



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Modelação e Previsão do Consumo Energético: Tendências e Perspetivas no Contexto Português

Ana Beatriz da Mata Bernardo

Mestrado em Tecnologias Digitais para o Negócio

Supervisor:

Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar (Com agregação),
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Mestre Bruno Alexandre Mateus Francisco, Assistente Convidado,
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Dezembro, 2023

Modelação e Previsão do Consumo Energético: Tendências e Perspetivas no Contexto Português

Ana Beatriz da Mata Bernardo

Mestrado em Tecnologias Digitais para o Negócio

Supervisor:

Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar (Com agregação),
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Mestre Bruno Alexandre Mateus Francisco, Assistente Convidado,
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Dezembro, 2023

Agradecimento

Gostaria de exprimir os meus agradecimentos a diversas pessoas que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

Aos meus orientadores, João Carlos Ferreira e Bruno Alexandre Francisco, pela total disponibilidade e orientação, pelo apoio e ajuda incondicional ao longo deste processo.

Ao Rafael Fernandes, à Sara Fonseca e à Cláudia Figueiredo, pela motivação, pelo companheirismo e por me manterem no rumo nos momentos mais complicados.

Aos meus colegas de mestrado, que foram incansáveis e que mostraram um espírito de equipo e um foco incomparável.

Aos meus pais e familiares pelo suporte e dedicação, pela orientação e incentivo durante os desafios e triunfos desta jornada.

Por fim, dedico um agradecimento especial a todos aqueles cujas contribuições, diretas ou indiretas, não foram mencionadas especificamente, mas foram essenciais para a conclusão deste projeto.

Resumo

A energia é um dos alicerces essenciais da sociedade, essencial para sustentar e estimular todos os setores da atividade. Esta garante o funcionamento de tudo o que é possível encontrar no dia-a-dia. Esta dissertação pretende dar conhecimento da situação energética em Portugal: através do consumo de energia total, em especial o consumo de energias renováveis; e observar as diferentes características energéticas dos municípios ao longo do país.

Foi possível concluir que estes dados são sazonais, com uma tendência positiva, e que os valores tanto de consumo como o preço tiveram uma grande variação durante o COVID-19 e a guerra em 2022. Os municípios de Lisboa e Porto lideram o top dois do consumo total em quase todas as categorias, sendo ultrapassados apenas pela Figueira da Foz e Setúbal no consumo da Indústria e da Agricultura.

Utilizando séries temporais, foram realizados dois modelos de predição. Para o modelo de consumo, foi utilizado o procedimento Prophet. Este demonstrou um bom desempenho, capaz de se adaptar adequadamente a grandes alterações (como o caso do COVID-19 ou a guerra). Relativamente ao modelo de predição de preço diário, foi utilizada a rede neuronal LSTM, devido a uma grande alteração de comportamento dos dados nos últimos anos disponibilizados. Esta foi capaz de acompanhar as tendências, mantendo níveis de precisão comparáveis ao conjunto de teste.

Palavras-chave: Análise Predição, Machine Learning, Séries Temporais, Energia, Consumo

Abstract

Energy is one of the pillars of society, essential to sustain and stimulate every sector. This assures the functioning of everything we find in our day-to-day. This dissertation aims to explore the energy context in Portugal, through the production and consumption of energy, with a focus on renewable energies. Along with that, it has the objective of observing the energy characteristics of the municipalities across the country, along with daily energy prices.

It was possible to conclude that the data is seasonal, with a positive trend, and that both the consumption and price values had large changes during COVID-19 and the 2022 war. The municipalities of Lisbon and Porto led the top two in terms of consumption and almost every other category, being surpassed only by Figueira da Foz and Setúbal, in consumption for Industry and Agriculture.

Using time series, two prediction models were performed. For the consumption model, the Prophet procedure was used. This procedure had a good performance, able to adequately adapt to large changes (such as with COVID-19 or the war). In regards to the daily price prediction model, the neural network LSTM was used, due to a large behavioral change in the data in the last available years. This neural network was able to follow trends, keeping precision levels comparable to the sample tests.

Keywords: Prediction Analysis, Machine Learning, Time Series, Energy, Consumption

Índice

AGRADECIMENTO	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XII
NOTAÇÕES	XIII
INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. METODOLOGIA CRISP DM	3
1.4. ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1. INTRODUÇÃO	7
2.2. CONSUMO DE ENERGIA	10
2.3. SUSTENTABILIDADE E ENERGIAS RENOVÁVEIS	10
2.4. PANDEMIA COVID 19 E GUERRA	11
2.5. PREÇOS DE ENERGIA	12
3. ANÁLISE DE DADOS DE ENERGIA ELÉTRICA	13
3.1. INTRODUÇÃO	13
3.2. COMPREENSÃO DO NEGÓCIO	13
3.2.1. <i>Produção de Energia Elétrica em Portugal</i>	14
3.2.2. <i>Transporte, Distribuição e Comercialização em Portugal</i>	16
3.2.3. <i>Consumo de Energia Elétrica em Portugal</i>	18
3.3. COMPREENSÃO DOS DADOS	20
3.3.1. <i>Consumo geral de energia em Portugal</i>	20
3.3.2. <i>Consumo elétrico em Portugal por regiões</i>	20
3.3.3. <i>Fontes de energia renovável em Portugal</i>	20
3.3.4. <i>Preço da energia elétrica em Portugal</i>	21
3.4. PREPARAÇÃO DOS DADOS	21
3.4.1. <i>Consumo total de energia em Portugal</i>	21
3.4.2. <i>Consumo elétrico em Portugal por regiões</i>	22
3.4.3. <i>Fontes de energia renovável em Portugal</i>	23
3.4.4. <i>Preço da energia elétrica em Portugal</i>	23
4. ANÁLISE E MODELAÇÃO DE RESULTADOS	25
4.1. CONSUMO TOTAL DE ENERGIA EM PORTUGAL	25
4.1.1. <i>Modelação</i>	28
4.2. CONSUMO ELÉTRICO EM PORTUGAL POR REGIÕES	31
4.3. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEL EM PORTUGAL	34
4.4. PREÇO DA ENERGIA ELÉTRICA EM PORTUGAL	36
4.4.1. <i>Modelação</i>	40

CONCLUSÃO	43
5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES	43
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	44
REFERÊNCIAS.....	45
ANEXOS.....	49

Índice de Figuras

Figura 1: Inflação HICP na zona Euro e Portugal – mudança anual de percentagem e contribuição pp	2
Figura 2: Metodologia CRISP DM	4
Figura 3: Nº de documentos da base de dados Scopus referente a consumo de energia e energia renovável:	7
Figura 4: Produção de Eletricidade em Portugal	15
Figura 5: Comparação com a Europa	16
Figura 6: Evolução do consumo total de energia em Portugal	18
Figura 7: Evolução entre 2011 e 2021 dos diferentes setores de consumo em Portugal	19
Figura 8: Representação Visual das Tendências de Consumo de Energia em Portugal	26
Figura 9: Consumo de energia em Portugal entre 2019 e 2022, em GWh	27
Figura 10: Comparação da previsão realizadas com os valores reais	29
Figura 11: Métricas dos resultados obtidos para o modelo de consumo	30
Figura 12: Previsão do consumo de energia durante o primeiro mês da Pandemia e durante o primeiro mês da guerra	30
Figura 13: Representação Visual das Tendências de Consumo de Energia por Município	32
Figura 14: Representação Visual das Tendências de Consumo de Energia por Setor de Atividade	33
Figura 15: Representação Visual das tendências de consumo de energias renováveis	34
Figura 16: Evolução do Balanço Energético	35
Figura 17: Produção Média de Quatro Tipos de Energias Renováveis por Mês	36
Figura 18: Evolução Mensal e Anual do Preço Médio Diário de Energia em Portugal	37
Figura 19: Representação Visual das Tendências do Preço Médio Diário de Energia em Portugal em três grandes períodos temporais (2010-2019, 2020-2021, 2022-2023)	38
Figura 20: Comparação das Tendências do Preço Médio Diário em três grandes períodos temporais (2010-2019, 2020-2021, 2022-2023)	39
Figura 21: Representação Visual das Tendências do Preço Médio Diário de Energia de Portugal comparativamente com a Europa	40
Figura 22: Métricas dos resultados obtidos para o modelo de predição de preços diários inicial	41
Figura 23: Métricas dos resultados obtidos para o modelo de predição de preços diários final	41
Figura 24: Autocorrelação e Análise da Componente Sazonal	53

Índice de Tabelas

Tabela 1: Tabela Resumo dos Artigos Relevantes	8
Tabela 2: Tipo produção de energia com base na sua fonte de energia.....	14
Tabela 3: Metadados da tabela Consumo Geral de Energia em Portugal	49
Tabela 4: Metadados da Tabela Tipo de Consumo per Capita.....	50
Tabela 5: Metadados Tabela Produção - Energia Renovável.....	51
Tabela 6: Metadados Tabela Consumo - Energia Renovável.....	52
Tabela 7: Metadados Tabela Preços de Energia.....	52

Notações

ASEAN – *Association of Southeast Asian Nations*

AT – Alta Tensão

BCE – Banco Central Europeu

BT – Baixa Tensão

COVID 19 - Doença Infeciosa Provocada Pelo Vírus SARS-CoV-2

CRISP DM - *Cross-Industry Standard Process for Data Mining*

GWh – Gigawatt/Hora

HICP - *Harmonized Index of Consumer Prices* (Índice Harmonizado de Preços ao Consumidor)

IoT – *Internet of Things*

KTEP – Quilo Toneladas de Equivalente a Petróleo

MAE - *Mean Absolute Error* (Erro Médio Absoluto)

MAPE - *Mean Absolute Percentage Error* (Erro Percentual Médio Absoluto)

MT – Média Tensão

Mtoe - *Mega Tonnes of Oil Equivalent*

MWh – Megawatt/Hora

OECD - *Organisation for Economic Co-operation and Development*

RMSE – *Root Mean Square Error* (Erro Quadrado Médio ou Desvio Padrão)

SIES – *Simple Index of Energy Sustainability*

TIC – Tecnologias de Informação e Comunicação

UE – União Europeia

CAPÍTULO 1

Introdução

O objetivo desta dissertação é contextualizar o tópico da energia, bem como a motivação do tema para a dissertação. Além disso, são caracterizados os objetivos e a descrição do CRISP DM, a metodologia utilizada. Por fim, é apresentada a estrutura da presente dissertação.

1.1. Contexto

O setor energético representa um dos pilares fundamentais da sociedade, sendo o motor a todos os aspetos tangíveis e concebíveis do mundo. Desde a esfera da tecnologia e indústria até o setor do turismo e medicina, todos eles dependem de um recurso aparentemente simples, porém essencial: a energia. Seja ela derivada de fontes tradicionais, como os combustíveis fósseis, ou de fontes mais sustentáveis e renováveis, a energia desempenha um papel crítico no dia-a-dia. No entanto, essa importância vital passa frequentemente despercebida na sociedade e é muitas vezes tida como algo garantido.

A guerra veio relembrar a importância que esta área tem, para cada país no planeta. Este conflito afetou diretamente a economia global, em especial através dos mercados da energia e da alimentação, com uma redução de procura e ao mesmo tempo um aumento no seu preço [1]. Os países da União Europeia sentiram fortemente esses efeitos, devido a grande dependência desses mercados por meio de importações. A escassez de alimentos foi notável, refletida pelas prateleiras vazias nos supermercados, enquanto os preços aumentaram consideravelmente.

Na Figura 1, encontra-se um gráfico com a comparação da inflação de Portugal e a zona euro com o ano anterior. É possível verificar que existiu uma redução em 2020, ano em que o COVID-19 teve os primeiros casos em Portugal, além de um aumento substancial em 2022, ano em que começou a guerra. Os HICP atuais alcançaram picos históricos, marcando a primeira vez neste século em que atingiram uma média anual de inflação de 8.1% [2].

Esta crise global de energia ampliou os pedidos para uma “transição energética acelerada”, ou seja, para a mudança da utilização de combustíveis fósseis para as fontes de energia alternativas mais rápida e uma consequente independência dos países produtores de energias não renováveis.

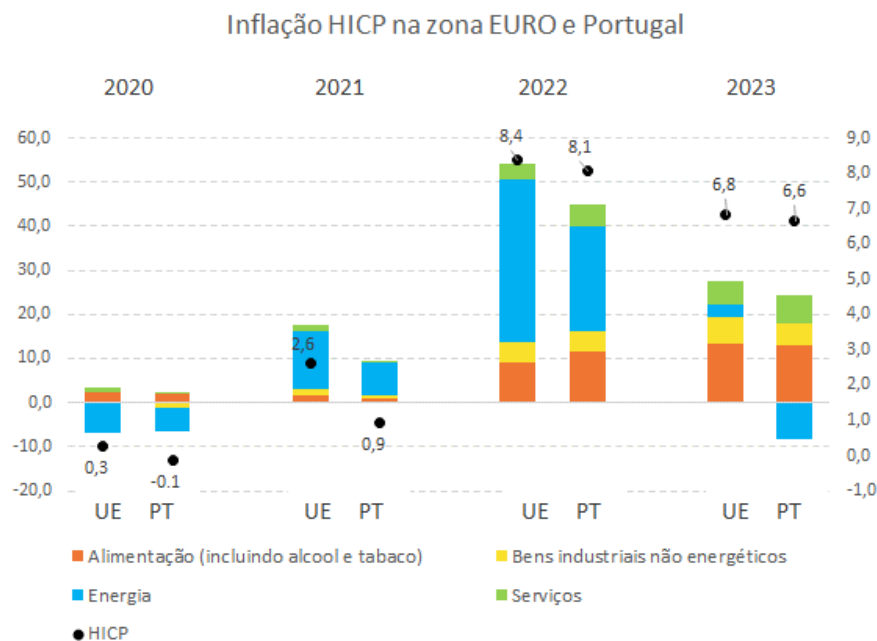


Figura 1: Inflação HICP na zona Euro e Portugal – mudança anual de percentagem e contribuição pp

No entanto, não foi a primeira vez que foi mencionado este conceito. A UE tem vindo a fortalecer a sua ideologia ao longo do tempo, através de diretivas e objetivos para assegurar a segurança e a sustentabilidade da energia. Foram implementadas normas que visam aumentar o consumo de energia renovável e diminuir as emissões de gases de efeitos de estufa. A sociedade ainda não tem uma opinião unânime relativamente a esta questão, dividindo a resposta em dois grandes extremos: os defensores da transição energética total para fontes renováveis e os que resistem à mudança. Contudo, é possível afirmar de um modo geral, que as mulheres, os indivíduos mais novos ou com mais educação têm uma resposta mais propensa à transição energética [3].

1.2. Objetivos

A energia tem sido uma preocupação central para a humanidade ao longo da história. Com o desencadeamento de diversas revoluções industriais, verificou-se uma transição significativa de fontes de energia, desde o carvão até a eletricidade, passando pelo petróleo e chegando à energia nuclear e energias renováveis. Atualmente, o mundo encontra-se num período de transformação global, tornando crucial compreender a posição da Europa e de Portugal nesse contexto de constante evolução.

Esta dissertação tem como objetivo compreender a dinâmica energética em Portugal. Pretende-se explorar diferenças entre regiões e desenvolver uma análise sociodemográfica. Além disso, tenciona-se analisar o contraste entre as diversas áreas, enquanto se investiga o equilíbrio entre o uso de recursos renováveis e não renováveis no país. Por fim, de modo a realizar uma predição do consumo e preços de energia em Portugal, o último objetivo é criar um modelo preditivo com estas especificações.

1.3. Metodologia CRISP DM

De modo a manter a eficácia do processo, é necessário utilizar uma metodologia que permite avaliar o progresso do projeto com frequência, comparando com o seu objetivo inicial. Deste modo, para esta dissertação, foi utilizado o CRISP DM, uma metodologia que consiste em desenvolver modelos através da análise de informações e dados. Este método é cíclico, existindo a possibilidade de voltar ao passo anterior caso seja necessário. A metodologia descrita encontra-se na figura abaixo.

A metodologia CRISP-DM, consiste em seis fases:

1. *Compreensão do Negócio*, consiste na identificação do objetivo e respetivas necessidades da área. Além disso, é nesta fase que se produz o planeamento do projeto a efetuar e as metas que se quer concretizar;
2. *Compreensão dos Dados*, refere a fase onde existe a recolha e documentação de informação. A fase anterior é bastante importante pois ajuda a determinar o tipo de dados, as respetivas fontes e os métodos utilizados para esta recolha;
3. *Preparação de dados*, consiste no tratamento de dados, através de passos como a seleção dos dados mais relevante, a limpeza de dados com erros, corrompidos e outros, a construção de novos dados a partir dos anteriores, a integração de diferentes conjuntos de dados e a respetiva formatação;
4. *Modelação*, sendo esta a fase onde é possível selecionar o modelo pretendido, definir os planos de teste e construir o respetivo modelo;
5. *Avaliação*, consiste na avaliação do modelo e o levantamento de resultados. Nesta fase, é avaliada a qualidade, eficácia e segurança do modelo, comparando sempre os valores obtidos, com os objetivos definidos inicialmente. Caso o modelo não esteja como o esperado, é necessário retornar às fases iniciais, de modo a compreender se existe alguma questão relativa ao objetivo identificado e/ou aos dados recolhidos;
6. *Implementação*, refere a fase onde existe o planeamento da implementação do projeto efetuado. O modelo pedido é apresentado e colocado em produção.

