



INSTITUTO
UNIVERSITÁRIO
DE LISBOA

Análise de Dados de Consumos de Energia em Portugal

Filipa Isabel Viegas Batista

Mestrado em Sistemas Integrados de Apoio à Decisão

Orientador:

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

Co-Orientador:

Professor Doutor Luís Miguel Martins Nunes, Professor Associado,
ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

outubro 2021



TECNOLOGIAS
E ARQUITETURA

Departamento de Ciências e Tecnologias da Informação

Análise de Dados de Consumos de Energia em Portugal

Filipa Isabel Viegas Batista

Mestrado em Sistemas Integrados de Apoio à Decisão

Orientador:

Professor Doutor João Carlos Amaro Ferreira, Professor Auxiliar (Com agregação),

ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

Co-Orientador:

Professor Doutor Luís Miguel Martins Nunes, Professor Associado,

ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa

outubro 2021

Direitos de cópia ou Copyright

©Copyright: Nome Completo do(a) candidato(a).

O Iscte - Instituto Universitário de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

A conclusão desta dissertação não seria possível sem o apoio de todos que, de alguma forma com a sua ajuda, contribuíram para a sua elaboração.

Aos meus pais, irmão e família, sem o apoio deles não teria sido possível concluir esta fase.

Aos meus amigos, que tanto me motivaram a concluir esta dissertação, como me ajudaram a distrair nos momentos mais complicados.

Aos professores, nomeadamente ao Professor João Ferreira e Luís Nunes, pela sua orientação e disponibilidade ao longo deste percurso.

Ao João e à Sandra, colegas de mestrado, pela ajuda e motivação durante estes anos.

A realização deste trabalho foi parcialmente financiada por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P. no âmbito do projeto UIDB/04466/2020 (ISTAR).

A todos os que enumerei o meu sincero “Obrigada”.

Resumo

Nos últimos anos o consumo de energia tem estado em constante alteração, apresentando um forte impacto nas principais variáveis económicas do país. Estas alterações estão diretamente relacionadas com um extenso número de variáveis demográficas, socioeconómicas e meteorológicas.

Apesar do consumo de energia elétrica apresentar as suas próprias especificidades, verifica-se que os mercados da energia partilham muitas das características básicas dos outros mercados na economia.

O consumo de energia é o reflexo da estrutura económica de um país e do seu nível de desenvolvimento, estando este último fator diretamente relacionado com o perfil dos consumidores.

A partir do tratamento e análise de dados de consumos de energia, é possível compreender que variáveis impactam os níveis de consumo, que por sua vez podem contribuir para a otimizar a utilização de energia e auxiliar o processo de tomada de decisão, tanto para os consumidores finais como para as empresas que operam neste mercado.

Esta dissertação pretende realizar uma análise de dados relativos a consumo de energia elétrica em Portugal nos últimos anos, bem como das principais variáveis que influenciam esse consumo, de modo a contribuir para uma caracterização detalhada de consumo elétrico.

Palavras-Chave: Consumo de energia; Padrões; Análise e tratamento de dados

Abstract

In the last years energy consumption has been in constant change presenting a powerful impact on the main economic variables of the country. These alterations are directly related with a wide range of demographic, socioeconomic and meteorological variables.

Although the consumption of electricity present their own specifics it turns out that energy markets share many of the basic characteristics of other markets in the economy.

The energy consumption is the reflex of the economic structure of a country and level of development being the latter directly related to the profile of consumers.

From the treatment and analysis of energy consumption data it's possible to understand which variables impact the consumption. Consumption patterns in turn can contribute to optimizing energy use and assisting the decision-making process for both end consumers and companies operating on this market.

This dissertation intends to carry out a data analysis on the consumption of electricity in Portugal in recent years, as well as the main variables that influence this consumption, in order to contribute to a detailed characterization of electricity consumption.

Keywords: Electricity Consumption; Patterns; Big Data Analytics

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice Geral.....	vii
Índice de Tabelas	viii
Índice de Figuras	ix
Glossário de Abreviaturas e Siglas	xi
Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Motivação	2
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Metodologia.....	3
1.5 Organização da dissertação	5
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica.....	7
2.1 Introdução	7
2.2 Metodologia PRISMA	8
2.3.1 Consumo Doméstico.....	11
2.3.2 Previsão de Consumos	14
2.3.3 Contadores Inteligentes.....	15
Capítulo 3 – Análise de Dados de Consumos de Energia Elétrica	19
3.1 Compreensão do Negócio	20
3.1.1 Energia Elétrica	20
3.1.2 Consumo de Energia Elétrica em Portugal	28
3.2 Compreensão dos Dados	31
3.2.1 Base de Dados de Consumos de Energia Elétrica em Portugal.....	31
3.2.2 Seleção das Variáveis Externas	33
3.3 Preparação dos Dados	38
Capítulo 4 - Apresentação e Análise dos Resultados.....	41
4.1 Modelação	41
4.2 Visualização dos Dados	42
Capítulo 5 - Conclusão e Trabalho Futuro	53
5.1 Principais Conclusões.....	53
5.2 Desenvolvimentos Futuros	54
Referências Bibliográficas	57

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tabela Resumo Principais Artigos	17
Tabela 2 – Descrição da Base de Dados.....	32

Índice de Figuras

Figura 1 - Fases Modelo CRISP-DM	4
Figura 2 - Fluxograma PRISMA aplicado ao caso de estudo	10
Figura 3 - Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental em setembro 2021	22
Figura 4 - Evolução da Produção de Eletricidade por Fonte em Portugal Continental..	22
Figura 5 - Evolução da Produção Elétrica versus Consumo em Portugal Continental ..	23
Figura 6 - Ciclos Horários	27
Figura 7 - Períodos Horários	28
Figura 8 - Consumo de Energia Elétrica (kWh) entre 1995 e 2019	29
Figura 9 - Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial entre 1994 e 2019.....	30
Figura 10 - Variação do PIB e consumo de energia mundial entre 1998 a 2007	35
Figura 11 - Evolução de PIB, Consumo de Energia Primária e Eficiência Energética..	35
Figura 12 - Relação entre variações no consumo de energia e temperatura.....	36
Figura 13 - Consumo de Energia (kWh) por Nível de Tensão em 2020	43
Figura 14 - Consumo de Energia (KwH) por Tipo de Instalação.....	43
Figura 15 - Consumo de Energia (kWh) por ano	44
Figura 16 - Consumo de Energia (kWh) por Ano/Mês entre 2016 e 2020	45
Figura 17 - Consumo de Energia (kWh) por Ano e Distrito	46
Figura 18 - Consumo de Energia (kWh) por fases	47
Figura 19 - Preços da eletricidade para utilizadores domésticos e industriais	48
Figura 20 – Evolução do PIB anual em Portugal	49
Figura 21 - Taxa de crescimento real do PIB	49
Figura 22 - Temperatura Média por Ano e Mês.....	51
Figura 23 - Heatmap Distribuição Consumos de Energia Elétrica em 2020 em Portugal	52
Figura 24 - Distribuição da Densidade Populacional	52

Glossário de Abreviaturas e Siglas

APREN – Associação de Energias Renováveis

AT – Alta tensão

BTE – Baixa tensão especial

BTN – Baixa tensão normal

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

GWh - Gigawatt-hora

IP – Iluminação Pública

kWh - Quilowatt-hora

MAT – Muito alta tensão

MT – Média Tensão

MWh - Megawatt-hora

PIB – Produto Interno Bruto

REN - Redes Energéticas Nacionais

TIC – Tecnologias da Informação e Comunicação

TWh - Terawatt-hora

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento

Nos últimos anos o consumo de energia elétrica tem estado em constante alteração. Segundo dados apresentados pela REN, o consumo de eletricidade atingiu em 2020 o valor mais baixo desde 2005, para 48.800 GWh, uma queda de 3,1% face a 2019 [1].

