia depende cada vez mais de fontes renováveis e há muita preocupação relativa às questões ambientais. Além disso, o aumento do custo da produção de energia a carvão, assim como, o aumento do preço das licenças de emissões de CO₂, aliado ao agravamento da carga fiscal, fez diminuir de forma significativa as perspetivas do funcionamento das centrais a carvão.

Apesar dos equipamentos de despoluição instalados, nomeadamente da captura e armazenamento de carvão, as centrais a carvão continuam a ser uma fonte considerável de emissão de diversos poluentes, como os óxidos de azoto, dióxido de enxofre, partículas e metais pesados, cujas quantidades lançadas para a atmosfera em sofrerão agora uma redução importante.

Por outro lado, o aparecimento e o aumento, da utilização de fontes de energia alternativas mais sustentáveis como, as fontes de energias renováveis (eólica, solar, hídrica, principalmente) têm contribuído para a diminuição das fontes de energia não renováveis. As

fontes de energia não renováveis são finitas ou esgotáveis, e é a este grupo que pertence o carvão. A sua reposição na natureza é muito lenta, pois resulta de um processo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão. Quanto mais usarmos as fontes de energia não renováveis, menos teremos no stock total do planeta.

Em suma, o encerramento progressivo das centrais elétricas a carvão na União Europeia representa um marco crucial rumo à transição energética sustentável. Através da implementação de estratégias bem definidas e graduais, a exclusão do carvão como fonte de eletricidade visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa, mitigar os impactos das mudanças climáticas e promover a preservação ambiental. Neste contexto, é de extrema importância conduzir uma análise aprofundada dos impactos sociais e económicos decorrentes da reforma do setor do carvão, de modo a garantir uma transição justa e equitativa para as comunidades locais afetadas. Através do estabelecimento de medidas adequadas de apoio e requalificação, é possível assegurar que os trabalhadores e as regiões afetadas sejam devidamente acompanhados no processo de transição.

Para alcançar o sucesso na implementação desta mudança estrutural, é essencial o empenho em desenvolver incentivos e políticas que estimulem a descarbonização nos mercados emergentes ainda dependentes do carvão. A promoção de energias renováveis e soluções de baixo carbono desempenha um papel crucial na construção de um futuro energético mais limpo e sustentável. Por conseguinte, a União Europeia deve continuar a liderar pelo exemplo, adotando medidas concretas e alinhadas com os compromissos internacionais para combater as alterações climáticas. A transição para uma economia de baixo carbono implica desafios, mas também representa uma oportunidade para o desenvolvimento tecnológico, a inovação e o crescimento económico sustentável.

Em conclusão, o encerramento das centrais elétricas a carvão na UE é um passo essencial no caminho rumo a um futuro mais verde, resiliente e próspero para as gerações presentes e futuras. Mediante uma atuação concertada e determinada, a Europa pode continuar a ser uma referência global no combate às mudanças climáticas e na construção de um mundo mais sustentável.

7. Referências Bibliográficas

- Ambiente, A. P. (s.d.). *Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE)*. Obtido de Agência Portuguesa do Ambiente: <https://apambiente.pt/clima/comercio-europeu-de-licencas-de-emissao-cele>, consultado em julho 2023.
- Böhringer, C., & Rosendahl, K. (2022). Europe beyond coal – An economic and climate impact assessment. *Journal of Environmental Economics and Management*. Volume 113, página 2. Consultado em maio de 2022.
- Chan, R., Fell, H., Lange, I., & Li, S. (2017). Efficiency and environmental impacts of electricity restructuring on coal-fired power plants. *Journal of Environmental Economics and Management*. Volume 81, página 1-18. Consultado em junho de 2022.
- Chestney, N. (2020). *Reuters*. Obtido de Nearly half of global coal plants will be unprofitable this year: Carbon Tracker. Consultado em dezembro 2022.
- Coal, E. B. (2023). *Fossil Fuels*. Obtido de Europe Beyond Coal. Consultado em dezembro de 2022
- ERSE. (s.d.). *Mercado Elétrico*. Obtido de Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/mercado/>. Consultado em maio de 2022.
- European Commission*. (2020). Obtido de Coal regions in transition: https://energy.ec.europa.eu/topics/oil-gas-and-coal/eu-coal-regions/coal-regions-transition_en. Consultado em maio de 2022.
- European Commission*. (s.d.). Obtido de EU Emissions Trading System (EU ETS): https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en. Consultado em junho de 2023.
- Finkelman, R., Wolfe, A., & Hendryx, M. (2021). The future environmental and health impacts of coal. *Energy Geoscience*. Volume 2, página 99-112. Consultado em maio de 2022.
- Gillich, A., Hufendiek, K., & Klempp, N. (2020). Extended policy mix in the power sector: How a coal phase-out redistributes costs and profits among power plants. *Energy Policy*. Volume 147. Consultado em maio de 2022.
- Greiner, P. T., York, R., & MacGee, J. A. (2018). Snakes in The Greenhouse: Does increased natural gas use reduce carbon dioxide emissions from coal consumption? *Energy Research & Social Science*. Volume 38, página 53-57. Consultado em dezembro de 2022.

- IPCC. (2021). *Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Obtido de IPCC: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>. Consultado em maio de 2022.
- Jindal, A., & Shrimali, G. (2022). Cost–benefit analysis of coal plant repurposing in developing countries: A case study of India. *Energy Policy*. Volume 164. Consultado em junho de 2022.
- Jones, D. (31 de janeiro de 2023). *European Electricity Review 2023*. Obtido de EMBER: <https://ember-climate.org/insights/research/european-electricity-review-2023/>. Consultado em abril de 2023.
- Keles, D., & Yilmaz, H. (2020). Decarbonisation through coal phase-out in Germany and Europe — Impact on Emissions, electricity prices and power production. *Energy Policy*. Volume 141. Consultado em junho de 2022.
- Lohwasser, R., & Madlener, R. (2012). Economics of CCS for coal plants: Impact of investment costs and efficiency on market diffusion in Europe. *Energy Economics*. Volume 34, página 850-863. Consultado em junho de 2022.
- Maamoun, N., Kennedy, R., Jin, X., & Urpelainen, J. (2020). Identifying coal-fired power plants for early retirement. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 126. Consultado em maio de 2022.
- Mei, Y., Gao, L., Zhang, W., & Yang, F.-A. (2021). Do homeowners benefit when coal-fired power plants switch to natural gas? Evidence from Beijing, China. *Journal of Environmental Economics and Management*. Volume 110. Consultado em julho de 2022.
- Rivera, N., & Loveridge, S. (2022). Coal-to-gas fuel switching and its effects on housing prices. *Energy Economics*. Volume 106. Consultado em junho de 2022.
- Sampedro, Cui, McJeon, Smith, Hultman, He, . . . Cazcarro. (2021). Quantifying the reductions in mortality from air-pollution by cancelling new coal power plants. *Energy and Climate Change*. Volume 2. Consultado em junho de 2022.
- Scientists, U. o. (9 de July de 2019). *Coal Power Impacts*. Obtido de Union of Concerned Scientists. Consultado em março de 2023.
- Tristan, E., & Bowyer, J. (2021). *Fast Erosion of Coal Plant Profits in the National Electricity Market*. página 1-10. Consultado em março de 2023.
- Wilde, R. (5 de abril de 2023). *Coal Demand and the Industrial Revolution*. Obtido de ThoughtCo: <https://www.thoughtco.com/coal-in-the-industrial-revolution-1221634>. Consultado em abril de 2023.
- Zaid, M. (2015). *Correlation and Regression Analysis*. Consultado em maio de 2022.