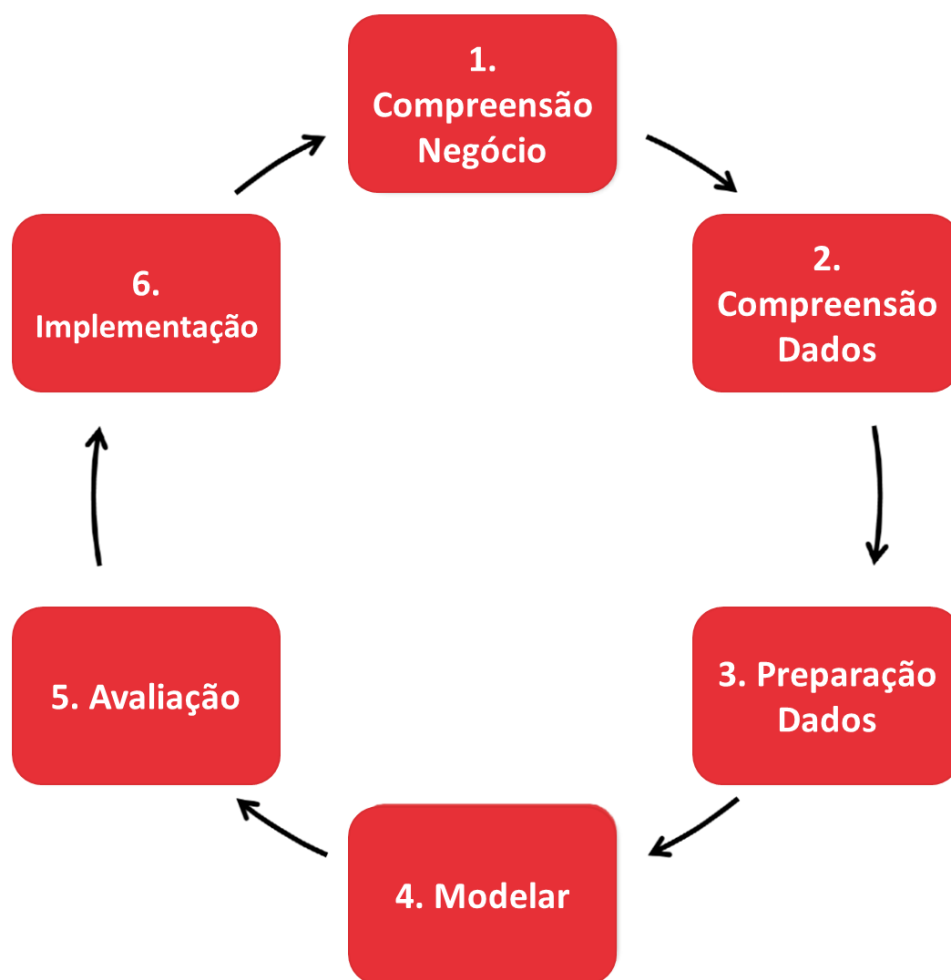


Figura 2: Metodologia CRISP DM

1.4. Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida da seguinte forma:

- Capítulo 1 (Introdução) – Fase inicial da dissertação onde se realiza a contextualização do tema, explorando a motivação. Além disso, são estabelecidos os objetivos e detalhada a metodologia empregue na análise de dados. Por fim, é delineando a organização da dissertação.
- Capítulo 2 (Revisão de Literatura) – Etapa também conhecida como Estado de Arte, onde se analisa e sintetiza os estudos mais relevantes e recentes realizados anteriormente sobre a energia elétrica: a produção e consumo, as energias renováveis e a situação de Portugal relativamente à Europa.

- Capítulo 3 (Análise de Dados de Energia Elétrica) – Implementação das três primeiras fases da metodologia CRISP-DM: Compreensão do Negócio, Compreensão dos Dados e Preparação dos Dados. Neste capítulo, é apresentado o contexto atual da energia em Portugal, assim como conceitos essenciais, compreender a natureza e qualidade dos dados e, por fim, a sua limpeza e formatação.
- Capítulo 4 (Modelação e Análise de Resultados) – Implementação das restantes fases da metodologia CRISP-DM: Modelação e Avaliação. O foco deste capítulo é a apresentação dos resultados de uma forma simples, mas abrangente, permitindo uma compreensão clara e acessível da análise dos dados e dos modelos desenvolvidos, além das conclusões extraídas a partir deles.
- Capítulo 5 (Conclusão) – Etapa final onde são apresentadas as principais conclusões consolidando os resultados obtidos ao longo da dissertação e proporcionando uma visão abrangente e significativa sobre a energia elétrica em Portugal.

CAPÍTULO 2

Revisão da Literatura

A dinâmica entre o consumo de energia, mudanças sociais e eventos disruptivos, como a pandemia de COVID-19, tem despertado um interesse significativo nos setores académicos, económicos e ambientais. O estado de arte procura explorar as mudanças substanciais no consumo de energia das transformações sociais e dos impactos causados pela crise global de saúde.

A compreensão das relações complexas entre o comportamento humano, as condições socioeconómicas e a utilização de recursos energéticos tornaram-se essenciais. Teve como propósito avaliar os efeitos imediatos dessas mudanças e estabelecer diretrizes e estratégias eficazes com vista à sustentabilidade e à resiliência energética num contexto em constante evolução.

2.1. Introdução

A pesquisa dedicada ao impacto da produção e consumo de energia e energias renováveis tem ganhado um destaque considerável nos últimos anos, refletindo a crescente relevância desse tema. A figura abaixo demonstra esse aumento. A natureza variável do consumo energético salienta a importância de investigar profundamente suas raízes e implicações.

Para a análise da bibliografia disponível, foram utilizadas as bases de dados Scopus e Google Scholar, conhecidas por disponibilizar uma extensa gama de estudos científicos nacionais e internacionais validados pela comunidade científica.

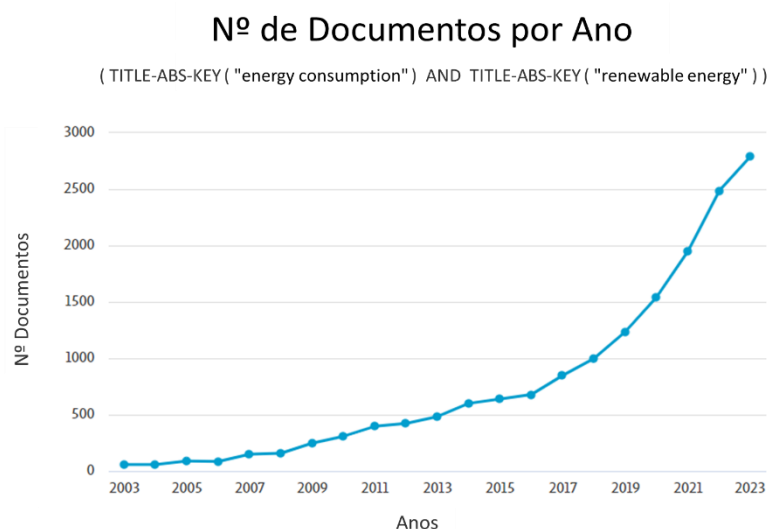


Figura 3: Nº de documentos da base de dados Scopus referente a consumo de energia e energia renovável:

Através de uma análise minuciosa e multifacetada, utilizando diferentes palavras-chave e explorando diversas fontes de informação, foi possível identificar um conjunto significativo de artigos relacionados com os temas centrais desta dissertação. Ao longo desse processo de pesquisa, foram selecionados 15 artigos relevantes devido à sua contribuição e pertinência neste estudo. Os artigos identificados são caracterizados na tabela seguinte.

Tabela 1: Tabela Resumo dos Artigos Relevantes

Titulo	Ano	Autor	Resumo
COMPARATIVE ANALYSIS OF GLOBAL TRENDS IN ENERGY SUSTAINABILITY	2014	M. Mihic, D. Petrovic, e A. Vuckovic	Analisa o estado atual da sustentabilidade energética global, utilizando dados de mais de 130 países. Foca-se na eficiência energética e nas fontes renováveis. Destaca tendências e analisa diversos países, explorando causas e perspectivas futuras.
Renewable energies: Worldwide trends in research, funding and international collaboration	2019	J. L. Aleixandre-Tudó, L. Castelló-Cogollos, J. L. Aleixandre, e R. Aleixandre-Benavent	Analisa a produção científica e de energia renovável, através dos artigos mais citados no tópico de energias renováveis. Foram recuperados 12.167 artigos de 2007 a 2016, destacando-se a energia eólica, solar e oceânica. Os Estados Unidos lideram a produção mundial de artigos, seguidos pela China, Reino Unido, Alemanha e Espanha, enquanto a China se destaca no financiamento, com alto nível de colaboração internacional.
Electricity consumption patterns within cities: application of a data-driven settlement characterization method	2019	P. K. R. Chowdhury	O acesso sustentável e universal à energia é um desafio em grande parte do mundo, sendo a compreensão dos padrões de consumo energético urbano fundamental para abordar questões de sustentabilidade e segurança energética. O estudo propõe uma abordagem baseada em dados para caracterizar assentamentos urbanos e avaliar os padrões de consumo de eletricidade dentro das cidades, oferecendo uma solução simples e escalável para preencher essa lacuna de dados.
Impact on Electricity Consumption and Market Pricing of Energy and Ancillary Services during Pandemic of COVID-19 in Italy	2020	E. Ghiani, M. Galici, M. Mureddu, e F. Pilo	Destaca os efeitos da pandemia de COVID-19 na Itália sobre o setor elétrico, revelando mudanças no comportamento do consumo de energia e na participação de tecnologias de produção renováveis e convencionais. Os impactos das restrições e bloqueios nas atividades comerciais e industriais são discutidos. Além disso, são examinados os aspectos ambientais decorrentes do cenário energético alterado.
Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?	2020	S. Lange, J. Pohl, e T. Santarius	Investiga o impacto da digitalização no consumo de energia, através de quatro efeitos: efeitos diretos da produção, uso e abandono das TIC, aumento da eficiência energética, crescimento econômico e profissionalização de serviços de TIC. A digitalização contribui para um aumento global no consumo de energia, sendo essencial promover efeitos que reduzam o consumo para impulsionar a sustentabilidade.
Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities	2021	P. Jiang, Y. V. Fan, e J. J. Klemeš	Analisa os impactos do COVID-19 no consumo de energia. Apesar da queda geral na procura energética, mudanças na intensidade e na distribuição de energia são evidentes, influenciadas pelas práticas sociais emergentes durante a pandemia. Além disso, destaca oportunidades para aumentar a eficiência energética e promover a economia de energia.

Impact of COVID-19 on IoT Adoption in Healthcare, Smart Homes, Smart Buildings, Smart Cities, Transportation and Industrial IoT	2021	M. Umair, M. A. Cheema, O. Cheema, H. Li, e H. Lu	Aborda o potencial impacto da pandemia de COVID-19 na adoção da IoT em diversos setores. São discutidas as mudanças previstas na adoção da IoT e apresentadas iniciativas em cada setor durante a pandemia. Além disso, são apontados desafios e direções de pesquisa que podem impulsionar essa adoção.
Energy Consumption and Price Forecasting Through Data-Driven Analysis Methods: A Review	2021	H. Patel e M. Shah	Destaca a importância da previsão do consumo e preço de energia para orientar políticas no mercado energético global. Ao rever extensivamente a aplicação de análises baseadas em dados em energia financeira e economia, identifica o domínio das redes neurais artificiais, SVM e outros modelos de redes neurais como os métodos mais eficazes.
The impact of electric power consumption on economic growth: a case study of Portugal, France, and Finland	2022	Muhammad Shahid Hassan, Haider Mahmood, Anam Javaid	Analisa o impacto do consumo de eletricidade no crescimento económico de Portugal, Finlândia e França. Assegura o papel positivo da força de trabalho no crescimento económico, excetuando Portugal a longo prazo.
Great expectations: Public opinion about energy transition	2022	M. Thomas, B. DeCillia, J. B. Santos, e L. Thorlakson	Investigou-se a opinião pública sobre a transição energética. Os resultados revelaram ampla aceitação da transição (crenças pré-existentes sobre a economia, identificação política e visões acerca do futuro dos combustíveis fósseis influenciaram significativamente essas atitudes). Sugere destacar os riscos económicos da dependência contínua dos combustíveis fósseis é mais eficaz para influenciar a opinião pública.
ICT, carbon emissions, climate change, and energy demand nexus: the potential benefit of digitalization in Taiwan	2022	R. Adha, C.-Y. Hong, S. Agrawal, e L.-H. Li	Investiga o papel das TIC no consumo de eletricidade domiciliar em Taiwan. Os resultados sugerem que as TIC, as emissões de carbono e as mudanças climáticas terão impactos na procura de eletricidade a longo prazo, enquanto as TIC demonstram um potencial maior para a reduzir a curto prazo. Foi identificada uma relação bidirecional entre as TIC e a procura de eletricidade.
A CRISE ENERGÉTICA E O CASO PORTUGUÊS	2023	L. M. Amaral e A. D. Santos	A crise energética reflete-se globalmente, tornando-se visível nos preços elevados da energia, na escassez de combustíveis e nos desafios económicos para as famílias. A situação agravou-se com a guerra Rússia-Ucrânia. Esta causou recordes nos preços do gás natural e da eletricidade em alguns mercados, além do aumento dos preços do petróleo em 2022, atingindo níveis históricos desde 2008.
The invasion of Ukraine and the energy crisis: Comparative advantages in equity valuations	2023	F. Ferriani e A. Gazzani	Focou-se na diferença de preços de energia entre a UE e os EUA, acentuada pela crise energética, refletida nos preços de mercado de ações. Desde o início da guerra, persistem diferenças negativas significativas nos retornos entre Europa e EUA. A falta de avanços na eficiência energética pode minar a competitividade europeia e incentivar a realocação da produção, especialmente em indústrias intensivas em energia.
Energy prices in Europe. Evidence of persistence across markets	2023	M. A. Martin-Valmayor, L. A. Gil-Alana, e J. Infante	Analisa a dinâmica das mudanças nos preços de energia e o seu impacto nos fornecedores e consumidores em diferentes mercados. Os resultados empíricos indicam uma tendência de reversão à média nos preços europeus, sugerindo uma recuperação natural das séries após os choques energéticos atuais, provavelmente sem necessidade de políticas adicionais.
Scales of solar energy: Exploring citizen satisfaction, interest, and values in a comparison of regions in Portugal and Spain	2023	I. Campos, M. Brito, e G. Luz	Examina o impacto socioeconómico e ambiental das instalações de energia solar. Ao explorar casos em Portugal e Espanha, a pesquisa identifica as condições que motivam o envolvimento ativo dos cidadãos em projetos solares de diferentes escalas, oferecendo insights sobre a aceitação social e a cidadania energética nesse contexto específico.

2.2. Consumo de energia

O crescimento económico é também um fator importante para o impacto no consumo de eletricidade de um país. Estes dois conceitos têm uma relação positiva a longo prazo para Portugal, sugerindo assim uma transição para fontes renováveis e a adoção de investimentos em fornecimentos de eletricidade [4].

A procura pelo entendimento do impacto do consumo de energia nos países e na sociedade tem sido cada vez maior. Langea et al. retrata o impacto da digitalização no consumo energético, explorando as características dos efeitos diretos e indiretos das TIC nesse contexto. Apesar de alguns efeitos, como a eficiência energética e a mudança setorial, tenderem a reduzir o consumo de energia, outros fatores, como os efeitos diretos da produção e uso das TIC, bem como o crescimento económico associado a essas tecnologias, parecem aumentar o consumo energético global. Destaca as complexidades envolvidas na relação entre digitalização e consumo de energia, sublinhando a importância de considerar de forma crítica, os efeitos diretos e indiretos dessa transformação digital de modo a alcançar um futuro mais sustentável [5].

Adha et al. referiu que existem três fatores que influenciam a longo prazo a procura de eletricidade: as TIC, as emissões de carbono e as mudanças climáticas. As TIC no entanto, apresentaram um potencial de modo a reduzir a procura a curto prazo. Foi identificada também uma forte relação entre estas tecnologias e procura de eletricidade [6].

A análise de energia em áreas urbanas enfrenta graves limitações devido à escassez de dados reais sobre o consumo de energia nessas regiões, sobretudo nos países em desenvolvimento. No entanto, esses países são frequentemente objetos de estudo nesse contexto. Com a previsão de grande parte do crescimento urbano ocorrendo nessas regiões com dados escassos, há uma urgente necessidade de métodos de pesquisa para monitorar e quantificar os padrões de uso de energia urbana [7].

2.3. Sustentabilidade e Energias Renováveis

Nos últimos anos, a energia tem assumido um papel crescente nos meios científicos, políticos e económicos. Com um interesse na sustentabilidade energética, Mihic et al. refere que este conceito assenta na eficiência energética e nas fontes de energia renováveis, criando um indicador (SIES), como forma de avaliação e medição da sustentabilidade [8].

Os resultados do inquérito realizado por Thomas et al. indicam um apoio geral à transição energética, destacando a preocupação com as mudanças climáticas e a perceção pessimista sobre a viabilidade futura da indústria de petróleo e gás como os principais impulsionadores desse suporte. A orientação política e a avaliação das notícias sobre os efeitos económicos

também influenciam as atitudes em relação à transição, sugerindo oportunidades para moldar essas opiniões e facilitar a aceitação da transição energética na esfera democrática [9].