O consumo de energia tem uma importância fundamental nos indicadores económicos de um país, pois reflete o grau de industrialização, desenvolvimento, a localização e o bem-estar da população em geral. Por exemplo, países com um nível de industrialização mais elevado, apresentam consequentemente consumos de energia mais elevados. Por sua vez, países com temperaturas mais amenas, apresentam menor consumo de energia com climatização, ao inverso de países com temperaturas mais baixas e mais elevadas, que recorrem frequentemente à utilização equipamentos elétricos. Outro exemplo são as populações com melhor nível de vida que acabam por consumir mais energia em lazer, nomeadamente, na utilização de aparelhos elétricos [2].

Desta forma, o consumo está diretamente relacionado com o nível de desenvolvimento e rendimento de um país, pelo que, oscilações ao nível do consumo de energia, influenciam diretamente os indicadores do setor e do país [3].

De acordo com os valores apresentados pela *Central Intelligence Agency*, atualmente são grandes economias mundiais como China, Estados Unidos e Índia as responsáveis pelos maiores consumos de energia elétrica. Na União Europeia, a Alemanha e a França encontram-se nos maiores consumidores de energia elétrica. Portugal, apesar de não ocupar os primeiros lugares da lista, consome cerca de 47.000 milhões de kWh de eletricidade por ano [4].

Atualmente existem em Portugal quase 6,1 milhões de consumidores, sendo na sua grande maioria em Baixa Tensão, 23500 em Média Tensão e cerca de 350 em Alta e Muito Alta Tensão [5].

1.2 Motivação

O consumo de energia tem apresentado várias alterações ao longo dos últimos anos, motivadas sobretudo pela existência de fatores que afetam de forma distinta a procura desse setor [6].

A análise do impacto do consumo de energia na economia de um país envolve múltiplas dimensões relacionadas entre si, desde questões microeconómicas até fatores macroeconómicos [7]. Desta forma, características estruturais em termos de consumo de energia, têm um forte impacto na maior parte das variáveis económicas.

A análise de dados aplicada ao domínio dos consumos de energia elétrica é um dos temas que tem ganho especial atenção pelas áreas de investigação nos últimos tempos, dado que já provou ser uma ferramenta importante para auxiliar tanto os fornecedores de energia como os consumidores nos vários processos de decisão [8].

No entanto, em Portugal o consumo de energia é um tema ainda pouco trabalhado quando comparado com outros países. A informação disponível sobre o tema é fraca e os resultados obtidos carecem de coerência entre as fontes de dados, sendo que muitas vezes as diferenças encontradas são justificadas pelas metodologias utilizadas na recolha de dados, falta de representatividade das amostras, bem como diferentes níveis de desagregação da informação [9].

As constantes oscilações no consumo de energia são reflexo da estrutura da económica e do nível de desenvolvimento de cada país [10], e por isso, analisar o consumo e a maneira como os agentes económicos se comportam frente ao consumo, representam um indicador importante para o país.

Desta forma, torna-se fundamental o estudo sistemático e o cruzamento entre as principais variáveis impactantes, de modo a tentar caracterizar de forma mais detalhada possível o consumo de energia elétrica que possa servir de instrumento para os principais intervenientes no setor.

1.3 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação consiste na análise detalhada de consumos de energia elétrica em Portugal que possa servir de base à tomada de decisão dos vários intervenientes no setor, sejam consumidores ou comercializadores.

Para tal, pretende-se realizar uma caracterização detalhada do consumo de energia elétrica em Portugal, com base na análise de dados de consumos entre os anos 2016 e 2020, assim como o cruzamento com as principais variáveis explicativas e que influenciam diretamente este consumo.

Através dos resultados adquiridos será possível obter uma descrição do perfil de consumo do setor elétrico em Portugal e, posteriormente, a identificação das principais variáveis justificativas.

Desta forma, o trabalho desenvolvido nesta dissertação pretende contribuir para a validação e interpretação de dados relativos ao consumo de energia elétrica em Portugal, assim como dos aspetos estruturais que afetam diretamente o consumo do setor, de forma a descrever o comportamento do setor.

Após esta análise pretende-se também, como objetivo complementar, a construção de um conjunto de *dashboards* que permitam a visualização detalhada da informação de modo a facilitar a tomada de decisão pelos agentes responsáveis pelo setor.

Para atingir os objetivos propostos, foram utilizadas duas ferramentas de análise de dados: o software *Python* para tratamento dos dados e *Power BI* para visualização e apresentação dos dados analisados.

1.4 Metodologia

Para analisar a relação entre o consumo de energia elétrica e as principais variáveis explicativas, de forma a fornecer informações chave aos principais intervenientes do setor, recorreu-se à metodologia CRISP-DM (*Cross Industry Standard Process for Data Mining*), metodologia padrão em processos de análise e tratamento de dados. Por outras palavras, esta metodologia permite transformar os dados de uma empresa em conhecimento e informações de gestão [11].

A Figura 1 representa o processo iterativo da metodologia CRISP-DM e como as várias fases se relacionam entre si.

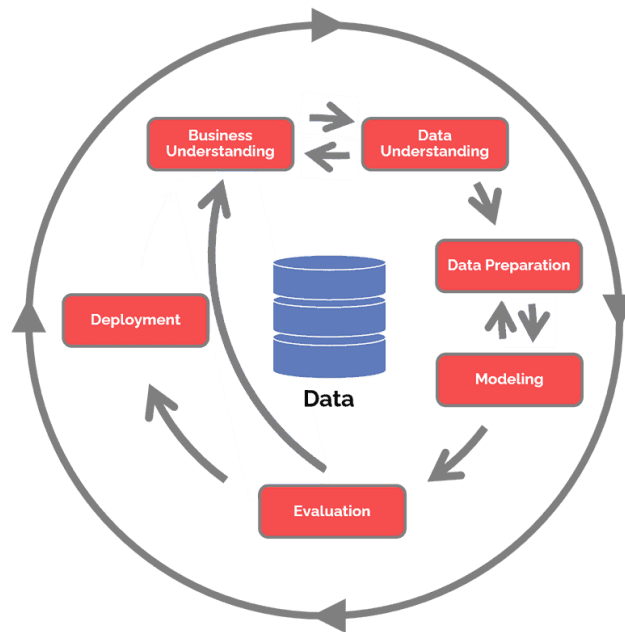


Figura 1 - Fases Modelo CRISP-DM (Data Science Process Alliance, What is CRISP DM? [11])

A metodologia CRISP-DM divide-se nas seguintes fases [12]:

- **Business Understanding:** consiste na identificação das reais necessidades da área;
- **Data Understanding:** diz respeito a recolher, organizar e documentar todos os dados que se encontram disponíveis para realizar a análise pretendida. Pode ser necessário utilizar diversas fontes de dados, no entanto, é importante considerar como e quando integrá-las na análise;
- **Data Preparation:** nesta etapa, é importante tratar os dados de forma a garantir que as informações estão de acordo com o esperado. É ainda nesta fase que deve ser tratada a consistência de erros e o tratamento dos valores, para que seja possível selecionar amostras aleatórias e utilizá-las para treino e testes. Também é necessário definir métodos de avaliação dos modelos, para que na próxima etapa seja possível avaliar o desempenho dos dados antes mesmo de serem avaliados na parte final;
- **Modeling:** fase para definir quais os modelos a testar;
- **Evaluating:** nesta fase, é preciso avaliar os resultados e levantar todas as possibilidades de variações que os dados possam ter, analisando até que ponto

o modelo atende aos objetivos pretendidos. Caso o modelo não esteja definido como esperado, é necessário retornar à primeira etapa para entender o objetivo e os dados. É também importante nesta fase, sumarizar os resultados em termos de critérios de sucesso definidos no início. O resultado do modelo deve ser satisfatório tecnicamente e responder às necessidades identificadas;

- **Deployment:** fase final, onde o modelo é enviado para produção e implementado.

1.5 Organização da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos principais, com a seguinte estrutura:

- **Capítulo 1 (Introdução):** Fase inicial onde é feito um enquadramento ao tema, assim como a motivação, definição dos objetivos, descrição da metodologia utilizada para análise de dados e a organização da dissertação;
- **Capítulo 2 (Revisão Bibliográfica):** Nesta fase é apresentado o Estado da Arte sobre consumos de energia elétrica, baseado na análise de vários trabalhos relevantes realizados anteriormente sobre o tema e explorando diversas fontes como apoio;
- **Capítulo 3 (Análise de Dados de Consumos de Energia Elétrica):** Consiste nas três primeiras fases da implementação da metodologia *CRISP-DM*, através da apresentação do Compreensão do Negócio, Compreensão dos Dados e Preparação dos Dados. É apresentado o paradigma atual do consumo de energia elétrica em Portugal, assim como os principais conceitos sobre o tema;
- **Capítulo 4 (Apresentação e Análise dos Resultados):** Diz respeito à implementação das restantes fases da metodologia, nomeadamente a Modelação e Visualização dos Dados. Corresponde à fase mais prática da dissertação, em que é aplicada a técnica de análise de dados e são apresentados os principais resultados obtidos, assim como a respetiva discussão dos mesmos;
- **Capítulo 5 (Conclusão e Trabalho Futuro):** Por fim, são apresentadas as principais contribuições com o desenvolvimento desta dissertação, assim como uma proposta de desenvolvimento futuro.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

2.1 Introdução

Ao analisar dados de consumos é possível fornecer *insights* aos principais agentes do setor energético, sejam comercializadores ou consumidores finais, de forma a melhorar a utilização e rentabilização de energia. Por outro lado, ao analisar o consumo de energia é também possível identificar padrões de consumo de um país e dos consumidores [13].

A literatura sobre o impacto do consumo de energia é extensa e tem ganho especial interesse nos últimos anos [7]. O consumo de energia tem estado em constante oscilação, e por isso torna-se importante compreender as causas raiz que impactam este setor.

Este capítulo visa apresentar o panorama geral dos estudos realizados sobre o tópico “Consumo de Energia Elétrica”, tema analisado no decorrer desta dissertação.

Para tal, realizou-se uma análise da bibliografia disponível nas bases de dados *Google Scholar* e *Scopus*, que disponibilizam produções científicas nacionais e internacionais reconhecidas pela comunidade científica.

Logo numa fase inicial, foi possível concluir que se a pesquisa for realizada de forma mais abrangente, apenas com a expressão “*energy consumption*” ou “*electrical consumption*”, o número de documentos é bastante elevado. Desta forma, houve a necessidade de reduzir o âmbito de pesquisa de acordo com tema desta dissertação.

De seguida são apresentados os procedimentos e critérios utilizados para pesquisa das principais publicações nas bases de dados *Google Scholar* e *Scopus*.

Inicialmente a pesquisa focou-se nos termos “*energy consumption patterns*” e “*electricity consumption patterns*” em títulos de documentos, resumo e palavras-chave, excluindo assim os artigos que não contemplassem uma destas expressões em algum dos campos.

De forma a restringir esta pesquisa foram aplicados ainda alguns critérios, nomeadamente para limitar o Tipo de Documento a Artigos e escritos em Inglês.

Assim, obteve-se a seguinte *query*:

TITLE-ABS-KEY ("electricity consumption patterns" OR "energy consumption patterns") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))

Através do *Google Scholar*, ao realizar a mesma experiência de análise por “*energy consumption patterns*” e “*electricity consumption patterns*” foram obtidos cerca de 1 664 trabalhos desde 2017, sendo que apenas 78 são artigos escritos em Inglês ou Português.

Após este trabalho de pesquisa nas bases de dados utilizadas, foi possível verificar que ambas apresentam um elevado número de trabalhos realizados relativos ao tema consumo de energia elétrica, o que demonstra a importância deste tema para os investigadores e para a sociedade atual. No entanto, o consumo de energia em Portugal não é um tema muito analisado quando comparado com outros países, existindo poucos trabalhos realizados até ao momento.

2.2 Metodologia PRISMA

De forma a auxiliar a análise dos documentos selecionados nas duas bases de dados, *Google Scholar* e *Scopus*, recorreu-se à metodologia *PRISMA*.

A metodologia *PRISMA* consiste na Identificação, Seleção, Elegibilidade e Inclusão dos dados nas análises estatísticas da meta-análise [14].

Moher et al. [14] analisaram e identificaram instruções para a condução de revisões sistemáticas, realizando várias evoluções práticas e conceituais das etapas a seguir neste tipo de estudo sistemático. Estas etapas foram denominadas de *PRISMA* (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*), que consistem numa série de protocolos sugeridos durante as várias etapas de revisões sistemáticas, expostas num fluxograma. Este protocolo tem como propósito apresentar de forma sequencial a condução do estudo.

Apesar de não ser obrigatória a apresentação do fluxograma *PRISMA*, a utilização deste método em estudos com o propósito de publicação pode tornar-se um indicador relevante em trabalhos de revisões sistemáticas. Além do fluxograma, o *PRISMA* propõe uma relação com 27 recomendações para condução de revisões sistemáticas e meta-análise [14].

Para seleção e análise dos documentos analisados nesta dissertação, recorreu-se à aplicação do fluxograma proposto por Moher, D. et al. [14] de forma a auxiliar este processo.

Na fase de Identificação, iniciou-se a análise com um total de 261 artigos: 78 do *Google Scholar* e 183 retirados do *Scopus*, obtidos através dos critérios explicados anteriormente.

Passando para a fase de Seleção, e iniciando pela remoção dos duplicados foi possível reduzir os artigos para 256. De seguida, foram aplicados alguns filtros de forma a reduzir o número de documentos. Optou-se por selecionar apenas os artigos publicados dentro da área de estudo “*Energy*”, que contivessem o termo “*Electricity Consumptions*” e em que o ano de publicação superior a 2015.

Já na fase da Elegibilidade, onde se iniciou com 92 artigos para leitura do resumo, foram excluídos 32 logo pelo título, dado ser possível concluir que o conteúdo não ia de encontro ao tema analisado nesta dissertação. Posteriormente, após a leitura do resumo, foi possível reduzir 25 artigos. Desta forma, chegou-se à fase de Inclusão com 35 artigos selecionados para leitura integral e análise neste capítulo.

A Figura 2 representa o fluxograma obtido com a aplicação da Metodologia *PRISMA*, assim como a informação relacionada com cada etapa do processo.