Campos et al. realizou um estudo a 832 cidadãos, conduzido no Alentejo e Andaluzia (em Portugal e Espanha respetivamente). Este teve como objetivo examinar como é que a aceitação social se relaciona com a cidadania energética nas diferentes escalas de produção de energia solar. Essas escalas podiam ser tanto grandes instalações centralizadas como sistemas descentralizados em pequena escala. Este destacou a importância das políticas que fomentam a participação dos cidadãos e beneficiam comunidades vulneráveis em projetos solares de diferentes escalas. Além disso, apontou para a necessidade de informar e comunicar efetivamente os benefícios das instalações menores às comunidades locais, enquanto se equilibra os investimentos nos sistemas de grande e pequena escala [10].

As energias renováveis têm crescido globalmente a um ritmo exponencial, impulsionando a transição de uma economia baseada em combustíveis fósseis para uma movida por recursos renováveis. Esta mudança, impulsionada por políticas, avanços tecnológicos e cooperação internacional, tornou-se cada vez mais natural. Mesmo em momentos adversos, como a pandemia COVID-19, as energias renováveis demonstraram resiliência, destacando-se pela sua capacidade de adaptação. A redução dos custos de instalação e operação tem impulsionado a sua viabilidade econômica, promovendo sua adoção em larga escala [11].

2.4. Pandemia COVID 19 e Guerra

A crise energética tornou-se visível através dos preços elevados da energia, na escassez de combustíveis e nos desafios económicos para as famílias. A situação agravou-se com a guerra, resultando num aumento de preços de petróleo em 2022 com recordes históricos [12].

A pandemia COVID-19 teve um impacto significativo na indústria energética global, o que resultou em quedas históricas nos preços do petróleo e gás natural. Houve uma redução significativa na procura e nos preços da eletricidade, com previsões que indicaram uma diminuição anual de 6% na procura global desse ano, especialmente afetando a produção de fontes não renováveis. Na Europa, o consumo de energia reduziu cerca de 10%, enquanto Itália registou uma das maiores quedas (aproximadamente 23%) [13].

Durante a pandemia, houve uma redução até 37% no consumo de eletricidade comparativamente com o ano anterior. Essa queda teve como consequência a redução dos preços de energia em cerca de 30% e, nalguns casos, atingindo valores próximos a 0 €/MWh, além de contribuir para a diminuição das emissões de CO₂.

A COVID-19 teve um impacto significativo em diversas indústrias, incluindo a energia, sendo projetada como a maior redução na procura energética nos últimos 70 anos pela AIE. Existiu uma tendência de declínio nesta procura durante os confinamentos (com expectativa

de a recuperar após o aliviar das medidas), refletindo-se assim em variações no PIB. A mudança na procura energética foi associada a um declínio da procura no setor de energia fóssil e aumento no setor de energia renovável [14].

Umair et al. aborda o impacto potencial da COVID-19 na adoção da IoT em diversos setores, como saúde, casas inteligentes, prédios, cidades, transporte e indústria. Analisa como a pandemia acelerou ou dificultou a adoção da IoT, abordando as iniciativas recentes, desafios enfrentados e direções de pesquisa para facilitar essa adoção em cada setor. Por fim, destaca que embora a pandemia tenha impulsionado a adoção da IoT em algumas áreas, indústrias como a automobilística enfrentaram dificuldades devido à recessão, fornecendo uma visão abrangente do impacto do COVID-19 na IoT em vários domínios [15].

2.5. Preços de Energia

Ferriani et al. focou-se na diferença de preços de energia entre a União Europeia e os EUA que, ampliada pela crise energética, se refletiu nos preços de mercado de ações nas duas regiões. Desde o início da guerra que existe uma diferença negativa persistente e significativa entre a Europa e os EUA, mesmo depois de uma redução parcial nos preços de energia em 2022. Esta discrepância sugere que os custos de energia mais altos e suprimentos mais frágeis podem prejudicar a competitividade da Europa em relação a regiões com acesso a energia mais barata e segura [16].

Relativamente aos preços de energia, Martin-Valmayor et al. indicou que irá reverter à média nos países europeus, apesar de algumas discrepâncias entre os mercados. Referiu que se espera uma recuperação dos preços depois do choque energético recente por forças naturais do mercado [17].

Patel et al. destaca a importância crucial da energia para o desenvolvimento humano, social e económico, apontando para o aumento contínuo na demanda energética e a necessidade de equilibrar fontes renováveis com combustíveis fósseis. O crescimento rápido de regiões como o leste da China salienta a necessidade crítica de gerir os recursos e suplementos de energia para sustentar o desenvolvimento económico [18].

CAPÍTULO 3

Análise de Dados de Energia Elétrica

3.1. Introdução

A análise de dados de energia elétrica desempenha um papel fundamental na compreensão do funcionamento do setor. Além de ser possível obter informações relevantes para o futuro, estes dados podem ajudar os consumidores e as entidades comercializadoras a tomar decisões estratégicas relativamente ao consumo de energia, planeamento de recursos, eficiência energética e eventuais investimentos em infraestruturas.

No entanto, para tal ser possível, é necessário obter uma amostra significativa de dados, de modo a representar a realidade do setor. Os dados devem ser referentes de fontes fidedignas e credíveis para efetuar uma análise correta destes. Por último, mas não menos importante, estes dados devem apresentar as especificidades dos países em estudo. De forma a analisar de forma correta os dados obtidos e responder aos objetivos identificados inicialmente, foram seguidos os passos da metodologia CRISP DM. Neste capítulo, são executadas as etapas iniciais da metodologia, abrangendo as três primeiras fases do processo.

A primeira fase aborda a Compreensão do Negócio, onde se procura entender e identificar o contexto atual dos padrões de energia elétrica na Europa, em particular Portugal.

A segunda fase diz respeito à Compreensão dos Dados, onde se executa um conjunto de tarefas tais como a exploração e descrição dos dados, a identificação das variáveis, a avaliação da qualidade dos dados e a identificação de *outliers* e valores nulos.

Na fase seguinte, denominada por Preparação dos Dados, ocorre o processamento e transformação dos dados brutos para um formato mais adequado para uma análise posterior. A construção da base de dados final ocorre através de passos como a integração e limpeza de dados, o tratamento de *outliers* e a seleção das variáveis relevantes para a análise pretendida.

3.2. Compreensão do Negócio

De modo a identificar as necessidades deste setor e as suas possíveis melhorias, é necessário entender o seu funcionamento. Tendo em mente este objetivo, este subcapítulo refere algumas informações relativamente à produção e consumo de energia na Europa, com uma especial atenção à situação em Portugal. Explora também o transporte e comercialização

da energia em Portugal, da situação deste país perante as energias renováveis e o seu progresso na transição para energias limpas.

3.2.1. Produção de Energia Elétrica em Portugal

A produção de eletricidade é viabilizada por meio de diversas tecnologias e fontes de energia. A escolha da tecnologia apropriada é influenciada por vários fatores, como a disponibilidade de recursos, considerações económicas, técnicas ou mesmo ambientais.

Em Portugal, a produção de energia classifica-se de duas formas [19]:

- Produção em regime ordinário (PRO) através de centrais térmicas, que funcionam com fontes de energia como o carvão, gás natural e fuelóleo;
- Produção em regime especial (PRE), uma atividade que está sujeita a um quadro normativo particular (como o caso da produção de energias renováveis e da produção de cogeração (produção de duas ou mais formas de energia a partir de um combustível). O PRE tem por sua vez dois tipos de regime de remuneração:
 - Regime bonificado, onde o produtor vende a energia produzida através de uma tarifa fixada pelo governo;
 - Remuneração geral, onde o produtor coloca energia produzida em mercado, sendo a remuneração total dada pelo preço de mercado.

Todas essas operações são reguladas e fiscalizadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), garantindo a integridade e a conformidade do setor energético em Portugal. A tabela seguinte mostra a produção de eletricidade com base na fonte de energia utilizada [20]:

Tabela 2: Tipo produção de energia com base na sua fonte de energia

Nome da Energia	Extração	Transformação
Eólica	Geradores Eólicos	Energia do vento
Hídrica	Barragens e cursos de água	Energia das quedas e fluxos de água, através centrais hidroelétricas
Nuclear	Cisão dos núcleos dos átomos de urânio	Energia libertada pela cisão, em centrais nucleares
Solar	Células fotovoltaicas em painéis	Energia do sol
Térmica		Queima de substâncias combustíveis

Note-se que o gás natural, o fuelóleo, o carvão, a biomassa florestal e outros são considerados substâncias combustíveis, produzindo, portanto, energia térmica.

Na figura seguinte [21], encontra-se uma comparação da produção de eletricidade entre Portugal e a Europa. As linhas verdes correspondem à distribuição por fonte de energia na Europa (sendo este um valor médio de todos os países pertencentes); enquanto as linhas azuis correspondem à distribuição por fonte de energia em Portugal.

Realizando uma comparação entre estes dois, verifica-se que a produção de eletricidade é mais expressiva através de fontes como o gasóleo, a biomassa, energia hídrica, eólica e solar em Portugal. Estes valores são atribuídos a diversos fatores tais como:

- Geografia favorável - a geografia de Portugal oferece condições excecionais para a produção de energia hídrica e eólica. O país utiliza os ventos do Atlântico para produzir energia eólica, ao longo da linha costeira.
- Políticas de incentivo às energias renováveis - Portugal tem executado diversas políticas para a promoção de energias renováveis. De modo a estimular a produção e a capacidade instalada dessas fontes, foram realizados investimentos e incentivos fiscais direcionados a fontes limpas de energia.
- Investimentos estratégicos nas infraestruturas para energias renováveis, incluindo parques eólicos, projetos hidroelétricos e instalações solares.

Além disso, Portugal está comprometido com metas ambiciosas de sustentabilidade energética e redução de emissões de carbono. Esse compromisso tem levado a um foco significativo no aumento da produção de eletricidade a partir de fontes renováveis.

Produção de Eletricidade em Portugal vs Europa

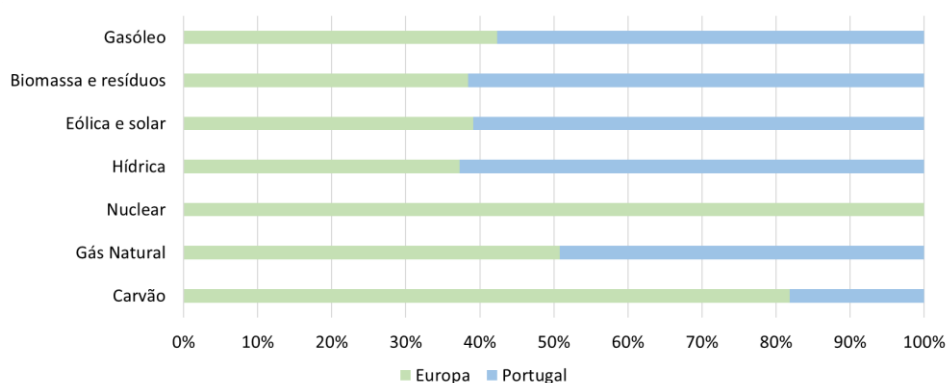


Figura 4: Produção de Eletricidade em Portugal

Com base na figura 4, observa-se que Portugal não investe na produção de energia nuclear, em grande parte devido à ampla disponibilidade de outras fontes de energia no país

[22]. Além disso, produz pouca eletricidade através de carvão, comparativamente com o resto da Europa. A política energética em Portugal tem-se concentrado no desenvolvimento de tecnologias mais limpas e renováveis, procurando diminuir as emissões de carbono e promover a sustentabilidade.

Na figura 5, observa-se a distribuição da produção de eletricidade em Portugal, categorizada por fonte de energia. Este gráfico destaca que aproximadamente 42% da produção de eletricidade em Portugal é proveniente do uso de diesel, enquanto 26% dessa produção é atribuída ao gás natural. Em conjunto, essas duas fontes de energia representam cerca de 68% da produção total em Portugal. Notavelmente, a produção de eletricidade a partir do carvão contribui com apenas 3% desse total, principalmente devido ao encerramento da última central termoelétrica em Portugal, ocorrido em 2021 [23].

Produção de Eletricidade em Portugal

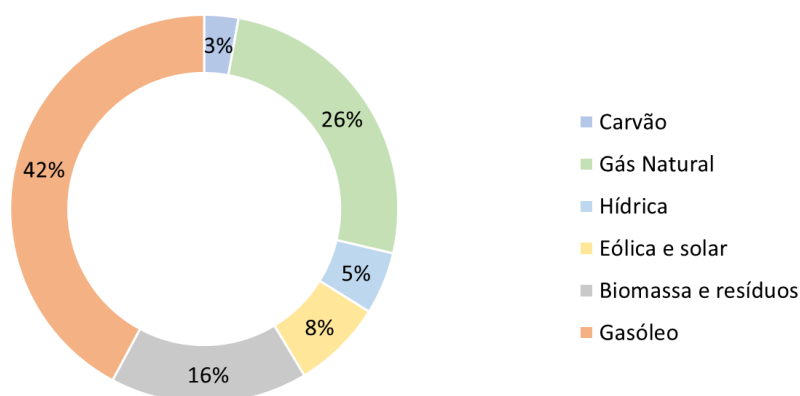


Figura 5: Comparação com a Europa

3.2.2. Transporte, Distribuição e Comercialização em Portugal

A eletricidade gerada em locais distantes das áreas de consumo é direcionada para a rede de transporte, onde é transmitida em muito alta tensão (MAT) para distribuição por todo o território. O transporte é realizado em alta tensão e baixa corrente de modo a minimizar os custos de transporte (neste caso, os cabos). Este processo reduz as perdas e assegura o fornecimento ininterrupto, independentemente da distância em relação às centrais elétricas.

Devido à dificuldade de armazenar eletricidade, a produção é administrada em tempo real de modo a responder ao consumo. Essa tarefa, conhecida como Gestão Global do Sistema, é executada pelo operador da rede de transporte (ORT). Este operador em Portugal, é a Rede Elétrica Nacional (REN). A REN desempenha um papel fundamental ao coordenar e

monitorizar em tempo real todo o processo, desde a geração até o consumo, garantindo que as redes de transporte e distribuição tenham capacidade para atender à demanda, tanto nos períodos de consumo elevado (horas de pico), como nos de consumo reduzido (períodos de baixa procura) [24].

As redes de distribuição desempenham um papel fundamental na transferência de eletricidade entre a rede nacional de transporte e os consumidores finais. Essas redes operam como intermediárias, recebendo eletricidade em MAT da rede de transporte e transformando-a em estações de transformação para a distribuição em tensões mais baixas (AT, MT e BT) em distâncias mais curtas, e diretamente para as instalações dos consumidores.

Os operadores das redes de distribuição (ORD) têm a responsabilidade de gerir, operar e manter essas redes, além de as expandir para atender novos pontos de fornecimento e garantir a qualidade do serviço. Dado que o consumo de eletricidade varia ao longo do tempo em diferentes níveis de tensão, as redes de distribuição devem estar prontas para acomodar essas flutuações em todas as ramificações. Para AT e MT, existe apenas um operador em Portugal: o E-Redes. Para apenas BT, encontram-se disponíveis diversos ORD.

Os ORD mantêm interações limitadas com os consumidores: geralmente concentram-se em aspetos como ligações à rede, leituras de medidores e questões de qualidade de serviço técnico [25].

A comercialização da energia é a última etapa da cadeia do fornecimento de eletricidade, relacionando-se diretamente com os consumidores. Com a liberalização do setor de energia, a atividade de comercialização de eletricidade foi aberta a agentes de mercado que atendam aos requisitos estabelecidos.

Os consumidores, neste momento, têm a liberdade de escolher o seu comercializador e podem mudar para ofertas mais adequadas ao seu perfil de consumo sem custos adicionais. Os comercializadores, por sua vez, têm a flexibilidade de criar ofertas comerciais de acordo com o mercado. Estes adquirem a eletricidade dos produtores no mercado grossista e vendem aos clientes, pagando tarifas reguladas de acesso às redes aos operadores correspondentes, conforme estabelecido pela ERSE.

De modo a fornecer eletricidade em zonas onde não existam propostas no mercado livre aos consumidores economicamente vulneráveis ou aos clientes cujos comercializadores no mercado livre não podem mais operar, existem os comercializadores de último recurso (CUR). Nos Açores e na Madeira, devido à sua especificidade, existe apenas um comercializador que atua como CUR e aplica tarifas reguladas de fornecimento determinadas pela ERSE [26].

3.2.3. Consumo de Energia Elétrica em Portugal

O consumo de energia desempenha um papel fundamental e multifacetado, no contexto económico do país. Este setor essencial não só estimula a atividade económica, mas também reflete a complexidade das necessidades do Homem, das empresas e do ambiente. Analisar e prever o comportamento deste setor é necessário não apenas para o seu funcionamento eficiente, mas também para responder às necessidades em constante evolução da sociedade.

Ao longo das últimas décadas, verificou-se um aumento constante nos níveis de consumo de energia elétrica. Este fenómeno pode ser atribuído aos avanços tecnológicos e ao aumento de equipamentos tecnológicos [27], à expansão industrial e ao contínuo crescimento demográfico [28].

A figura 6 [29] representa a evolução do consumo de energia elétrica em Mtoe desde 1990. É possível verificar que o consumo total tem vindo a crescer lentamente ao longo dos anos. Com o tempo, as pessoas passaram a depender mais da eletricidade nas suas vidas diárias, desde as habitações até as indústrias, serviços e infraestruturas críticas. A expansão das infraestruturas, o aumento da urbanização e o avanço de novas tecnologias estimulou a necessidade de mais eletricidade.