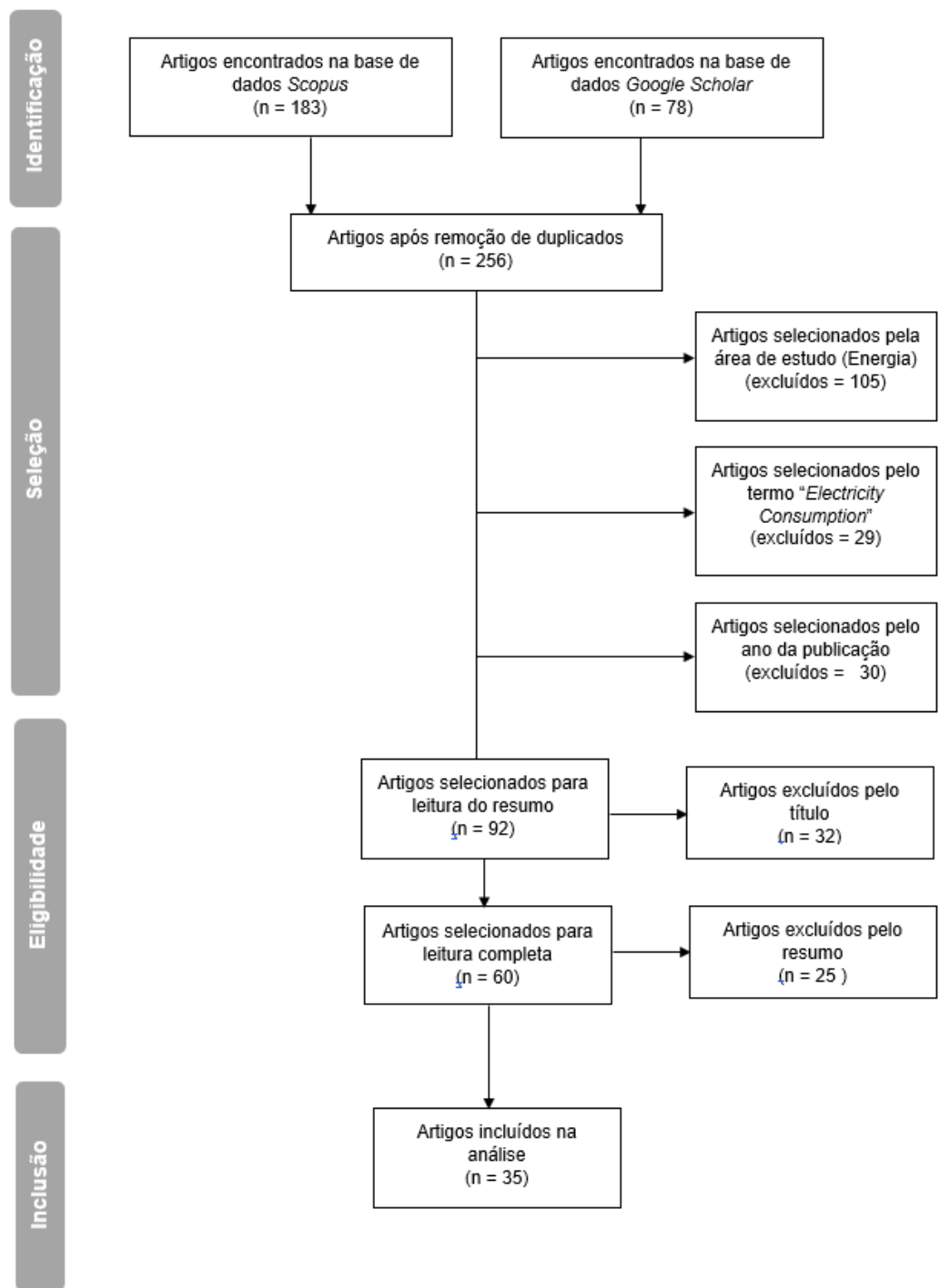


Figura 2 - Fluxograma PRISMA aplicado ao caso de estudo

2.3. Consumo de Energia Elétrica

O consumo de energia tem um impacto significativo a nível ambiental e social, e por isso, o interesse pela análise de dados aplicada ao domínio deste tema tem aumento nos últimos tempos, sendo um dos assuntos mais tratados pela comunidade científica dentro desta área de estudo [13].

Uma análise eficaz dos dados armazenados e relacionados com este setor só é possível através da computação, nomeadamente de técnicas de análise e tratamento de dados específicas. Atualmente, os principais estudos desta área focam-se na identificação e caracterização de padrões de consumo e na previsão de consumos de energia [13].

Se por um lado, a previsão da procura de eletricidade é um fator muito importante para o fornecimento de energia e para a proteção ambiental [15], a compreensão dos padrões de consumo de energia beneficia tanto os comercializadores do setor, como os consumidores, pois pode auxiliar na melhoria da gestão e das estratégias de utilização da energia [16], daí a relevância do seu estudo e análise.

Outro aspeto chave na análise de padrões de consumos é a conceção de estruturas tarifárias e preços específicos através da identificação e caracterização de perfis homogêneos de consumo de eletricidade [17].

2.3.1 Consumo Doméstico

No contexto atual, a identificação de diferentes padrões de consumo de energia doméstica é de grande importância para a formulação de políticas refinadas de conservação de energia e de redução de emissões [18].

Com o contributo das investigações e análises realizadas nos últimos anos, foi possível comprovar que existe uma diferença significativa nos consumos de eletricidade dos diferentes consumidores, pelo que o reconhecimento e a extração dos padrões pode ajudar a compreender este comportamento e apoiar as decisões do mercado [19].

As análises energéticas urbanas são severamente limitadas pela falta de dados reais sobre consumos energéticos urbanos, dado que tais conjuntos de dados são praticamente inexistentes, por exemplo em países em desenvolvimento. No entanto, países em vias de desenvolvimento também têm sido utilizados como objeto de estudo. De acordo com as projeções atuais, a maior parte do crescimento urbano está destinado a ocorrer nestas regiões com poucos dados, levando assim a uma necessidade urgente de

métodos de investigação para monitorizar e quantificar os padrões de utilização de energia urbana [20].

Uma compreensão abrangente dos padrões de consumo de eletricidade residencial e como se relacionam com as características domésticas pode contribuir também para a melhoria da eficiência energética e para a redução do consumo de eletricidade no sector residencial [21].

Atualmente, as áreas urbanas consomem cerca de 75% do fornecimento global de energia primária, que se espera venha a aumentar significativamente no futuro devido ao substancial crescimento urbano [20].

Quando analisados dados de consumo de energia, são identificados padrões e comportamentos de consumo de eletricidade sazonais, assim como a relação entre a temperatura e a procura de eletricidade.

Por outro lado, é possível afirmar que o consumo de eletricidade no setor residencial é uma função do hábito dos consumidores, do rendimento, dos preços da eletricidade, do clima, do uso de eletrodomésticos e de outros fatores socioeconómicos e demográficos [22].

Um estudo realizado em 2011 examinou as características sazonais do consumo de eletricidade em Hong Kong, uma cidade subtropical com 7 milhões de pessoas. Utilizando os dados de janeiro de 1970 a dezembro de 2014, foram obtidos dois modelos sazonais não lineares para o consumo de eletricidade nos sectores residencial e comercial. Os modelos mostram que os padrões mensais de consumo de eletricidade residencial e comercial da cidade têm variações sazonais diferentes, especificamente, o consumo mensal de eletricidade residencial (principalmente para aparelhos e refrigeração no Verão) tem uma relação quadrática com a temperatura média mensal do ar, enquanto que o consumo mensal de eletricidade comercial tem uma relação linear com a temperatura média mensal do ar. Os modelos sazonais não lineares foram utilizados para prever o consumo de eletricidade residencial e comercial para o período Janeiro de 2015 a dezembro de 2016. As correlações entre os valores previstos e reais foram de 0,976 para o consumo de eletricidade residencial e de 0,962 para o consumo de eletricidade comercial, respetivamente, comprovando assim a relação direta com as variações sazonais de temperatura [23].

Outro caso de estudo realizado na cidade de Nanjing e Yancheng, província de Jiangsu, China, os resultados indicaram que: (1) A volatilidade do consumo de eletricidade é maior no Inverno e no Verão do que na Primavera e no Outono. (2) As altas temperaturas no Verão e as baixas temperaturas no Inverno têm uma influência acentuada no consumo de eletricidade. No entanto, o pico de consumo de eletricidade fica um ou dois dias atrás do pico de temperatura no Verão, e o tempo de resposta dos consumidores torna-se mais curto à medida que a frequência dos picos de temperatura aumenta [24].

Ao analisar dados de consumo diário de eletricidade de 300 utilizadores residenciais numa cidade oriental da China, Kunshan, de 16 de novembro de 2014 a 16 de dezembro de 2014 foi possível mostrar que a maioria dos utilizadores residenciais na cidade, quase 81%, têm um padrão semelhante de consumo mensal de eletricidade. O seu consumo médio diário de eletricidade é de cerca de 7,73 kWh no início do Inverno, com pequenas flutuações. Além disso, o consumo diário de eletricidade destes utilizadores está significativamente associado às mudanças de temperatura [25].

Num estudo realizado em 2019 por Diaz-Acevedo J.A., et al. [26], foi também determinada a influência do nível de ocupação horária nos padrões de consumo. Os resultados mostraram uma relação estreita entre os padrões de consumo e a ocupação horária, isto é, os intervalos de procura máxima e mínima dos dados medidos e calculados exibiram um elevado nível de semelhança.