No entanto, é possível verificar existe um intervalo de tempo em que o consumo anual reduz (entre 2006 e 2012). Essa descida pode ser parcialmente explicada pela crise financeira global que teve início em 2007. Durante essa crise, existiu um abrandamento económico significativo, que resultou numa redução da atividade industrial, comercial e noutras áreas dependentes da eletricidade. A diminuição da produção industrial, a queda no consumo de bens e serviços, juntamente com medidas de austeridade adotadas em várias economias, contribuíram para uma diminuição geral na procura por eletricidade.

Consumo Total de Energia em Portugal entre 1990 e 2022

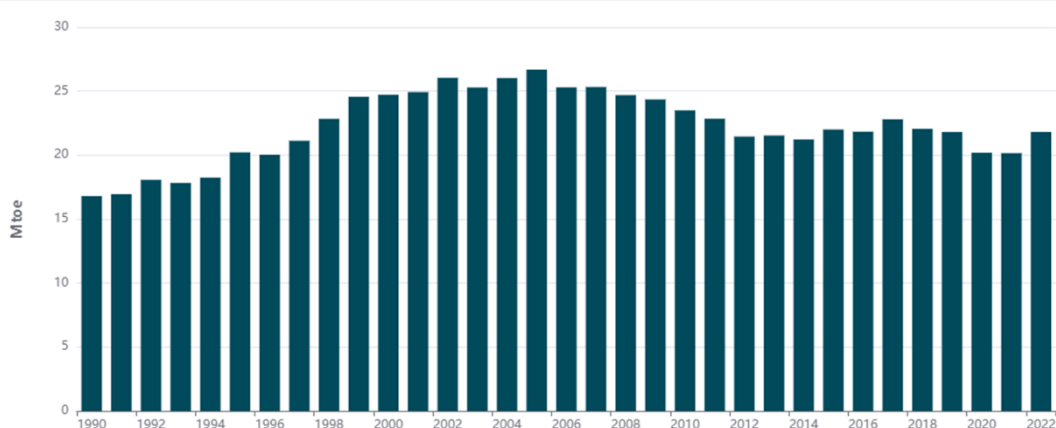


Figura 6: Evolução do consumo total de energia em Portugal

O consumo em Portugal está dividido em sete setores: transportes marítimos internacionais, aviação internacional, transportes nacionais, agricultura e pescas, indústria, serviços e residencial.

Ao verificar a figura 7, é possível verificar que os três primeiros setores sofreram bastante com a pandemia COVID 19. A aviação internacional teve uma redução de mais de 50% nos voos internacionais em 2020, recuperando apenas 26,1% no ano seguinte. O aeroporto de Lisboa representou 68,2% deste setor, seguindo-se os aeroportos de Porto e Faro em segundo e terceiro lugar, respetivamente, em termos de consumo.

A atividade dos transportes marítimos internacionais teve uma grande redução a partir da pandemia, sendo que o consumo de 2021 manteve uma diminuição de 3,2% comparativamente com o ano anterior. O consumo dos transportes rodoviários teve uma pequena subida de 9,1% face a 2020, representando no entanto 95,6% do consumo total dos transportes nacionais.

A agricultura, entre 2011 e 2021, verificou um aumento no consumo de 23,4%, enquanto o setor da pesca observou uma redução de 8,1%. O setor da indústria não foi muito afetado pela pandemia. Relativamente ao setor dos serviços, é possível verificar que existiu uma diminuição de 33,2% do consumo de produtos de petróleo durante o período de 2011 a 2021. O mesmo acontece no setor residencial, assistindo-se a uma redução de 34% [30].

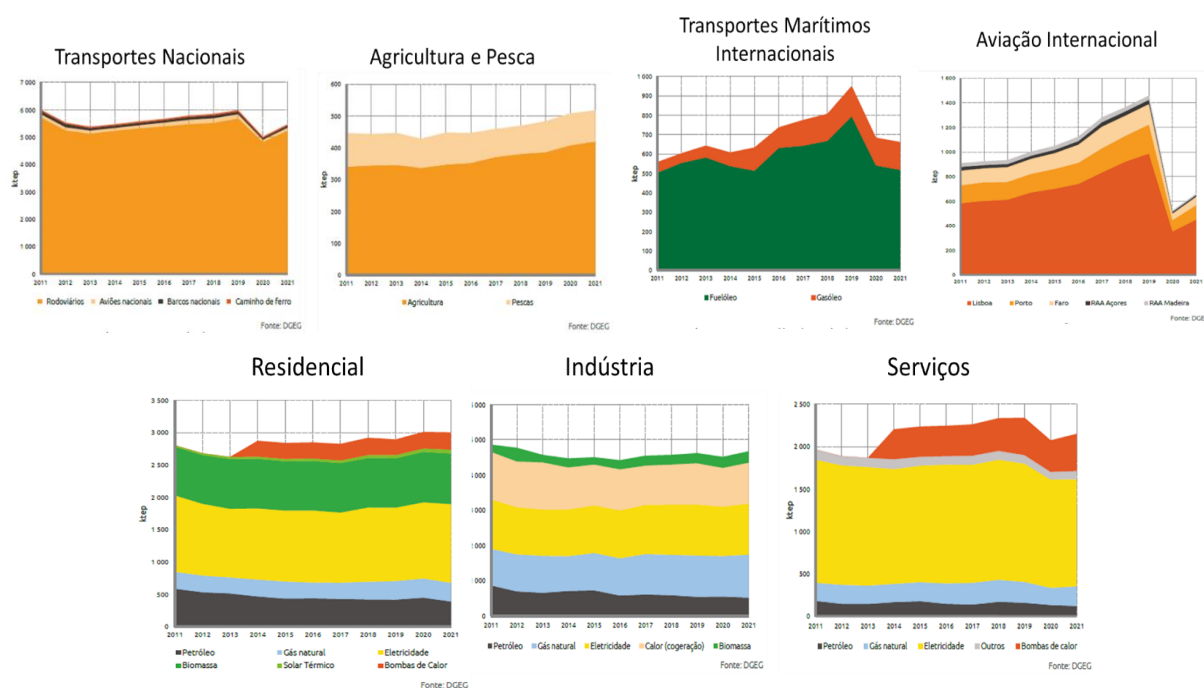


Figura 7: Evolução entre 2011 e 2021 dos diferentes setores de consumo em Portugal

3.3. Compreensão dos dados

De modo a obter informações credíveis e fundamentadas sobre a energia, é crucial que as fontes de dados sejam credíveis, apresentem informações reais e que possuam uma amostra significativa.

Deste modo, foram utilizados diversos repositórios abertos, tais como: Pordata [31] (base de dados de Portugal, equipada com estatísticas oficiais e certificadas), Eurostats [32] (serviço de estatística de União Europeia, que tem como objetivo fornecer estatísticas a nível europeu que permitam comparações entre países e regiões da EU) e Ember [33] (organização sem fins lucrativos, cujo objetivo é a divulgação de estatísticas baseados em dados e informação relativa à energia e clima, analisados por peritos).

3.3.1. Consumo geral de energia em Portugal

A análise do consumo total de energia elétrica em Portugal baseou-se num conjunto de dados fornecido pela empresa REN. A tabela “ConsumoVerifEletr” contém dados relativos aos anos compreendidos entre 2008 e Maio de 2023.

A tabela final “Consumo”, representada em anexo como Tabela 3, é composta por duas colunas: Data e Consumo (em MWh).

3.3.2. Consumo elétrico em Portugal por regiões

A análise dos dados de consumo elétrico foi feita recorrendo ao *conjunto de dados* fornecido no repositório Pordata. A tabela “*Tipo de Consumo per Capita*” é o resultado da agregação de 3 fontes diferentes: a tabela “DS_Densidade_Pop_09_18”, a tabela “DS_Populacao_09_18” e a tabela “DS_Tipo_Consumo_09_18”. Esta tabela contém os dados relativos aos anos compreendidos entre 2009 e 2018.

A tabela final, representada em anexo como Tabela 4, tem como colunas: variáveis geográficas (Categoria Geográfica, Descrição Geográfica), variáveis demográficas (Idade 0-14, Idade 15-64, Idade 65 ou mais), variáveis de consumo (Doméstico, Não Doméstico, Indústria, Agricultura, Iluminação das vias públicas, Edifícios do estado, Total consumo), ano, população total e densidade populacional.

3.3.3. Fontes de energia renovável em Portugal

A análise dos dados de fontes de energia renovável foi feita recorrendo ao *conjunto de dados* fornecido no repositório pordata. Estas tabelas contém os dados relativos aos anos compreendidos entre 2009 e 2018.

A Tabela “Produção – Energia Renovável”, representada em anexo como Tabela 5 tem como colunas: variáveis de consumo (Total, Total Fontes Renováveis, Hídrica > 10MW, Hídrica < 10MW, Hídrica, Biomassa, Eólica, Geotérmica, Fotovoltaica), balanço energético e ano.

A Tabela “Consumo – Energia Renovável”, representada em anexo como Tabela 6 tem como colunas: variáveis de consumo (Total Consumo, Carvão, Petróleo, Gás Natural, Eletricidade, Total Energia Renovável) e ano.

3.3.4. Preço da energia elétrica em Portugal

A análise dos dados de preço da energia elétrica em Portugal foi feita recorrendo ao *conjunto de dados* fornecido no repositório REN. Estas tabelas contêm os dados relativos aos anos compreendidos entre 2010 e 2023 (dados até Agosto).

A Tabela “Preço Energia Elétrica Portugal”, representada em anexo como Tabela 7 é composta por 4 colunas: data, hora, consumo PT e consumo ES.

3.4. Preparação dos dados

Na fase de Preparação dos Dados, o foco está na resolução dos problemas previamente identificados durante as etapas iniciais de Compreensão dos Dados. Estas questões, se negligenciadas, têm o potencial de comprometer não apenas a qualidade dos dados, mas também a integridade dos resultados que serão apresentados. Portanto, antes de se dar início à análise de dados e às ações de visualização, é necessário garantir que os dados sejam submetidos a um tratamento adequado.

Nesta fase, é também o momento para criar variáveis a partir das já existentes, bem como adicionar variáveis externas relevantes que possam enriquecer o conjunto de dados. Apenas após a conclusão dessas ações e a construção da base de dados final, é possível prosseguir com confiança para as etapas seguintes da análise de dados.

3.4.1. Consumo total de energia em Portugal

A preparação deste conjunto de dados iniciou-se verificando inicialmente a presença de valores omissos e possíveis “outliers”. Utilizando a biblioteca Pandas, constatou-se que existia uma baixa incidência de valores omissos (inferior a 1% do conjunto de dados), levando à decisão de excluir essas linhas. Os dados encontravam-se limpos relativamente a registos duplicados e “outliers”. No entanto, observou-se que o número de registos referentes ao ano

de 2010 era consideravelmente menor em comparação com os anos subsequentes. Devido a essa lacuna nos registos diários, optou-se por utilizar os valores a partir de dia 1 de janeiro de 2011, visto que uma análise adequada do consumo de energia não seria viável com dados anteriores a essa data.

Inicialmente, esta tabela consistia em 4 colunas: Data, Hora, Consumo (MWh) e Total Comercializado (MWh). Como o objetivo para este conjunto de dados era identificar padrões de consumo e sazonalidade, removeu-se as colunas Hora e Total Comercializado. De seguida, transformou-se a coluna Data num objeto “Datetime” e definiu-se esta variável como Index, de modo a permitir uma análise através de séries temporais.

Por fim, em DAX, foram acrescentadas as variáveis “season” (caracterizando os trimestres) e “day of week” (dia da semana) para uma análise mais elaborada.

3.4.2. Consumo elétrico em Portugal por regiões

O *conjunto de dados* utilizado relativo ao consumo de eletricidade por regiões em Portugal, não continha registos duplicados nem “outliers”. Foram alteradas as unidades das variáveis relativas ao consumo de KWh para MWh ou GWh, (consoante a situação), através do DAX, e os respetivos valores arredondados de forma adequada.

Depois de averiguar o conjunto de dados em questão, verificou-se de que existia uma má formatação nos dados importados. Foi necessário exportar cada ano independentemente e retirar as linhas iniciais referentes à origem do ficheiro. De seguida, foram colocados os ficheiros na ferramenta Power BI e foi criada uma variável “Ano”, correspondente ao ano, de modo a criar uma tabela com toda a informação agrupada relativa ao consumo elétrico em Portugal.

Os dados em questão pertencem ao intervalo entre 2009 e 2018. A informação dos anos mais recentes continha valores considerados provisórios, pelo que não foram considerados. Devido à não existência de continuidade nos dados anteriores a 2009, foram utilizadas a informações a partir deste ano.

Para a obtenção desta informação, foram adquiridos 3 conjuntos de dados através do repositório Pordata, tal como indicado anteriormente. No tratamento das bases de dados, foram transformadas para as seguintes tabelas:

- “Tipo_Consumo_09_18.xlsx” para “DS_Tipo Consumo 09_18”, através da exportação dos dados, de uma modificação dos nomes das variáveis e da mudança de “Uncategorize” para “Place” na variável “Descrição Geográfica”;
- “Densidade_Populacional_09_18.xlsx” e “Pop_2009_2018.xlsx” para respetivamente “DS_Densidade_Pop_09_18” e “DS_Pop_2009_2018” através da exportação dos dados.

De seguida, realizou-se a união das 3 tabelas acima referidas, resultando na tabela “Tipo_Consumo_Per_Capita_09_18”. Além disso, foi criada uma coluna, denominada de “Consumo_Domestico_Per_Capita(MHw)” através do quociente do consumo total por município e o número total de habitantes por município. Esta coluna representa o consumo doméstico por pessoa desde 2009 a 2018.

3.4.3. Fontes de energia renovável em Portugal

Inicialmente, foi identificado a necessidade de reestruturar os ficheiros fornecidos no repositório Pordata de modo a facilitar a importação. Deste modo, foram eliminadas as primeiras 6 e últimas 20 linhas deste conjunto de dados, além de eliminadas as formatações impostas inicialmente.

De seguida, foram transformadas as seguintes bases de dados:

- Conjunto de dados referente à produção da energia elétrica para “Produção_Energia_Renovável_Portugal”, através da exportação dos dados, da criação uma coluna, denominada por “Hídrica”, obtida pela adição das colunas “Hídrica > 10 MW” e “Hídrica < 10 MW”. Após uma verificação, concluiu-se de que não existiam valores omissos, duplicados e “outliers”.
- Conjunto de dados referente ao consumo da energia elétrica para “Consumo_Energia_Renovável_Portugal”, através da exportação dos dados, da remoção da coluna “Resíduos Industriais”, e de uma conversão de tep para GWh (de modo a obter uma uniformidade na análise dos dados). Após verificação, não foram identificados valores omissos, duplicados ou “outliers”.

3.4.4. Preço da energia elétrica em Portugal

No conjunto de dados que contém os preços da energia elétrica em Portugal, verificou-se que o tipo das variáveis pertence ao tipo “object”. Deste modo, modificou-se o tipo na coluna “Data” para “datetime64”, na coluna “Hora” para “int” e nas colunas “Portugal” e “Espanha” para “float64”. De seguida, foram eliminados os registos com o valor 25 na coluna “Hora”.

Verificou-se de que existiam “outliers” no ano 2010, além de valores nulos ou aproximados de zero. Por não encontrar informação que justificasse manter esses valores, decidiu-se

remover os registos relativos ao percentil 5 e os “outliers” encontrados. Por fim, através da ferramenta “Power BI”, foram criadas duas colunas: uma com a informação relativa à altura do dia, onde se encontram 4 valores (“Manhã”, “Tarde”, “Noite” e “Madrugada”) consoante a hora do dia; a outra coluna consiste no dia de semana correspondente ao dia do ano, criada através da função do programa DAX.

De modo a comparar os valores de Portugal com o resto da Europa, foi importado um conjunto de dados através do repositório Ember com registos diários de 28 países europeus, com o período entre 2015 e 2023. Foi escolhido apenas os valores correspondentes ao preço médio de Portugal e da Europa.

CAPÍTULO 4

Análise e Modelação de Resultados

Este capítulo consiste nas últimas duas fases da metodologia CRISP-DM, cujo foco central está na comunicação eficaz das descobertas e insights obtidos.

A Modelação diz respeito à construção e implementação de técnicas e algoritmos, de modo a extrair conhecimento e informações a partir dos dados disponíveis. Esta fase desempenha um processo fundamental na procura de respostas para as perguntas realizadas inicialmente, além de ajudar na criação de soluções eficazes para os problemas abordados anteriormente. Ou seja, é nesta fase onde as teorias e hipóteses são testadas e são reveladas relações ocultas nos dados.

A Análise de Resultados desempenha um papel crítico ao destacar as principais conclusões retiradas através dos dados e a sua relevância para esta dissertação. Nesta fase, as principais descobertas são expostas, contextualizadas relativamente aos objetivos iniciais do projeto e avaliadas em termos de qualidade dos modelos, utilizando métricas de desempenho e validação cruzada. Além disso, são identificadas eventuais limitações do estudo, permitindo uma visão transparente das áreas que requerem um aperfeiçoamento. Nesta dissertação, foi utilizada a plataforma Power BI como a ferramenta fundamental para a visualização dos dados.

4.1. Consumo total de energia em Portugal

De modo a verificar a informação contida neste conjunto de dados, foi criada uma representação visual das tendências de consumo de energia em Portugal, desde 2011 a 2022. Esta análise visual é conduzida por meio de três gráficos distintos, cada um proporcionando uma visão única e valiosa da dinâmica do consumo energético no país, representado na figura abaixo.

Através da série temporal na figura 3 e do anexo 5, pode-se verificar de que estes dados contêm sazonalidade, com uma tendência ligeiramente positiva (excetuando o consumo no início do ano de 2020). Os valores do consumo mantêm-se estáveis ao longo dos anos.

Ao examinar a figura 8, que representa o consumo de energia por dia da semana, pode verificar-se uma tendência clara de diminuição no consumo médio nos fins de semana. Essa observação gera várias razões possíveis para essa redução. Uma delas está relacionada com atividade comercial e industrial, que tende a ser significativamente reduzida nos sábados e domingos. Muitas empresas trabalham durante os dias úteis, resultando numa procura mais elevada por eletricidade, iluminação e equipamentos. Nos fins de semana, esta demanda diminui, o que reduz o consumo de energia. Além disso, nos dias úteis, a mobilidade das pessoas para o trabalho e escola aumenta a procura por transporte público e pessoal.

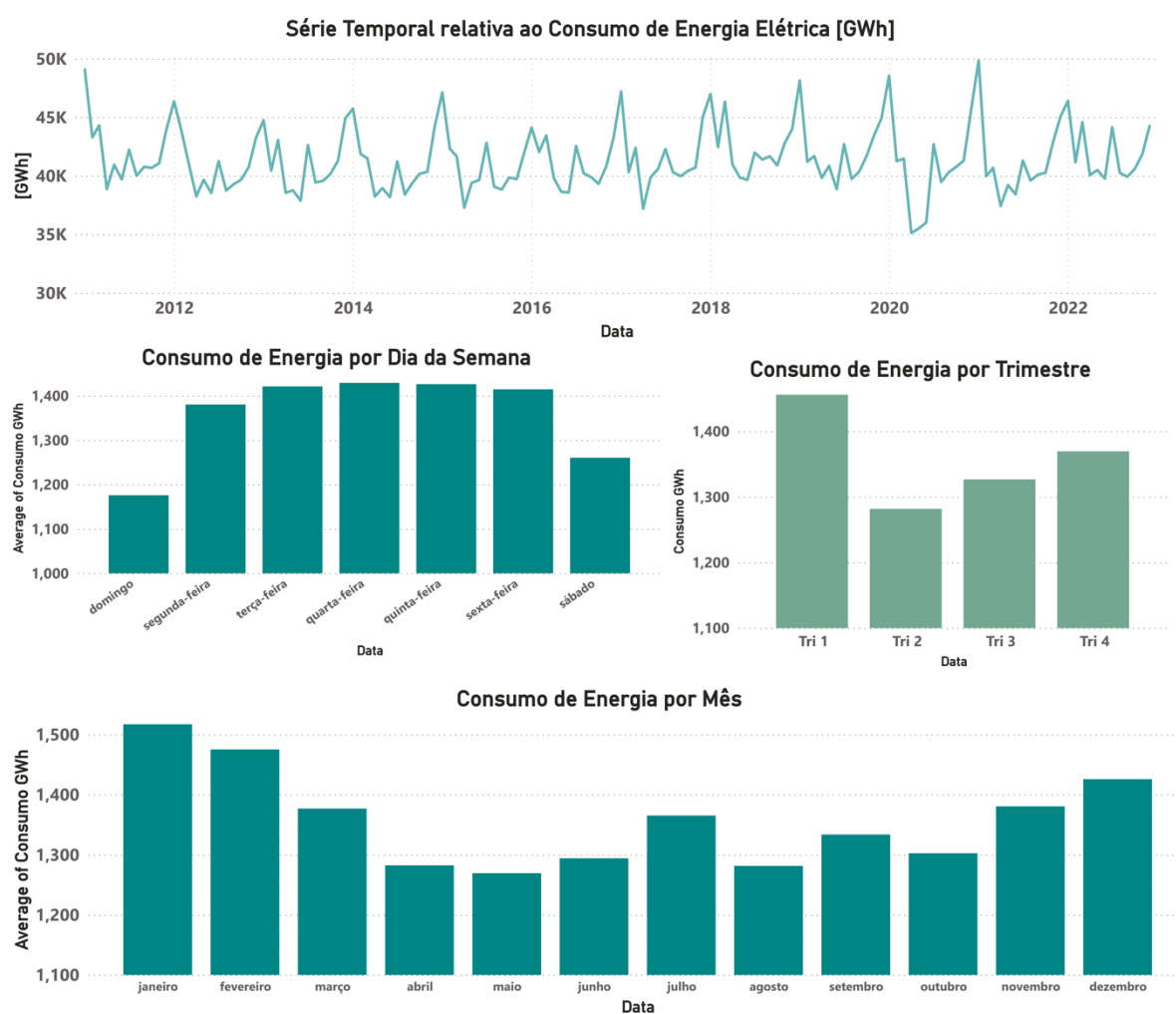


Figura 8: Representação Visual das Tendências de Consumo de Energia em Portugal

Com menos deslocamento e tráfego nos fins de semana, a necessidade de energia relacionada ao transporte diminui consideravelmente. Outro fator é a mudança no comportamento residencial. Nos fins de semana, as famílias tendem a passar mais tempo em casa, o que pode levar a uma redistribuição do consumo de energia. Enquanto pode existir um aumento no uso residencial de eletricidade para atividades domésticas (como cozinhar e entretenimento), este é compensado por uma redução nas atividades relacionadas ao trabalho e à educação (como iluminação e uso de equipamentos eletrônicos).

Por último, ao examinar o gráfico que representa o consumo de energia por mês e o consumo de energia por trimestre, pode concluir-se que os meses de Dezembro, Janeiro e Fevereiro se destacam com um consumo significativamente superior em comparação com os restantes. Estes meses, pertencentes ao Inverno, são caracterizados por terem temperaturas bastante baixas, que exigem o uso intensivo de aquecedores e sistemas de climatização de modo a manter o conforto térmico nos edifícios e nas casas. Além disso, estes meses coincidem com festas e celebrações (como o Natal, o Ano Novo, São Valentim, Carnaval, ...), o que aumenta o consumo de energia devido à iluminação decorativa, aos sistemas de som, de visualização e outras atividades sazonais.

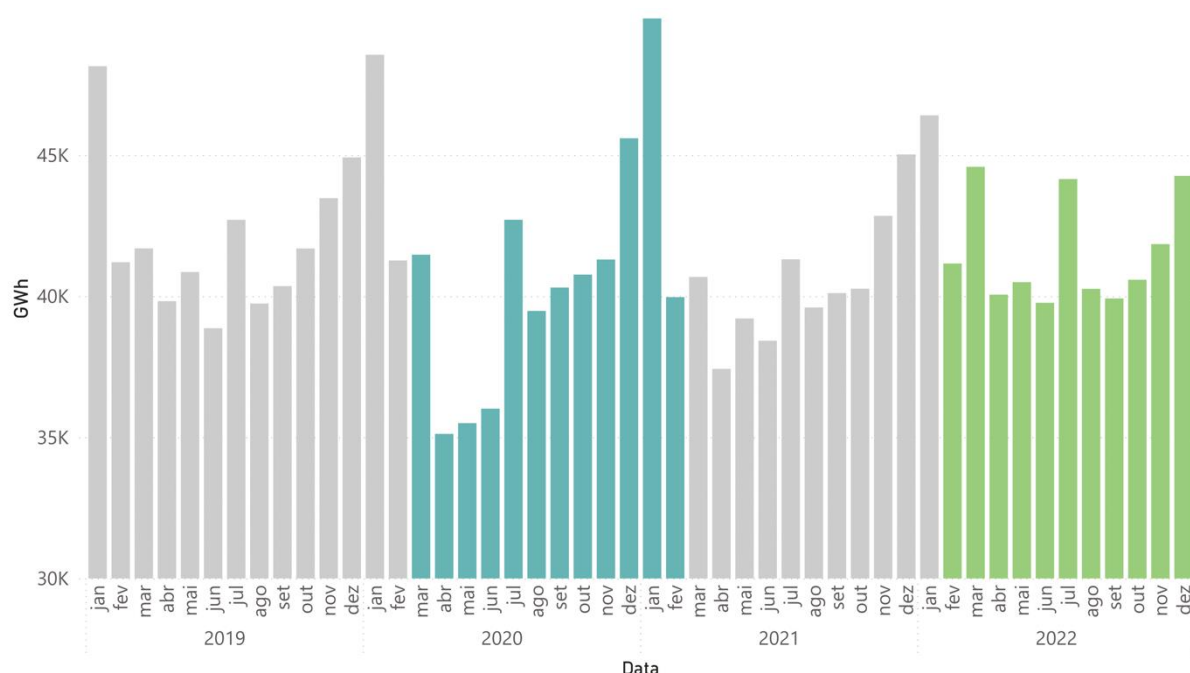


Figura 9: Consumo de energia em Portugal entre 2019 e 2022, em GWh

Desde 2020, ocorreram dois períodos temporais de grande destaque que poderiam exercer influência sobre o consumo de energia em Portugal: a pandemia COVID-19 e a guerra. Assim, o gráfico a seguir concentra-se no período de 2019 a 2022, com o intuito de avaliar possíveis alterações nos padrões de consumo.

Ao examinar o período correspondente aos primeiros 11 meses da pandemia da COVID-19, é possível notar uma diminuição de 3% no consumo em relação ao ano anterior. Além disso, observa-se que, embora os três primeiros meses após a quarentena sejam marcados por uma queda acentuada no consumo, a sazonalidade mensal permaneceu notavelmente evidente. Abril destacou-se como o mês com o menor consumo registado no conjunto de dados.

No entanto, à medida que a pandemia se desenrolou, o Outono e o Inverno mantiveram um padrão de consumo mais consistente, refletindo a semelhança nos hábitos de consumo durante esse período. Isso sugere que, apesar dos desafios apresentados pela Covid-19, o consumo energético continuou a seguir um padrão sazonal previsível durante a maior parte do ano. Por fim, pode concluir-se que o abrandamento da indústria desempenhou um papel fundamental na redução do consumo de energia em Portugal durante a pandemia.

O período após a guerra testemunhou uma semelhança nos padrões de consumo relativamente aos anos anteriores. O consumo de energia em 2022 registou, inclusivamente um aumento de 1,4% em comparação com o ano anterior. A sazonalidade mensal permaneceu notavelmente evidente, demonstrando a robustez desses padrões. A análise sugere que, apesar das repercussões desse evento geopolítico, que se traduziram em aumentos substanciais nos preços da energia, o seu impacto direto no consumo permaneceu relativamente limitado.

4.1.1. Modelação

Com base nos dados disponíveis e de acordo com os objetivos estabelecidos, foi considerado bastante relevante a criação de um modelo preditivo para o consumo de energia em Portugal. Essa abordagem visou não apenas compreender as possíveis tendências futuras de consumo, mas também a comparação dos períodos temporais analisados relativamente à previsão realizada pelo modelo.

Devido a uma grande dependência temporal no consumo de energia, foi utilizado um modelo de séries temporais. Estes modelos são especialmente adequados quando os dados exibem sazonalidade e tendência, o que é o caso neste contexto.

O procedimento de previsão escolhido para o consumo de energia foi o Prophet devido à facilidade de uso, à capacidade de lidar com diversas sazonalidades, componentes interpretáveis e robustez em relação a dados irregulares são altamente adequados às características do conjunto de dados de consumo de energia em Portugal. Além disso, a capacidade do Prophet em lidar com efeitos de feriados e eventos especiais permite uma modelagem mais precisa, considerando fatores externos que influenciam o consumo.

Antes de treinar o modelo, considerou-se como conjunto de treino os dados pertencentes ao período até dia 1 de Janeiro de 2020, exclusive e o conjunto de teste tendo a informação a partir desse dia, inclusive. Foi utilizada assim uma proporção 80-20, de modo a não arriscar um “overfitting” do modelo.

Antes de iniciar o treino do modelo, optou-se por definir o conjunto de treino os dados até dia 1 de Janeiro de 2020, excluindo esse dia, enquanto o conjunto de teste continha dados a partir desse dia, incluindo-o. Essa divisão foi estabelecida seguindo uma proporção de 80-20, um equilíbrio apropriado entre treino e teste. Ao alocar 80% dos dados para treinamento, garantiu-se que o modelo tinha uma quantidade substancial de dados para aprender os padrões subjacentes, reduzindo o risco de overfitting. Além disso, reservar 20% dos dados para teste forneceu um conjunto de validação adequado para avaliar o desempenho do modelo.

Por fim, a seleção do ponto de divisão no início de 2020 revelou-se relevante, uma vez que possibilitou a inclusão de dados no conjunto de teste que abrangem um período subsequente ao início da pandemia da Covid-19. Essa escolha foi bastante importante para avaliar o impacto de eventos significativos, como a pandemia, no consumo de energia e para compreender como o modelo lida com essas mudanças.

O gráfico seguinte apresenta a comparação entre as nossas previsões e os valores reais, permitindo avaliar o desempenho do modelo.

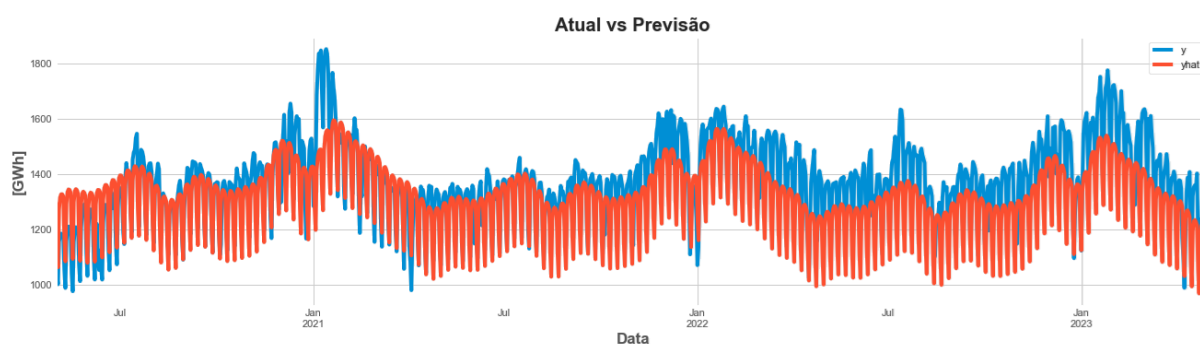


Figura 10: Comparação da previsão realizadas com os valores reais

O modelo de teste, ao analisar os dados de consumo de energia, revelou a presença de sazonalidades mensais e semanais, tal como esperado, uma vez que o consumo de energia segue padrões regulares ao longo do tempo. Além disso, o modelo identificou uma tendência negativa, que refletiu a redução no consumo que ocorreu no ano de 2020, um período marcado por eventos excepcionais.

Ao comparar os valores reais, representados graficamente em azul, com as previsões geradas pelo modelo, destacadas a laranja, é possível visualizar o quão próximas essas previsões estão da realidade observada. Além da comparação visual, foi realizada uma análise detalhada por meio de métricas de previsão, demonstrada através da Figura 11. As métricas utilizadas foram as seguintes:

- RMSE, mais conhecido por erro quadrado médio ou desvio padrão.
- MAE, mais conhecido por erro médio absoluto.
- MAPE, ou erro percentual médio absoluto.

Através dessas métricas, foi possível concluir de forma confiante que o modelo adquiriu com sucesso a sazonalidade dos dados e demonstrou ser altamente competente na tarefa de previsão.

RMSE	MAE	MAPE
80,8	59	4,42%

Figura 11: Métricas dos resultados obtidos para o modelo de consumo

Tal como anteriormente, foi feito um foco para os dois momentos críticos que poderiam resultar em diferenças significativas no consumo de energia em Portugal: a pandemia da COVID-19 e a guerra. Foram realizadas previsões específicas para estes períodos, cujos resultados são apresentados na imagem seguinte.

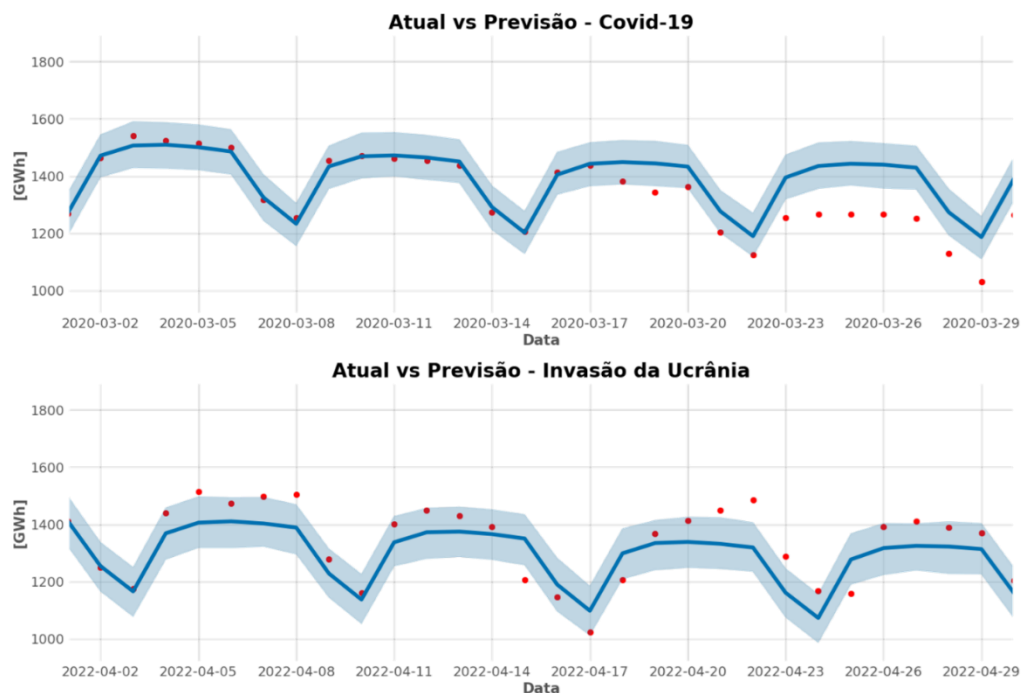


Figura 12: Previsão do consumo de energia durante o primeiro mês da Pandemia e durante o primeiro mês da guerra

No período da pandemia da COVID-19, o modelo conseguiu eficazmente reconhecer o padrão dos dados, embora tenha existido um decréscimo do consumo mais acentuado do que o previsto, refletindo os desafios imprevistos associados a este evento global. Por outro lado, no período do início da guerra, o modelo demonstrou um bom desempenho, com as previsões de consumo ligeiramente superiores ao que foi observado na realidade. Pode concluir-se que o modelo foi capaz de se adaptar adequadamente às mudanças no cenário global e prever o comportamento do consumo energético.