Outra investigação recente realizada sobre a procura de eletricidade residencial explorou a segmentação do perfil de consumo através da análise de agregados combinados com dados descritivos da habitação e dos ocupantes, o que explicou parcialmente os padrões de consumo e até que ponto as residências com características semelhantes têm padrões de consumo de eletricidade semelhantes. Este estudo combinou dados de registo baseados na população com consumo horário de eletricidade para uma amostra de 67 residências dinamarquesas. Foi selecionado um grupo homogéneo de famílias com base em vários indicadores que sinalizam vulnerabilidade. O grupo específico alvo desta investigação abrangia agregados familiares unipessoais, mais idosos e de baixos rendimentos em habitações unifamiliares. Os resultados finais indicaram quatro perfis familiares vulneráveis distintos, caracterizados por diferentes horas de início e fim das horas de ponta e fora de ponta, intensidades de pico, e consumo global, que variam ao longo das estações do ano. Estes perfis foram ainda analisados e discutidos

relativamente ao desempenho das práticas quotidianas e à conceção de estratégias de gestão do lado da procura dirigidas aos agregados familiares vulneráveis [27].

Wang, C. et al. [16] realizaram uma investigação onde analisaram técnicas de aprendizagem não supervisionadas em dados de consumo, para dividir os utilizadores de aquecimento urbano em *clusters* separados, de modo a que os utilizadores no mesmo *cluster* possuam padrões de consumo semelhantes. Tendo em conta as características de utilização do calor, são propostas três novas abordagens de extração de características de padrões a partir de dados de consumo. Os resultados podem revelar padrões típicos de consumo diário quando o consumo linearmente relacionado com a temperatura ambiente é removido. Os utilizadores com utilizações de calor altamente desequilibradas dentro de um determinado período de tempo ou altamente consistentes com a carga de produção de calor dos serviços públicos também podem ser agrupados. Esta análise permitiu facilitar o conhecimento sobre os comportamentos dos utilizadores de aquecimento urbano e que pode potencialmente ser utilizado para formular novas soluções de preços e de redução de energia.

2.3.2 Previsão de Consumos

Atualmente, a previsão da procura de eletricidade é um problema muito importante para o fornecimento de energia e para a proteção ambiental [15].

Por outro lado, a previsão de energia é uma parte integrante da filosofia de conceção da resposta à procura de sistemas de energia, permitindo aos comercializadores do setor compreender os padrões de consumo de eletricidade dos seus clientes e ajustar os sinais de preços em conformidade, a fim de lidar mais eficazmente com a procura de carga [28].

No entanto, é necessária uma previsão exata da procura de eletricidade para desenvolver um sistema de energia eficiente e sustentável. A procura total de toda a região pode ser desagregada a diferentes níveis, produzindo assim uma estrutura hierárquica. Na previsão hierárquica da procura, a precisão da previsão e a consistência agregada entre níveis são duas questões importantes [29].

Lee, H.-Y. et al. [30] realizaram um estudo onde procuraram prever a quantidade de procura de energia, considerando o crescimento urbano como um fator crucial para investigar onde e quanta energia é necessária. Para tal, foi utilizada uma rede neural artificial para prever padrões energéticos no Vietname, que é um país em rápido

desenvolvimento e procura ter um abastecimento energético adequado. Os fatores de crescimento urbano, população e intensidade luminosa noturna foram recolhidos como um indicador da utilização de energia. O modelo de crescimento urbano proposto é formado com dados dos anos 1995, 2000, 2005 e 2010, e prevê a distribuição da luz em 2015. Foi ainda validado o modelo comparando o resultado previsto com dados de luz reais para mostrar as características espaciais dos padrões de consumo de energia no Vietname. Através do modelo com fatores de crescimento urbano foi possível estimar o consumo de energia mais próximo do consumo real, permitindo assim com este estudo ajudar a planear a procura de energia.

É então possível concluir que, a modelação precisa e a previsão do consumo mensal de eletricidade são as chaves para otimizar a gestão e o planeamento energético [23].

Nos países em desenvolvimento, a previsão energética é importante para planear o desenvolvimento devido às elevadas taxas de crescimento económico e à procura de energia. Contudo, as abordagens existentes de previsão energética, utilizando o produto interno bruto, dificilmente demonstram a quantidade de energia que regiões ou cidades específicas podem necessitar no futuro [30].

2.3.3 Contadores Inteligentes

Um fator que tem vindo a contribuir de forma positiva para a análise dos consumos de energia, é a acentuada e rápida implementação de instalações de contagem inteligente nas instalações dos consumidores, pois permitiu uma análise de consumos com base em dados de utilização reais e de alta precisão.

Com a crescente penetração das tecnologias de informação e comunicação [TIC] nos sistemas, os sistemas energéticos tradicionais estão a ser digitalizados. A análise avançada dos dados relativos à produção e consumo de energia e o apoio à tomada de decisão com base em dados, pode ser combinada para promover a formação e o desenvolvimento de sistemas de energia inteligentes. As redes inteligentes são uma aplicação específica dos sistemas de energia inteligentes. Assim, diferentes padrões de consumo de eletricidade dos utilizadores residenciais podem ser descobertos e extraídos através da análise em *cluster* dos dados de consumo de eletricidade recolhidos por contadores inteligentes e outros terminais de aquisição de dados numa rede inteligente [31].

Com o desenvolvimento de técnicas de informação avançadas, os contadores de energia inteligentes tornaram disponível uma quantidade considerável de dados de consumo de eletricidade em tempo real. Estes dados fornecem uma forma promissora de compreender os padrões de utilização de energia e melhorar a gestão da energia dos edifícios [32].

Os dados de alta resolução sobre o consumo de eletricidade, registados por contadores inteligentes nas instalações dos clientes, são fontes valiosas de informação operacional e padrões de consumo. Além disso, a caracterização dos clientes desempenha um papel inegável na implementação de programas de resposta à procura, uma vez que quaisquer alterações nos padrões de consumo poderiam afetar estes programas. Foi então neste sentido que Kojury-Naftchali et al. [33] propuseram um algoritmo preciso para detetar alterações nos padrões de consumo útil não só na implementação de programas, mas também noutros campos, tais como a previsão de carga e o corte de picos.

Por outro lado, a implementação de contadores inteligentes levou a um aumento exponencial do volume de dados disponíveis nos últimos anos, que podem ser utilizados para extrair padrões de consumo para fins de poupança energética e monetária. Por este motivo, são necessárias novas abordagens e estratégias para analisar a informação em grandes ambientes de dados. Nesse sentido, Pérez-Chacón, R. et al [8] elaboraram um documento que propõe uma metodologia para extrair padrões de consumo de energia elétrica em grandes séries temporais de dados, de modo a que se possam tirar conclusões valiosas para gestores e governos. Desta forma será possível propor políticas derivadas dos padrões descobertos para otimizar a utilização de energia.

A Tabela 1 apresenta um resumo dos artigos analisados neste capítulo, assim como os principais aspetos chave.