4.2. Consumo elétrico em Portugal por regiões

Este subcapítulo concentra-se na avaliação do conjunto de dados referente ao consumo de energia por regiões em Portugal. Com o objetivo de validar as informações contidas nesse conjunto de dados, escolheu-se desenvolver uma representação visual, que explora as tendências no consumo de energia no país entre 2009 e 2018. A avaliação do consumo elétrico através das diferentes regiões e sub-regiões proporciona uma compreensão aprofundada das variações e padrões distintos do consumo em diferentes partes de Portugal ao longo do tempo.

A figura 13 demonstra a análise inicialmente realizada por região e sub-região. Tal como esperado, as regiões com um maior consumo são as zonas do Norte, a Área Metropolitana de Lisboa e o Centro. Estas três grandes regiões são caracterizadas por uma combinação de atividades industriais, grande densidade populacional e infraestruturas desenvolvidas, fatores que contribuem para os níveis mais elevados de consumo elétrico observados. As Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira são as regiões de menor consumo em Portugal, o que é bastante expectável dada a sua condição geográfica insular, uma menor densidade populacional e uma presença industrial menos acentuada.

A análise anterior é reforçada através do gráfico por sub-região, referindo as áreas metropolitanas de Lisboa e Porto como as sub-regiões de maior consumo em Portugal e de seguida, a região de Coimbra em terceiro lugar.

Uma observação relevante ao examinar atentamente os gráficos superior esquerdo e superior direito é a constatação de que somente Lisboa e Porto mantêm sua presença em ambos. Surpreendentemente, embora Amadora possua a maior densidade populacional do país, acompanhada por Odivelas e Oeiras, não constam no top 5 de municípios com maior consumo. Isto acontece porque estas localidades são bastantes residenciais e, conseqüentemente, o seu perfil de consumo tende a ser mais orientado para necessidades básicas e domésticas, em detrimento de um consumo comercial ou de lazer mais proeminente.

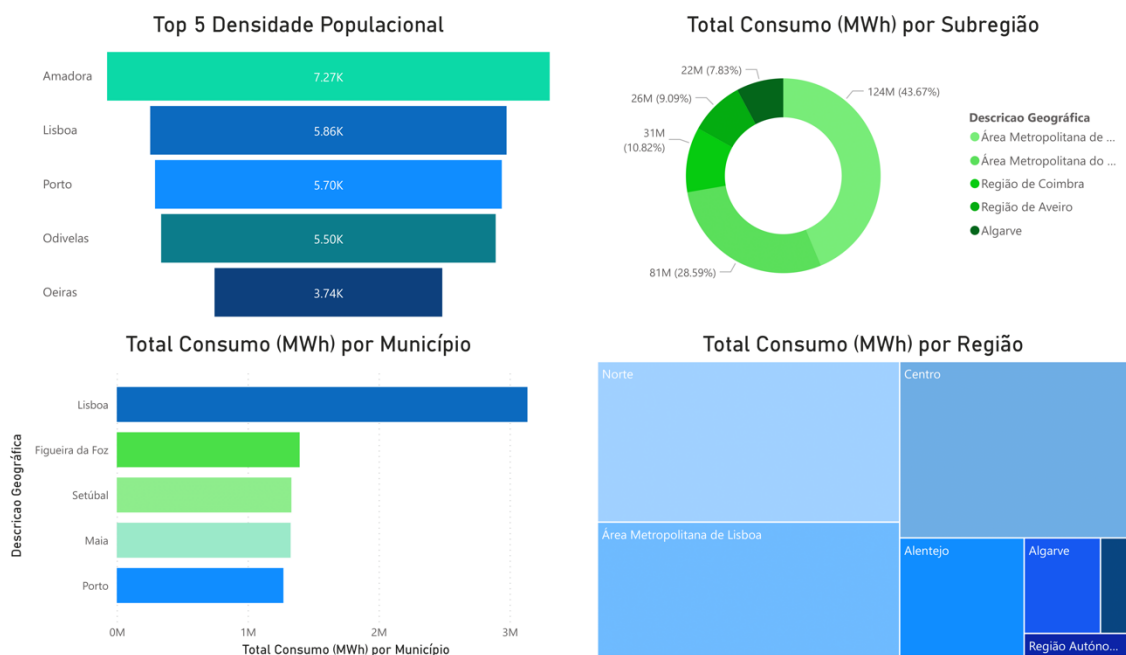


Figura 13: Representação Visual das Tendências de Consumo de Energia por Município

De seguida, fez-se um estudo de forma a verificar os tipos de consumo em Portugal, considerando sempre o seu top 5. Esta informação encontra-se abaixo, na Figura 14.

Tal como esperado, Lisboa e Porto mantêm o seu top 1 e 2 respetivamente, nos gráficos relativos ao consumo dos edifícios do Estado e da iluminação das vias públicas, além do consumo doméstico e não doméstico por município. Isso acontece devido a vários fatores:

Lisboa e Porto são a sede de muitas instituições governamentais, órgãos públicos e empresas, o que requer um alto consumo de energia para o seu dia-a-dia, em especial durante os dias da semana. Estes municípios mantêm uma grande concentração de comércio e serviços, como estabelecimentos comerciais, empresas de tecnologia e serviços, o que leva a um intenso consumo de energia.

Lisboa e Porto têm uma grande rede de serviços públicos e infraestruturas urbanas, incluindo uma extensa rede de iluminação de vias públicas, o que requer uma quantidade considerável de energia. Estes dois municípios são destinos turísticos bastante populares, acolhendo uma diversidade de eventos, desde festivais a conferências, levando a grandes picos na procura por eletricidade. Além disso, o turismo aumenta a procura por serviços como por exemplo o alojamento, a alimentação e transporte, todos dependentes de energia elétrica.

Os municípios da Figueira da Foz, Setúbal e Maia destacam-se particularmente no consumo da Indústria e da agricultura em Portugal. Estas zonas têm uma presença industrial significativa, abrigando diversos setores, como a produção alimentar, metalurgia e indústrias químicas.

Além disso, as cidades portuárias de Setúbal e Figueira da Foz, junto à proximidade da Maia com áreas portuárias, implicam um consumo energético considerável para operações logísticas e portuárias. A agricultura e a agroindústria também desempenham um papel crucial, utilizando energia para o processamento e a produção.

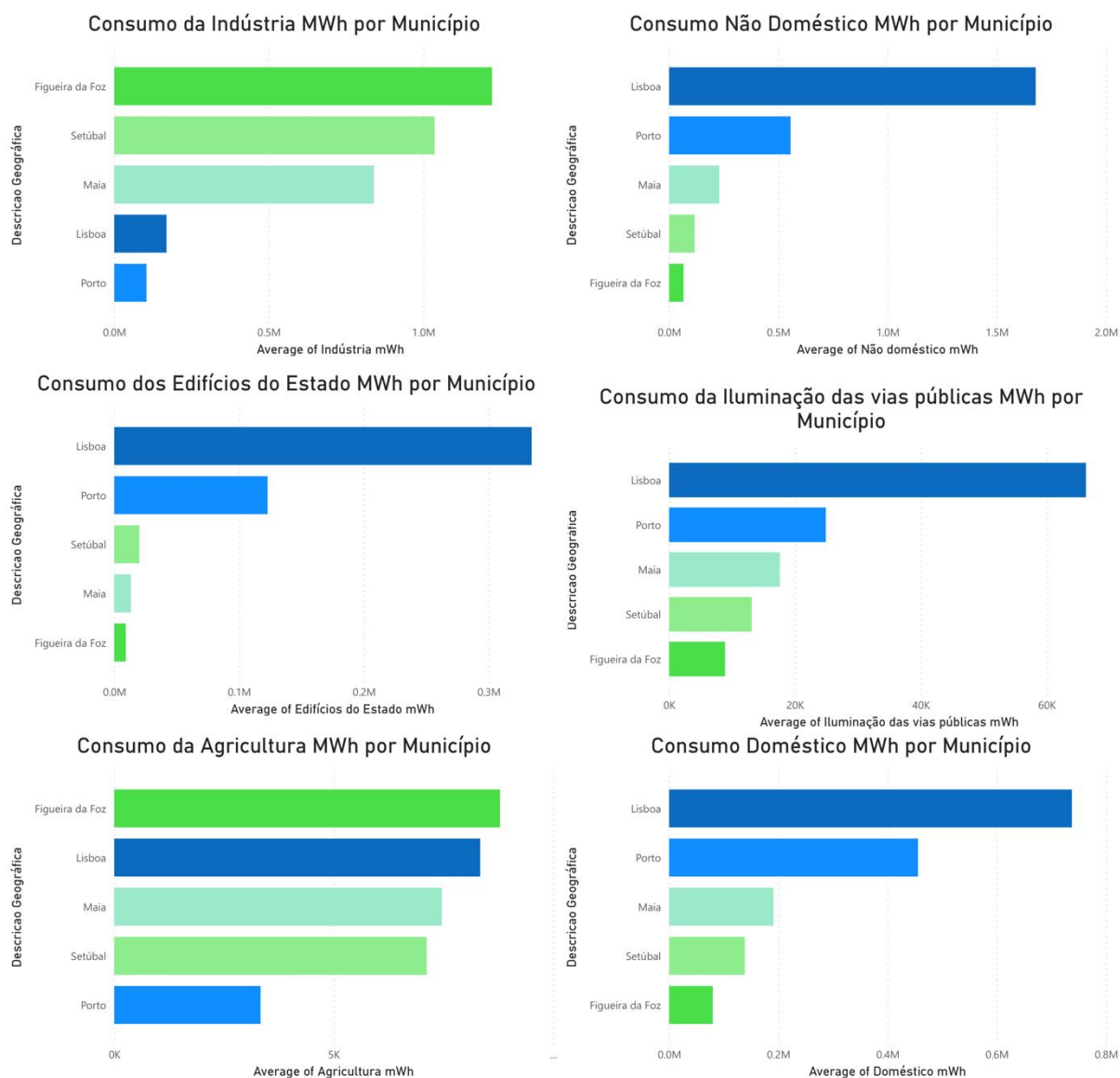


Figura 14: Representação Visual das Tendências de Consumo de Energia por Setor de Atividade

4.3. Fontes de energia renovável em Portugal

O consumo e a produção de energias renováveis desempenham um papel crucial no país, tornando-se assim elementos essenciais na criação de um país mais sustentável. Neste capítulo, são exploradas as tendências do consumo de energia em Portugal entre 2019 e 2022, utilizando diversas representações visuais que destacam, não apenas o consumo total de energia renovável, mas também a sua influência no panorama energético do país. A imagem abaixo mostra a evolução da produção e do consumo ao longo dos últimos quatro anos.

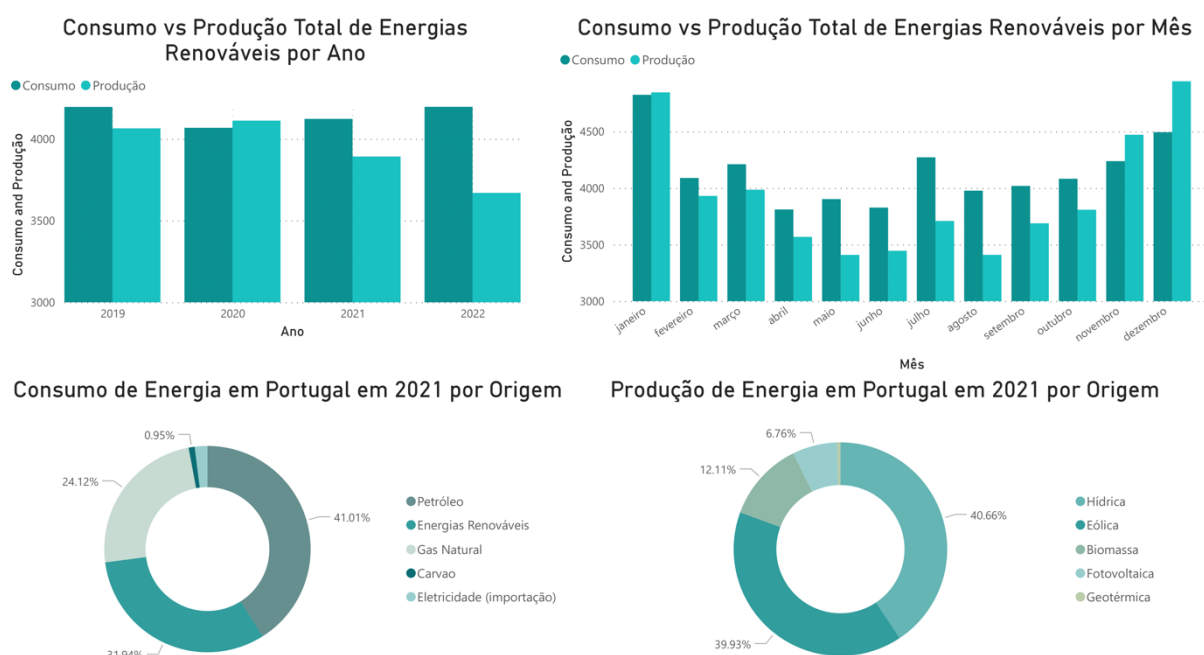


Figura 15: Representação Visual das tendências de consumo de energias renováveis

Como é possível verificar, o consumo de energias renováveis tem tido um crescimento constante. Embora o gráfico no canto superior esquerdo não mostre uma grande evolução relativamente à produção destas energias, existiu um grande progresso ao longo do tempo. A Figura 16 revela que a proporção da produção de energias renováveis em relação à produção total de energia em Portugal aumentou 250% em 2021, comparativamente com 2005.

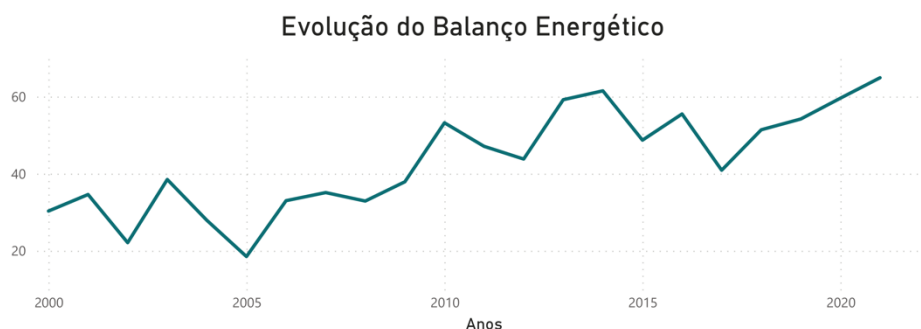


Figura 16: Evolução do Balanço Energético

Note-se que é possível a proporção de energias renováveis ter aumentado, embora o seu valor total ser inferior. Em 2021, Portugal fechou as suas duas últimas centrais termoelétricas: as centrais de Sines e de Pego. Além disso, este fecho coincidiu com um ano bastante quente e seco [34], o que dificultou a produção de energia hídrica e eólica, que consiste em 81% da energia renovável produzida neste país. O ano de 2022 manteve as características, chegando mesmo a ter valores históricos de seca e fluxos de água anormalmente baixos.

Ao observar o gráfico no canto superior direito, pode verificar-se que a produção de energia renovável apresenta uma forte sazonalidade. Tal como foi verificado anteriormente, os valores de consumo aumentam no Outono e Inverno, épocas de grandes diferenças térmicas e festividades. O mesmo acontece para a produção de energia. Essas alturas do ano são caracterizadas por ventos fortes e chuva, além de temperaturas mais baixas e as duas grandes fontes produtoras de energia em Portugal (a energia hídrica e a eólica) necessitam dessas condições meteorológicas.

O gráfico no canto inferior esquerdo revela que Portugal ainda utiliza energias não renováveis como forma de consumo. Em 2021, cerca de 32% da energia consumida foi através de energias renováveis. Essa dependência ainda significativa de energias não renováveis indica que existe um caminho a percorrer para atingir metas da sustentabilidade energética da União Europeia [35]. Apesar do desenvolvimento do uso de energias renováveis, é evidente a necessidade de aumentar esta participação no consumo energético de modo a reduzir a dependência de fontes não sustentáveis.

Ao observar a Figura 17, pode concluir-se que cada origem da produção de energia mantém o seu padrão sazonal característico. As energias eólicas e hídricas registam um aumento na produção durante os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro, devido às condições climáticas favoráveis para essas fontes. Em contrapartida, a energia solar atinge seu pico de produção nos meses mais quentes, como Junho, Julho e Agosto.

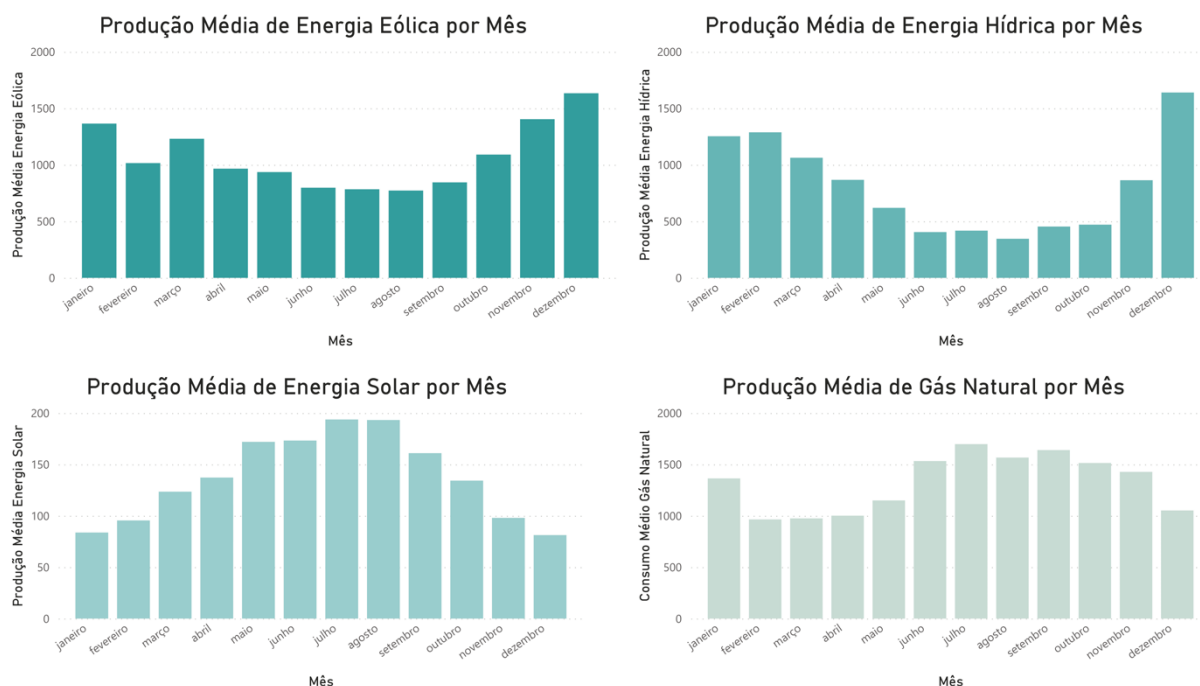


Figura 17: Produção Média de Quatro Tipos de Energias Renováveis por Mês

4.4. Preço da energia elétrica em Portugal

Depois de trabalhados os dados relativos ao preço de energia elétrica, decidiu utilizar-se uma vez mais o Power BI como ferramenta de visualização. Devido às discrepâncias encontradas entre os dados (apresentado na Figura 18), decidiu avaliar-se a informação através de três períodos temporais: de 2010 a 2019, de 2020 a 2021 (período em que decorreu a pandemia) e 2022 a 2023 (período em que decorreu a guerra).

Ao observar a evolução mensal do preço médio diário, pode verificar-se que a pandemia COVID-19 não teve um impacto muito significativo relativamente ao preço de energia, comparando com o ano anterior. O mesmo não se pode dizer relativamente ao período da guerra. Segundo Tim Gore, os anos de 2021 e 2022 revelaram um aumento na procura de energia ao mesmo tempo que existia uma redução na oferta de gás no mercado [36].

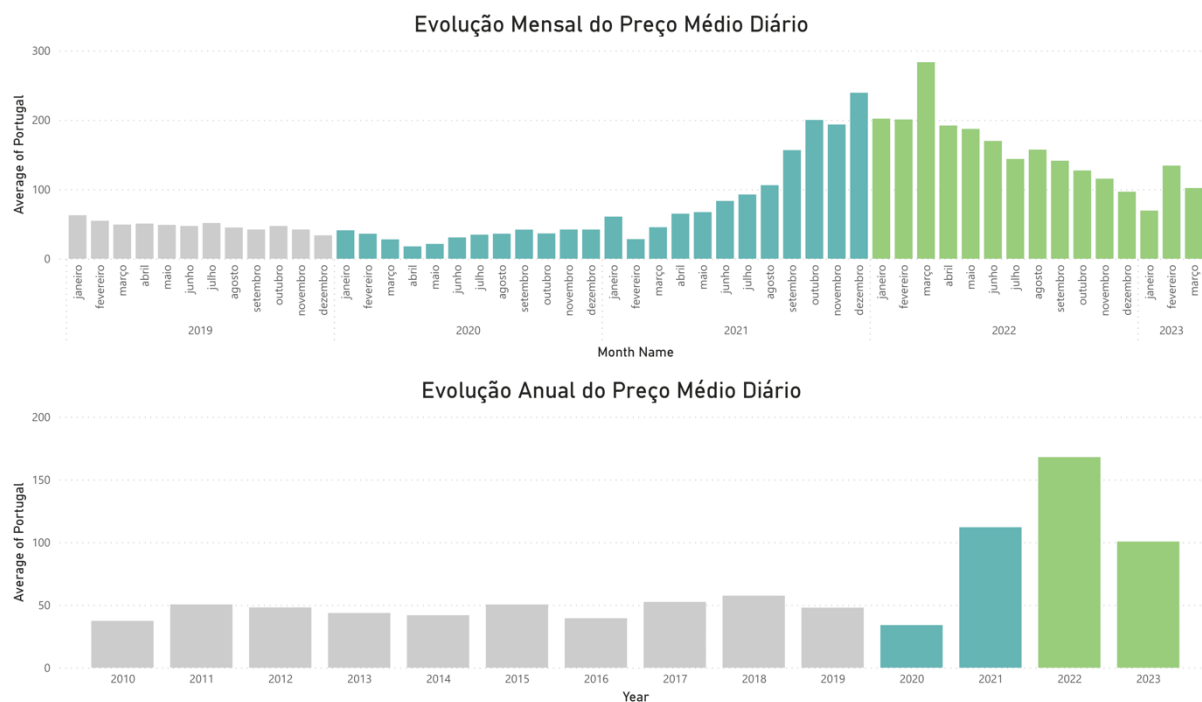


Figura 18: Evolução Mensal e Anual do Preço Médio Diário de Energia em Portugal

Quando se observa o gráfico relativo à evolução anual, é possível observar que os valores do preço médio se mantiveram estáveis entre os 30 e os 60 €/MWh durante o período que ocorreu entre 2010 e 2020. No entanto, a partir de 2021, verifica-se uma vez mais, um aumento crescente até ao primeiro trimestre de 2023. Este incremento foi bastante substancial, uma vez que o ano de 2021 teve um aumento de 134% comparando com 2019 (com um valor de 112€/MWh) e 2022 um valor de 168€/MWh (o que equivale a um aumento de 250% relativamente a 2019).

Na Figura 19, é possível que, durante a madrugada, das 1h às 6h, e no início da tarde, entre as 15h e as 17h, os preços médios diários por hora demonstram uma diminuição. Contudo, à medida que a noite avança, entre as 19h à meia-noite, observa-se um notável aumento nos custos energéticos. Este período coincide com o momento onde a maioria das pessoas se encontra nas suas casas, o que resulta num maior consumo e o consequente encarecimento da energia. Podemos verificar que existe uma variação entre 40% a 50% no preço médio diário ao longo do dia.



Figura 19: Representação Visual das Tendências do Preço Médio Diário de Energia em Portugal em três grandes períodos temporais (2010-2019, 2020-2021, 2022-2023)

Relativamente à análise por dia da semana, na Figura 20, é possível verificar que o sábado e domingo mantêm um valor inferior que os restantes dias. Analisando os gráficos à esquerda, é perceptível uma notável mudança no padrão do preço médio diário. Historicamente, os valores diários permaneceram quase uniformes ao longo da semana. Contudo, entre 2020 e 2021, observou-se um aumento notável na quinta-feira, seguido por quarta e sexta-feira, tornando estes três dias os de maior preço médio diário. A partir de 2022, houve uma alteração nesse panorama, resultando em segunda e terça-feira como os dias com preço médio diário superior.

Os gráficos à esquerda asseguram a informação dita anteriormente: que 2022 e 2023 foram anos com um valor bastante elevado, comparando com os anos anteriores. Além disso, é possível verificar que os preços médios de 2021 acabaram por inflacionar o gráfico relativo ao preço médio diário entre 2020 e 2021. De um modo geral, é possível encontrar sazonalidade nos dados (até 2021), uma vez que os últimos quatro meses do ano mantêm um preço médio diário superior, enquanto os meses de março e abril costumam ter um valor inferior.



Figura 20: Comparação das Tendências do Preço Médio Diário em três grandes períodos temporais (2010-2019, 2020-2021, 2022-2023)

Por fim, de modo a realizar uma comparação entre Portugal e a Europa, foi criado uma representação visual, presente na Figura 21, com os dados entre 2015 e 2023. Deste modo, é possível verificar que Portugal manteve sempre um valor relativamente superior à média europeia até 2021. No entanto, a Europa foi bastante afetada com a guerra, o que fez com que existisse um aumento substancial no preço médio de energia.

Além disso, o gráfico inferior esquerdo revela que, em média, Portugal regista um preço médio da energia superior ao preço médio da Europa durante cerca de 58% do ano, ou seja, durante os seis primeiros meses do ano e Outubro.

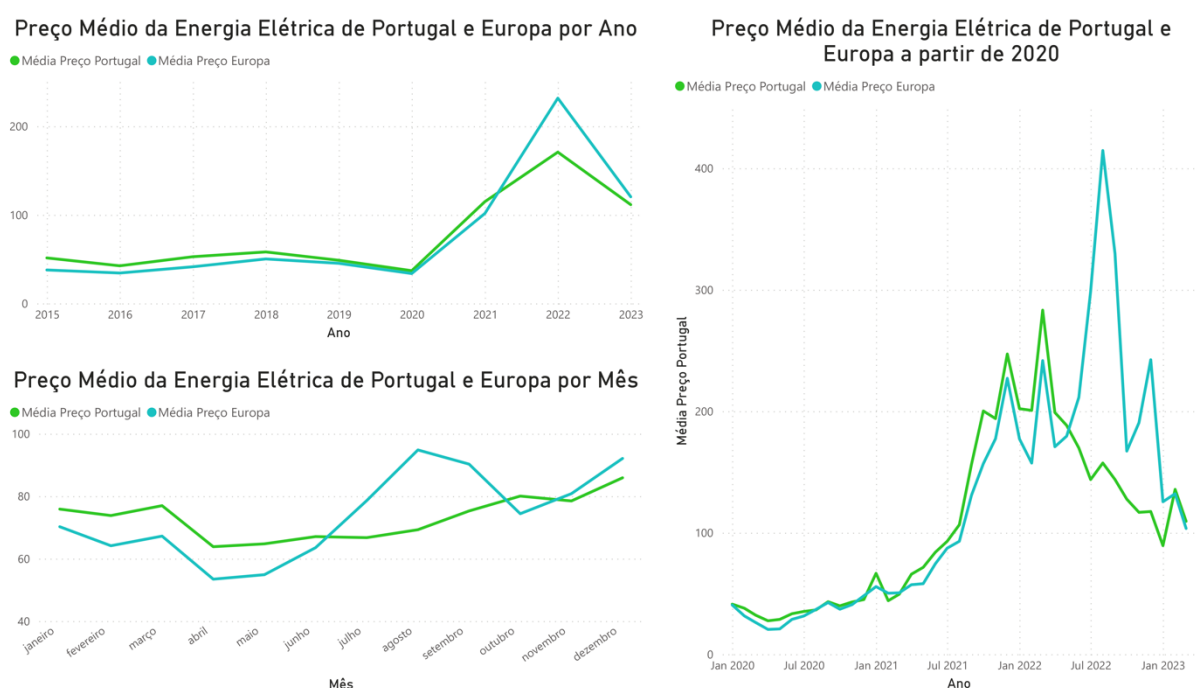


Figura 21: Representação Visual das Tendências do Preço Médio Diário de Energia de Portugal comparativamente com a Europa

4.4.1. Modelação

De seguida, foi criado um modelo preditivo de modo a efetuar predições de preços de energia. Inicialmente, foi pensado utilizar a mesma aplicação que anteriormente (Prophet).

No entanto, devido à grande subida e alteração do comportamento de preços a partir de 2021, o conjunto de treino (onde foi utilizado o intervalo de tempo entre 01-01-2010 e 12-11-2023) e o conjunto de teste (os dados a partir de 13-11-2023) acabou por ter características bastante distintas. Desta forma, o modelo apresentou métricas (apresentadas na Figura 22) correspondentes a um modelo com uma performance mais negativa.

RMSE	MAE	MAPE
88,0	65	0,42%

Figura 22: Métricas dos resultados obtidos para o modelo de predição de preços diários inicial

Para a previsão dos preços diários de energia em Portugal, foi utilizado um modelo distinto, o LSTM (Memória de Longo Prazo - Short Term Memory). Devido às particularidades do conjunto de dados, tomou-se a decisão de focar apenas nos valores a partir de 2021, inclusive. Houve uma divisão subsequente dos dados em dois conjuntos distintos: o grupo de treino, compreendendo 80% dos dados (de 01-01-2023 a 30-09-2023), e o grupo de teste, consistindo nos 20% restantes (dados a partir de 01-10-2023).

As previsões geradas pelo novo modelo, retratadas na Figura 23, demonstraram a capacidade de acompanhar as tendências identificadas nos dados reais, mantendo níveis de precisão comparáveis. Além disso, os resultados métricos observados aproximaram-se mais das expectativas estabelecidas, evidenciando a habilidade do modelo em compreender e antecipar padrões nos preços de energia.

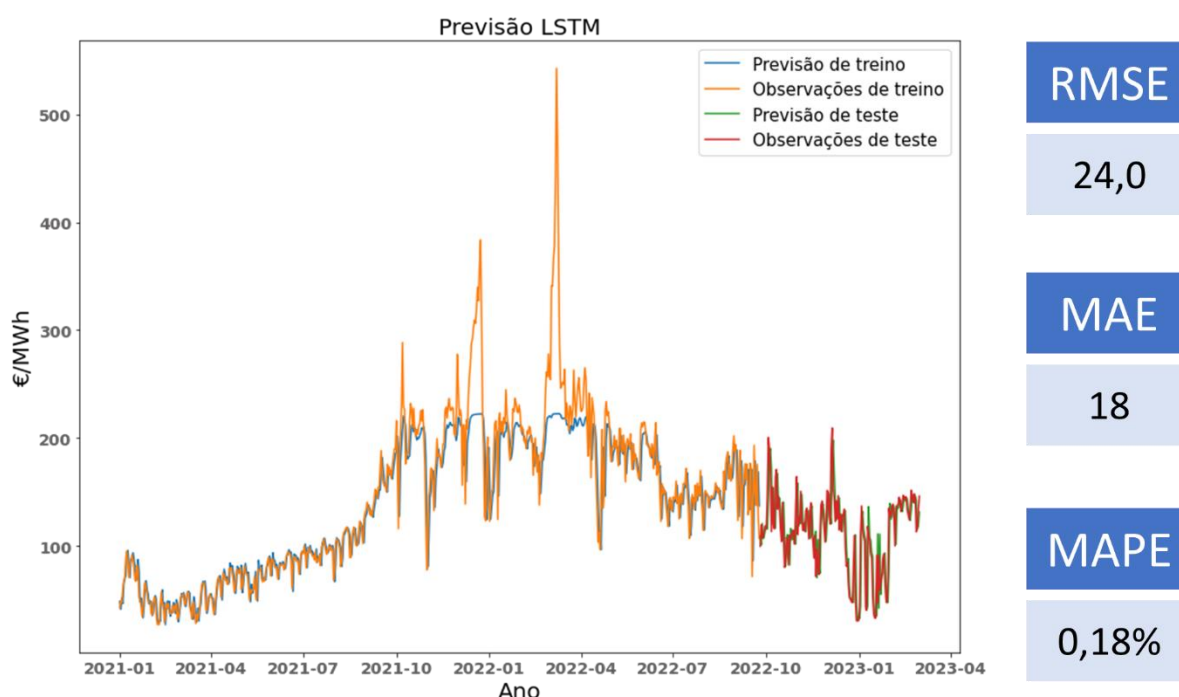


Figura 23: Métricas dos resultados obtidos para o modelo de predição de preços diários final

CAPÍTULO 5

Conclusão

A energia é uma peça vital para o funcionamento de todos os aspetos da sociedade, que sustenta e acompanha os pilares fundamentais do mundo. Esta dissertação explorou o contexto energético de Portugal, analisando o consumo total de energia e o papel das energias renováveis no panorama nacional.