Tabela 1 - Tabela Resumo Principais Artigos

Artigo	Autor	Ano	Aspetto Chave
<i>Big data analytics for discovering electricity consumption patterns in smart cities</i>	Pérez-Chacón, R., Luna-Romera, J.M., Troncoso, A., Martínez-Alvarez, F., Riquelme, J.C.	2018	Metodologia para extrair padrões de consumo de energia elétrica em grandes séries temporais de dados
<i>Association rule mining based quantitative analysis approach of household characteristics impacts on residential electricity consumption patterns</i>	Wang, F., Li, K., Duić, N., Mi, Z., Hodge, B.-M., Shafie-khah, M., Catalão, J.P.S	2018	Identificar padrões de consumo de eletricidade residencial e como se relacionam com as características domésticas
<i>Identifying household electricity consumption patterns: A case study of Kunshan, China</i>	Yang, T., Ren, M., Zhou, K.	2018	Estudo realizado utilizando os dados de consumo diário de eletricidade de residenciais numa cidade da China, com o objetivo de mostrar que a maioria dos utilizadores residenciais têm um padrão semelhante de consumo mensal de eletricidade
<i>Data mining based framework for exploring household electricity consumption patterns: A case study in China context</i>	Guo, Z., Zhou, K., Zhang, X., Yang, S., Shao, Z.	2018	Estudo realizado na China em que são comparados padrões e comportamentos de consumo de eletricidade sazonais, e a relação entre a temperatura e a procura de eletricidade, através da visualização de dados
<i>Discovering residential electricity consumption patterns through smart-meter data mining: A case study from China</i>	Zhou, K., Yang, C., Shen, J.	2017	Identificar diferentes padrões de consumo de eletricidade dos utilizadores residenciais através da análise de <i>clusters</i> dos dados de consumo de eletricidade recolhidos por contadores inteligentes
<i>A method for estimating electricity consumption patterns of buildings to implement Energy Management Systems</i>	Díaz-Acevedo, J.A., Grisales-Noreña, L.F., Escobar, A.	2019	Análise da influência do nível de ocupação horária nos padrões de consumo de energia elétrica
<i>Electricity consumption patterns within cities: application of a data-driven settlement characterization method</i>	Roy Chowdhury, P.K., Weaver, J.E., Weber, E.M., (...), Rose, A.N., Bhaduri, B.L.	2020	Analisar os vários tipos de povoamento de Joanesburgo, de forma a avaliar o consumo de energia urbana e identificar padrões diferenciais de consumo
<i>Hierarchical Electricity Time Series Forecasting for Integrating Consumption Patterns Analysis and Aggregation Consistency</i>	Pang, Y., Yao, B., Zhou, X., (...), Xu, Y., Tan, Z.	2018	Abordagem de previsão de consumos de eletricidade baseadas em <i>clusters</i> , para identificar padrões de consumo de eletricidade através da análise de agregados e construção de uma nova hierarquia de séries temporais baseada em padrões de consumo
<i>Change Detection in Electricity Consumption Patterns Utilizing Adaptive Information Theoretic Algorithms</i>	Kojury-Naftchali, M., Fereidunian, A., Savaghebi, M., Akhbari, B.	2020	Algoritmo para melhorar a qualidade dos padrões de consumo dos clientes através da determinação do número ótimo de <i>clusters</i>
<i>Heterogeneity of Electricity Consumption Patterns in Vulnerable Households</i>	Trotta, G., Gram-Hanssen, K., Jørgensen, P.L.	2020	Investigar até que ponto as residências com características semelhantes têm padrões de consumo de eletricidade diferentes, através da combinação de dados de registo da população com dados de consumo horário de eletricidade para uma amostra de 67 residências dinamarquesas
<i>A data mining-based framework for the identification of daily electricity usage patterns and anomaly detection in building electricity consumption data</i>	Liu, X., Ding, Y., Tang, H., Xiao, F.	2021	Detetar <i>outliers</i> de perfis de carga diária de eletricidade, utilizando a técnica de agregação de algoritmos, que aborda as questões de qualidade para os dados de consumo de eletricidade derivados de plataformas de monitorização do consumo de energia. O modelo proposto compreende as características dos padrões de utilização de eletricidade dos edifícios e pretende detetar anomalias nos mesmos

<i>Electricity consumption patterns analysis using a shape-based clustering method based on seasonal decomposition and parallel computing</i>	Li, K., Zhang, T., Meng, J., (...), Che, H., Tan, D.	2019	Método de agrupamento baseado na decomposição sazonal e na computação paralela para identificar os padrões de consumo de eletricidade nas áreas residenciais de Changsha
<i>Energy consumption prediction in vietnam with an artificial neural network-based urban growth model</i>	Lee, H.-Y., Jang, K.M., Kim, Y.	2020	Prever a quantidade de procura de energia, considerando o crescimento urbano como um facto crucial para investigar onde e quanta energia é necessária. Uma rede neural artificial é utilizada para prever padrões energéticos no Vietname
<i>Using characteristic energy to study rural ethnic minorities' household energy consumption and its impact factors in Chongqing, China</i>	Mao, S., Qiu, S., Li, T., (...), Deng, H., Zheng, H.	2020	Método para retratar o padrão de utilização de energia doméstica. Em combinação com a análise da diversidade, foi estudado o padrão de utilização de energia das famílias rurais de Tujia e Miao, em Chongqing, China. A investigação descreve as características de consumo de energia das famílias rurais com diferentes rendimentos, grupos étnicos e em diferentes regiões. Apresenta contramedidas de poupança de energia correspondentes para diferentes padrões de utilização de energia, ajuda a identificar a heterogeneidade do uso doméstico rural de energia e promove a formulação de políticas regionais refinadas de conservação de energia e de redução de emissões
<i>Minutely active power forecasting models using neural networks</i>	Kontogiannis, D., Bargiotas, D., Daskalopulu, A.	2020	Estudo que compara o desempenho de base e a estrutura de diferentes tipos de redes neurais sobre dados de energia residencial, formulando um problema de aprendizagem supervisionado adequado, com base em dados do mundo real
<i>New methods for clustering district heating users based on consumption patterns</i>	Wang, C., Du, Y., Li, H., Wallin, F., Min, G.	2019	Investiga técnicas de aprendizagem não supervisionadas de dados para dividir os utilizadores de aquecimento urbano em <i>clusters</i> separados, de modo a que os utilizadores no mesmo <i>cluster</i> possuam padrões de consumo semelhantes. São propostas três abordagens de extração de características de padrões a partir de dados de consumo
<i>Modeling of monthly residential and commercial electricity consumption using nonlinear seasonal models - The case of Hong Kong</i>	To, W.-M., Lee, P.K.C., Lai, T.-M.	2017	Este documento examina as características sazonais do consumo de eletricidade em Hong Kong-uma cidade subtropical com 7 milhões de pessoas. Utilizando os dados, foram obtidos dois modelos sazonais não lineares para o consumo de eletricidade nos sectores residencial e comercial. Os modelos mostram que os padrões mensais de consumo de eletricidade residencial e comercial da cidade têm variações sazonais diferentes.
<i>Analysing the determinants of household electricity demand in Spain. An econometric study</i>	Desiderio Romero-Jordána, Cristina Peñasco, Pablo del Río	2015	Analisa os determinantes da procura de eletricidade doméstica com um painel de dados, modelo de ajustamento parcial das regiões espanholas entre 1998 e 2009
<i>Hierarchical Electricity Demand Forecasting by Exploring the Electricity Consumption Patterns</i>	Pang, Y., Jin, C., Zhou, X., Guo, N., Zhang, Y.	2018	Método de previsão de séries cronológicas hierárquicas baseadas em padrões, que consiste em duas fases de agregação. Na primeira fase de agregação, ao explorar os padrões de consumo de eletricidade com o método de agregação, a previsão da procura de eletricidade ao nível inferior é melhorada, e na segunda fase a agregação ao nível da região é conduzida para atingir toda a previsão de nível

Capítulo 3 – Análise de Dados de Consumos de Energia Elétrica

A análise de consumos de energia elétrica permite uma compreensão do funcionamento do setor, assim como a obtenção de informações relevantes para os principais intervenientes na área. Estes dados podem ajudar os comercializadores e consumidores a tomar medidas importantes para otimizar o funcionamento e rentabilização do setor.

Para retirar *insights* que permitam aos principais intervenientes no setor obter informações fundamentadas e credíveis, é necessária uma correta análise dos dados. Para tal é fundamental obter uma amostra significativa e que os dados representem credivelmente a realidade do setor, pois apesar do mercado da energia ser um tema partilhado a nível mundial, cada economia apresenta a suas próprias especificidades.

De forma a compreender o consumo de energia elétrica e analisar o impacto das variáveis externas, foram seguidas as fases descritas na metodologia *CRISP-DM*, com o objetivo de retirar as principais conclusões e responder aos objetivos identificados. Neste capítulo procede-se à implementação das primeiras três fases da metodologia.

A primeira fase diz respeito ao Compreensão do Negócio, onde se procura compreender e identificar o paradigma atual dos consumos de energia elétrica em Portugal.

Na segunda fase, Compreensão dos Dados, é executado um conjunto de tarefas como a identificação da dimensão dos dados e a compreensão do tipo e significado das variáveis existentes. São ainda realizadas ações para identificar os principais problemas na qualidade dos dados, como por exemplo, valores nulos e *outliers*.

De seguida, na fase de Preparação dos Dados, são implementadas todas as ações necessárias para construir a base de dados final e que será utilizada nas fases seguintes. Estas ações dizem respeito ao tratamento dos valores nulos e *outliers*, seleção das variáveis relevantes para a análise e criação de novas variáveis a partir das já existentes. Nesta fase são ainda identificadas e acrescentadas as variáveis externas necessárias para realizar a análise pretendida.

3.1 Compreensão do Negócio

Analisar dados de consumo de energia elétrica pode ajudar a compreender a tendência deste setor e assim, levar à tomada de decisão no sentido de melhorar a utilização, rentabilidade e eficiência do mesmo. É neste sentido que o interesse dos principais intervenientes na análise destes dados tem vindo a aumentar significativamente nos últimos anos, sejam estes comercializadores ou consumidores.

Em Portugal, o consumo de energia elétrica ainda é um tema pouco estudado e os dados existentes apresentam várias lacunas. É então neste sentido que se torna importante obter e analisar dados sobre consumos de energia elétrica em Portugal, dado ser uma área pouco trabalhada internamente no país. As informações atuais são pouco consistentes, seja pelos poucos dados disponíveis atualmente ou pela inconsistência dos mesmos.

Neste contexto surge então a necessidade de analisar os dados de consumo de energia elétrica em Portugal com o objetivo de compreender o comportamento deste consumo. Com esta análise pretende-se analisar as várias oscilações no consumo ao longo dos meses do ano, assim como as variáveis que mais impactam este comportamento. Por outro lado, será possível obter *insights* sobre o consumo do setor elétrico, disponibilizando aos principais agentes informações e conclusões claras e realistas que permitam agir no sentido de melhorar a eficiência de consumo deste setor.

3.1.1 Energia Elétrica

Atualmente, a energia elétrica é uma das formas mais usuais de energia utilizadas no mundo. Para além de proporcionar maior conforto no dia a dia da população, a sua utilização permitiu o aumento da capacidade de produção de bens e serviços nos vários setores da economia [6].

Ao influenciar positivamente a produção de bens e serviços, o consumo da energia elétrica passou a ser também um dos principais indicadores do crescimento tecnológico e económico. Com maior poder económico, mais bens serão adquiridos, como equipamentos elétricos e eletrónicos, que resultarão num maior consumo de energia elétrica, seja no setor residencial ou industrial [3].

O crescimento económico e o consumo da energia elétrica sempre foram indicadores correlacionados nas sociedades modernas, uma vez que para existir crescimento económico é necessário um aumento no consumo da energia elétrica [3].

Produção, Transporte, Distribuição e Comercialização

A eletricidade é produzida com recurso a diferentes tecnologias e a diferentes fontes primárias de energia, como carvão, gás natural, gasóleo, água, vento, sol, biomassa e resíduos.

Em Portugal continental, o número de produtores tem aumentado significativamente, uma vez que além das antigas centrais térmicas e hídricas de grande dimensão, têm surgido muitas outras de menor potência, no âmbito da cogeração ou da produção de origem renovável [5].

A produção de energia elétrica está aberta à concorrência e tem dois regimes legais: (i) produção em regime ordinário (PRO), relativa à produção de eletricidade com base em fontes tradicionais não renováveis e em grandes centros electroprodutores hídricos (inclui as centrais térmicas a partir de combustíveis como o gás natural, o fuelóleo, o carvão), e (ii) produção em regime especial (PRE), relativa à cogeração e à produção elétrica a partir da utilização de fontes de energia renováveis (inclui a produção de energia elétrica através de recursos endógenos, renováveis e não renováveis, de tecnologias de produção combinada de calor e de eletricidade (cogeração) e de produção distribuída) [5].

Desta forma, a produção de eletricidade pode ter diferentes origens, consoante a fonte de energia utilizada, nomeadamente [34]:

- **Eólica:** convertendo a energia do vento em energia elétrica através de geradores eólicos;
- **Hídrica:** a partir de barragens e cursos de água, aproveitando a energia dos fluxos e quedas de água em centrais hidroelétricas;
- **Nuclear:** transformando em eletricidade a energia libertada pela cisão dos núcleos dos átomos de urânio em centrais nucleares. Em Portugal, não existem centrais nucleares;
- **Solar:** através de células fotovoltaicas em painéis que convertem a energia solar em eletricidade;
- **Térmica:** por queima de substâncias combustíveis como o gás natural, o fuelóleo, o carvão, diversos hidrocarbonetos (propano, metano...), a biomassa florestal, os resíduos urbanos, florestais, agrícolas e perigosos (industriais, hospitalares...).

A Figura 3 representa a distribuição da produção de energia elétrica pelas várias origens. De janeiro a setembro de 2021 foram gerados 35 035 GWh de eletricidade em Portugal Continental, dos quais 64 % foram de origem renovável [35].

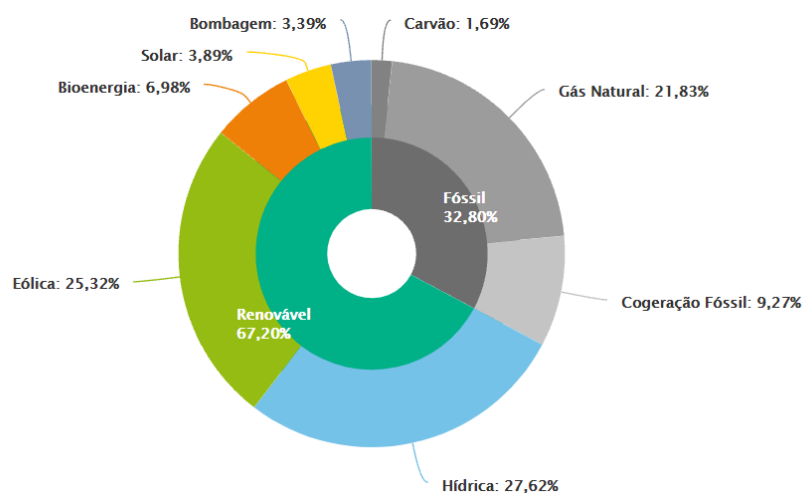


Figura 3 - Balanço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental em setembro 2021 (REN, análise APREN [35])

A produção de energia apresenta várias oscilações ao longo dos meses do ano. Na Figura 4 é apresentada a evolução da produção de energia elétrica entre janeiro e maio de 2021 e nos respetivos meses homólogos. No quinto mês de 2021, a incorporação renovável na geração de eletricidade foi de 69,3% (2 312 GWh). Por sua vez, os centros electroprodutores térmicos fósseis representaram 30,7 % (1 023 GWh) [35].

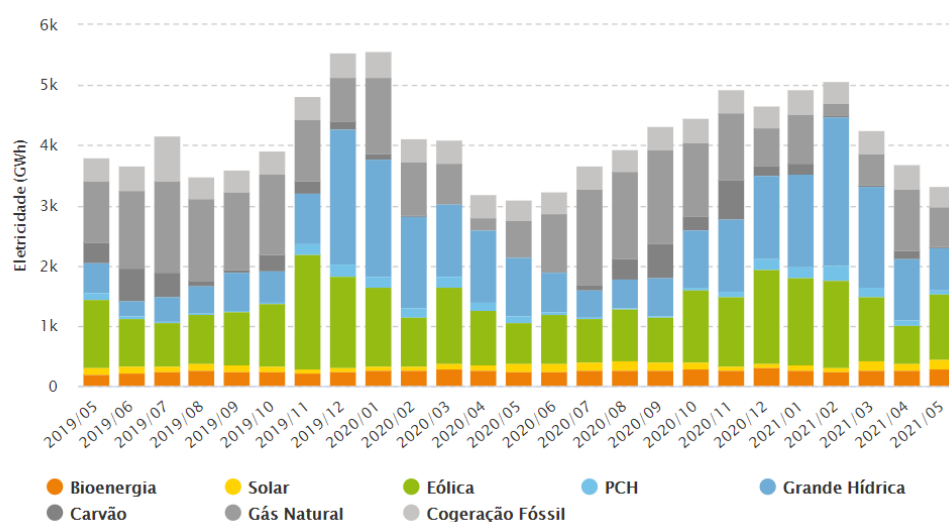


Figura 4 - Evolução da Produção de Eletricidade por Fonte em Portugal Continental (Site REN, análise APREN [35])

A maior utilização dos recursos endógenos e renováveis portugueses para a produção de eletricidade tem alterado a composição do *mix* de produção de eletricidade em Portugal e tem, consecutivamente, desempenhado um papel cada vez mais determinante na satisfação do consumo, tendo sido bastante evidente em 2020 devido à queda no consumo resultante da pandemia da COVID-19 [35]. A Figura 5 apresenta a evolução da produção de energia versus o consumo em Portugal nos últimos 20 anos.