5.1. Principais Conclusões

No estudo do consumo total de energia, a análise temporal revelou padrões sazonais e tendências consistentes, com picos de consumo nos meses mais frios. As temperaturas mais baixas implicam um consumo superior devido à necessidade de aquecimento. Os impactos da pandemia COVID 19 e da guerra mostraram-se visíveis nos dados, refletindo uma diminuição durante a pandemia e um retorno a padrões sazonais após o evento geopolítico. Foi utilizado um modelo de séries temporais, devido à sazonalidade dos dados. O procedimento de previsão Prophet demonstrou uma capacidade significativa de previsão e compreensão das mudanças no consumo energético.

A avaliação do consumo por região revelou grandes variações ao longo do país, destacando a concentração do consumo na área do Norte, Área Metropolitana de Lisboa e Centro. Regiões insulares como Açores e Madeira apresentam um menor consumo, devido à sua geografia e densidade populacional. A análise identificou Lisboa e Porto como líderes nos setores comerciais, infraestruturas, comerciais e residenciais, enquanto os municípios Figueira da Foz, Setúbal e Maia se destacaram na indústria e agricultura.

A investigação das fontes de energia renovável em Portugal destacou um crescimento constante, mesmo diante dos desafios climáticos que influenciaram a produção. Isso realçou a importância da diversificação dessas fontes energéticas, apesar da atual dependência ainda existente de energias não renováveis no país.

A análise temporal da energia elétrica revelou mudanças significativas, especialmente após eventos como a guerra. O comportamento dos preços variou ao longo do dia, sendo mais elevados durante as noites e evidenciando flutuações nos dias da semana, com mudanças notáveis após 2021. Inicialmente, foi utilizado o Prophet para realizar esta previsão. No entanto, devido a uma grande alteração do comportamento de preços a partir de 2021, foi necessário trocar de modelo. O segundo modelo utilizado (LSTM) demonstrou uma capacidade de previsão e adaptação a mudanças bruscas no comportamento dos preços, destacando a complexidade desse cenário.

5.2. Desenvolvimentos futuros

Devido ao volume de dados e à generalidade dos dados, não foi possível obter uma amostra de dados energéticos em Portugal com maior detalhe.

Para estudos futuros, é necessário explorar a dinâmica da energia, mapeando as diversas fontes de forma detalhada de forma a alcançar um equilíbrio na granularidade dos dados. Investigações aprofundadas neste campo vão permitir o desenvolvimento de modelos preditivos mais robustos, essenciais para a gestão em tempo real do sistema elétrico, importante devido à capacidade limitada de armazenamento de eletricidade.

Além disso, aumentar o espaço temporal e a profundidade das variáveis associadas à energia elétrica em Portugal é crucial. Isso proporcionaria a construção de modelos mais avançados, que oferecem uma perceção importante para as decisões estratégicas no setor energético. A inclusão de variáveis externas que influenciam o comportamento do consumo, juntamente com a análise de fatores, políticos, sociais e económicos iria enriquecer ainda mais a compreensão dos padrões de consumo.

Outra direção possível seria comparar os padrões identificados neste estudo com análises semelhantes realizadas noutros países. Essa comparação iria permitir identificar semelhanças e diferenças nos comportamentos do consumo de energia elétrica, contribuindo para uma visão mais ampla e contextualizada desse fenómeno a nível global.

Referências

- [1] Ó. Arce, G. Koester, e C. Nickel, «One year since Russia's invasion of Ukraine – the effects on euro area inflation», fev. 2023, Acedido: 6 de agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.ecb.europa.eu/press/blog/date/2023/html/ecb.blog20230224~3b75362af3.en.html>
- [2] «Inflação harmonizada histórica Portugal – inflação histórica Portugal HICP». Acedido: 3 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.inflation.eu/pt/taxas-de-inflacao/portugal/inflacao-historica/ihpc-inflacao-portugal.aspx>
- [3] M. Thomas, B. DeCillia, J. B. Santos, e L. Thorlakson, «Great expectations: Public opinion about energy transition», *Energy Policy*, vol. 162, p. 112777, mar. 2022, doi: 10.1016/j.enpol.2022.112777.
- [4] «The impact of electric power consumption on economic growth: a case study of Portugal, France, and Finland | Environmental Science and Pollution Research». Acedido: 12 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-19097-y>
- [5] S. Lange, J. Pohl, e T. Santarius, «Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?», *Ecol. Econ.*, vol. 176, p. 106760, out. 2020, doi: 10.1016/j.ecolecon.2020.106760.
- [6] R. Adha, C.-Y. Hong, S. Agrawal, e L.-H. Li, «ICT, carbon emissions, climate change, and energy demand nexus: The potential benefit of digitalization in Taiwan», *Energy Environ.*, vol. 34, n.º 5, pp. 1619–1638, 2023, doi: 10.1177/0958305X221093458.
- [7] P. K. R. Chowdhury, «Electricity consumption patterns within cities: application of a data-driven settlement characterization method», *Int. J. Digit. Earth*, jan. 2020, Acedido: 21 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17538947.2018.1556355>
- [8] M. Mihic, D. Petrovic, e A. Vuckovic, «COMPARATIVE ANALYSIS OF GLOBAL TRENDS IN ENERGY SUSTAINABILITY», *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 13, n.º 4, pp. 947–960, abr. 2014, doi: 10.30638/eemj.2014.099.
- [9] M. Thomas, B. DeCillia, J. B. Santos, e L. Thorlakson, «Great expectations: Public opinion about energy transition», *Energy Policy*, vol. 162, p. 112777, mar. 2022, doi: 10.1016/j.enpol.2022.112777.
- [10] I. Campos, M. Brito, e G. Luz, «Scales of solar energy: Exploring citizen satisfaction, interest, and values in a comparison of regions in Portugal and Spain», *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 97, 2023, doi: 10.1016/j.erss.2023.102952.
- [11] J. L. Aleixandre-Tudó, L. Castelló-Cogollos, J. L. Aleixandre, e R. Aleixandre-Benavent, «Renewable energies: Worldwide trends in research, funding and international collaboration», *Renew. Energy*, vol. 139, pp. 268–278, ago. 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.02.079.
- [12] L. M. Amaral e A. D. Santos, «A crise energética e o caso português», abr. 2023, Acedido: 16 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://repositorio.ual.pt/handle/11144/6328>
- [13] E. Ghiani, M. Galici, M. Mureddu, e F. Pilo, «Impact on Electricity Consumption and Market Pricing of Energy and Ancillary Services during Pandemic of COVID-19 in Italy», *Energies*, vol. 13, n.º 13, p. 3357, jul. 2020, doi: 10.3390/en13133357.
- [14] P. Jiang, Y. V. Fan, e J. J. Klemeš, «Impacts of COVID-19 on energy demand and consumption: Challenges, lessons and emerging opportunities», *Appl. Energy*, vol. 285, 2021, doi: 10.1016/j.apenergy.2021.116441.

- [15] M. Umair, M. A. Cheema, O. Cheema, H. Li, e H. Lu, «Impact of COVID-19 on IoT Adoption in Healthcare, Smart Homes, Smart Buildings, Smart Cities, Transportation and Industrial IoT», *Sensors*, vol. 21, n.º 11, Art. n.º 11, jan. 2021, doi: 10.3390/s21113838.
- [16] F. Ferriani e A. Gazzani, «The invasion of Ukraine and the energy crisis: Comparative advantages in equity valuations», *Finance Res. Lett.*, vol. 58, 2023, doi: 10.1016/j.frl.2023.104604.
- [17] M. A. Martin-Valmayor, L. A. Gil-Alana, e J. Infante, «Energy prices in Europe. Evidence of persistence across markets», *Resour. Policy*, vol. 82, 2023, doi: 10.1016/j.resourpol.2023.103546.
- [18] H. Patel e M. Shah, «Energy Consumption and Price Forecasting Through Data-Driven Analysis Methods: A Review», *SN Comput. Sci.*, vol. 2, n.º 4, p. 315, jun. 2021, doi: 10.1007/s42979-021-00698-2.
- [19] «Setor energético em Portugal», EDP Portugal. Acedido: 21 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://portugal.edp.com/pt-pt/a-edp-em-portugal/setor-energetico-em-portugal>
- [20] «ERSE - Produção». Acedido: 21 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/producao/>
- [21] «WORLDBAL_Documentation.pdf». Acedido: 3 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/25266100-859c-4b9c-bd46-cc4069bd4412/WORLDBAL_Documentation.pdf
- [22] «World Energy Statistics and Balances - Data product», IEA. Acedido: 27 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/world-energy-statistics-and-balances>
- [23] «“Com água, vento e sol para produzir 100% da eletricidade não faz qualquer sentido uma central nuclear em Portugal”, diz Matos Fernandes», *Expresso*. Acedido: 22 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://expresso.pt/sociedade/2022-03-11-Com-agua-vento-e-sol-para-produzir-100-da-eletricidade-nao-faz-qualquer-sentido-uma-central-nuclear-em-Portugal-diz-Matos-Fernandes-c1c525d3>
- [24] S. PEREIRA, «Pergunta parlamentar | Encerramento da central do Pego | E-005561/2021 | Parlamento Europeu». Acedido: 22 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-9-2021-005561_PT.html
- [25] «ERSE - Transporte». Acedido: 22 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/transporte/>
- [26] «ERSE - Distribuição». Acedido: 22 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/distribuicao/>
- [27] «ERSE - Comercialização». Acedido: 22 de outubro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/comercializacao/>
- [28] E. Gelenbe e Y. Caseau, «The impact of information technology on energy consumption and carbon emissions», *Ubiquity*, vol. 2015, n.º June, pp. 1–15, jun. 2015, doi: 10.1145/2755977.
- [29] «World Energy Consumption Statistics | Enerdata». Acedido: 3 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
- [30] «World Energy Consumption Statistics | Enerdata». Acedido: 27 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
- [31] «dgeg-aen-2023e.pdf». Acedido: 19 de agosto de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.dgeg.gov.pt/media/q0rbskz4/dgeg-aen-2023e.pdf>
- [32] «PORDATA - Ambiente de Consulta». Acedido: 21 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.pordata.pt/db/portugal/ambiente+de+consulta/tabela>
- [33] «Database - Eurostat». Acedido: 21 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

- [34] «Open Data | Electricity & Climate», Ember. Acedido: 21 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://ember-climate.org/data/>
- [35] «Statistics Portugal - Web Portal». Acedido: 14 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=539414849&DESTAQUESmodo=2
- [36] «Objetivo 55: Como é que a UE pretende impulsionar a utilização de energias renováveis?» Acedido: 25 de dezembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/infographics/fit-for-55-how-the-eu-plans-to-boost-renewable-energy/>
- [37] «Why Europe's energy prices are soaring and could get much worse», euronews. Acedido: 21 de novembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.euronews.com/my-europe/2021/10/28/why-europe-s-energy-prices-are-soaring-and-could-get-much-worse>

Anexos

Anexo A

Metadados base de dados Consumo Geral de Energia em Portugal

Nome Variável	Descrição	Tipo de Variável	Dados Primeira Linha
Data	Data	DATE	01/01/2011
Consumo	Consumo total de energia elétrica em Portugal, em MWh	FLOAT	120311,418

Tabela 3: Metadados da tabela Consumo Geral de Energia em Portugal

Anexo B

Metadados Tabela Tipo de Consumo *per Capita*

Nome Variável	Descrição	Tipo de Variável	Dados Primeira Linha
Categoria Geográfica	Concelho do país e zonas de Portugal	STRING	Município
Descrição Geográfica	Classificação da categoria geográfica em Município, NUTS I, NUTS II e NUTS III	STRING	Corvo
Ano	Ano	STRING	2018
Doméstico	Consumo de energia proveniente de consumo doméstico em Portugal, em GWh	FLOAT	616
Não Doméstico	Consumo de energia proveniente de consumo não doméstico em Portugal, em GWh	FLOAT	568
Indústria	Consumo de energia proveniente da Indústria em Portugal, em GWh	FLOAT	82
Agricultura	Consumo de energia proveniente da agricultura em Portugal, em GWh	FLOAT	103
Iluminação das vias públicas	Consumo de energia proveniente da iluminação das vias públicas em Portugal, em GWh	FLOAT	39
Edifícios do Estado	Consumo de energia proveniente de edifícios do Estado em Portugal, em GWh	FLOAT	39
Total Consumo	Consumo total de energia elétrica em Portugal, em GWh	FLOAT	1444
Densidade Populacional	Densidade Populacional, em Km ²	FLOAT	22,6
População Total	População total do concelho que é referido na Descrição Geográfica	FLOAT	388
Idade 0-14	População com idade compreendida entre 0 e 14 anos do concelho que é referido na Descrição Geográfica	FLOAT	44
Idade 15-64	População com idade compreendida entre 15 e 64 anos do concelho que é referido na Descrição Geográfica	FLOAT	266
Idade 65 ou mais	População com idade superior a 65 anos do concelho que é referido na Descrição Geográfica	FLOAT	78

Tabela 4: Metadados da Tabela Tipo de Consumo per Capita

Anexo C

Metadados Tabela Produção – Energia Renovável

Nome Variável	Descrição	Tipo de Variável	Dados Primeira Linha
Ano	Ano	STRING	1995
Total	Produção total de energia elétrica em Portugal, em GWh	FLOAT	33264
Total Fontes Renováveis	Produção total de energia elétrica através de fontes renováveis em Portugal, em GWh	FLOAT	9501
Hídrica > 10MW	Produção de energia hídrica, em Portugal, por fábricas com uma capacidade superior a 10 megawatts, em GWh	FLOAT	7962
Hídrica < 10MW	Produção de energia hídrica, em Portugal, por fábricas com uma capacidade inferior a 10 megawatts, em GWh	FLOAT	492
Hídrica	Produção de energia hídrica em Portugal, em GWh	FLOAT	8454
Biomassa	Produção de energia através de biomassa em Portugal, em GWh	FLOAT	988
Eólica	Produção de energia eólica em Portugal, em GWh	FLOAT	16
Geotérmica	Produção de energia geotérmica em Portugal, em GWh	FLOAT	42
Fotovoltaica	Produção de energia fotovoltaica em Portugal, em GWh	FLOAT	1
Balanco Energético	Percentagem de energia elétrica obtida a partir de fontes renováveis	FLOAT	28.6

Tabela 5: Metadados Tabela Produção - Energia Renovável

Anexo D

Metadados Tabela Consumo – Energia Renovável

Nome Variável	Descrição	Tipo de Variável	Dados Primeira Linha
Ano	Ano	STRING	2000
Total Consumo	Consumo de total de energia em Portugal, medido em KTEP	FLOAT	25254
Carvão	Consumo de energia proveniente de carvão em Portugal, em KTEP	FLOAT	3813
Petróleo	Consumo de energia proveniente de petróleo em Portugal, em KTEP	FLOAT	15569
Gás Natural	Consumo de energia proveniente de gás natural em Portugal, em KTEP	FLOAT	2064
Eletricidade	Eletricidade importada por Portugal, em KTEP	FLOAT	80
Total Energia Renovável	Consumo de energia proveniente de energias renováveis em Portugal, em KTEP	FLOAT	3641

Tabela 6: Metadados Tabela Consumo - Energia Renovável

Anexo E

Metadados base de dados Preços de Energia

Nome Variável	Descrição	Tipo de Variável	Dados Primeira Linha
Data	Dia, Mês e Ano do consumo	DATE	2010-01-01
Hora	Hora	INTEGER	1
Portugal	Preço da energia em Portugal, em €/MW	FLOAT	9,57
Espanha	Preço da energia em Espanha, em €/MW	FLOAT	9,57

Tabela 7: Metadados Tabela Preços de Energia

Anexo F

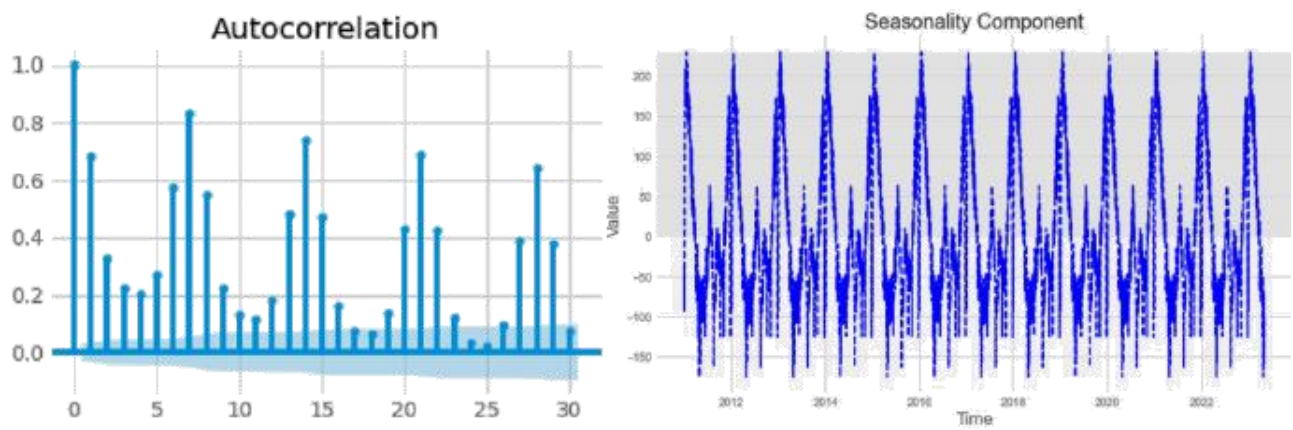


Figura 24: Autocorrelação e Análise da Componente Sazonal