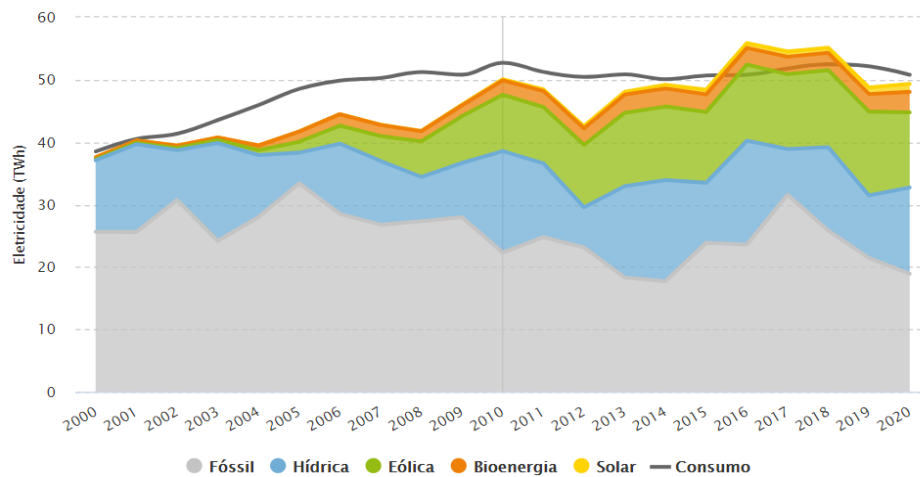


Figura 5 - Evolução da Produção Elétrica versus Consumo em Portugal Continental (Site REN, análise APREN [35])

No que diz respeito ao transporte da eletricidade, esta atividade é efetuada através da Rede Nacional de Transporte (RNT), mediante uma concessão atribuída pelo Estado Português, em regime de serviço público e de exclusividade à REN - Redes Energéticas Nacionais [5].

A concessão inclui o planeamento, a construção, a operação e a manutenção da RNT, abrangendo ainda o planeamento e a gestão técnica global do Sistema Elétrico Nacional para assegurar o funcionamento das infraestruturas que o integram, assim como a continuidade de serviço e a segurança do abastecimento de eletricidade [5].

A eletricidade produzida em locais afastados das zonas de consumo é entregue na rede de transporte e conduzida em muito alta tensão (MAT), de modo a fazer chegar grandes quantidades de energia aos vários pontos do território sem perdas significativas, garantindo assim o abastecimento independentemente da distância às centrais elétricas [5].

Dado que a eletricidade é difícil de armazenar, a produção tem de ser gerida em tempo real para responder às necessidades de consumo. Esta tarefa, exige assim a articulação entre equipas e tecnologia de grande especificidade, a qual se denomina de Gestão Global do Sistema, sendo realizada pelo Operador da Rede de Transporte (ORT) [36].

O ORT articula e monitoriza em tempo real toda a cadeia, da produção ao consumo, para garantir que as redes de transporte e de distribuição têm capacidade para escoar a energia consumida quer nos períodos de elevado consumo (períodos de Ponta), quer nos de baixo consumo (períodos de Vazio). Atualmente, o operador da rede de transporte é a REN – Rede Elétrica Nacional, S.A [36].

Este operador desempenha assim toda a atividade de transporte de energia elétrica, que inclui o funcionamento, o planeamento e o desenvolvimento da Rede Nacional de Transporte (RNT), de forma a permitir o transporte de energia elétrica desde a produção até aos consumidores alimentados em muito alta tensão ou até aos pontos de entrega das redes de distribuição.

O planeamento da RNT deve ser realizado a médio e longo prazo, num horizonte de 10 anos, e ter em conta cenários futuros de desenvolvimento, quer das redes de distribuição (aumento do consumo), quer de nova capacidade de produção, em especial renovável, que se pretenda ligar às redes, no cumprimento dos critérios de planeamento e dos níveis de qualidade de serviço regulamentarmente estabelecidos. Enquanto Gestor Técnico Global do Sistema, o ORT deve garantir o bom funcionamento do sistema elétrico e a coordenação das diferentes infraestruturas da RNT, garantindo a segurança e a continuidade de abastecimento de energia elétrica. Este deve ainda coordenar a gestão dos mercados de operação.

A regulação económica da atividade de transporte de eletricidade é determinada pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE), fixando as tarifas de uso da rede de transporte e as receitas do operador.

Por outro lado, as redes de distribuição asseguram o trânsito de eletricidade entre a rede nacional de transporte e os consumidores. A eletricidade conduzida em grandes distâncias pela rede de transporte, em muito alta tensão (MAT), é depois entregue à rede de distribuição, que a transforma nas estações de transformação (subestações) para a

poder conduzir em distâncias menores em alta, média e baixa tensão (AT, MT e BT) até às instalações dos consumidores.

Os operadores das redes de distribuição (ORD) asseguram a gestão, operação e manutenção da rede, a expansão para novos locais de abastecimento e a manutenção das linhas, postos de transformação e instalações auxiliares, garantindo a qualidade do serviço prestado. Como o consumo de eletricidade nos diferentes níveis de tensão varia no tempo, as redes devem estar preparadas para as suas flutuações em cada ramal.

Assim, a distribuição de eletricidade processa-se através da exploração da Rede Nacional de Distribuição (RND) constituída por infraestruturas de alta, média e baixa tensão (AT, MT e BT). As redes de distribuição de baixa tensão (BT) são operadas no âmbito de contratos de concessão estabelecidos entre os municípios e os distribuidores.

No que diz respeito à comercialização de energia e sendo a última etapa da cadeia de fornecimento de eletricidade, é aquela que se relaciona diretamente com os consumidores.

Com a liberalização do setor energético, a atividade de comercialização de eletricidade foi aberta aos agentes de mercado que preencham os requisitos necessários. Assim, os consumidores podem escolher o seu comercializador e mudar, sem qualquer custo, sempre que encontrarem ofertas mais adequadas ao seu tipo de consumo [37].

Os comercializadores, que formam as suas ofertas comerciais livremente, adquirem eletricidade aos produtores no mercado grossista e vendem-na aos clientes pagando, aos respetivos operadores, as tarifas reguladas de acesso às redes, definidas pela ERSE. Para fornecer eletricidade em zonas onde não existam propostas no mercado livre, aos consumidores economicamente vulneráveis ou a clientes cujo comercializador em mercado livre ficou impedido de exercer a atividade, existem comercializadores de último recurso (CUR).

Os mercados organizados de eletricidade operam em regime livre e estão sujeitos a autorizações concedidas pelo Estado Português. Os produtores em regime ordinário, os comercializadores e os produtores em regime especial que o desejem, podem tornar-se agentes do mercado. Os comercializadores podem comprar e vender eletricidade livremente e têm o direito de aceder às redes de transporte e de distribuição mediante o pagamento de tarifas de acesso estabelecidas pela Entidade Reguladora, no entanto, estão sujeitos a obrigações de serviço público no que respeita à qualidade, ao abastecimento

contínuo de eletricidade e devem disponibilizar aos seus clientes acesso à informação de forma simples e compreensível [37].

Tarifas e Ciclos Horários

No setor da eletricidade, as tarifas são fixadas anualmente pela ERSE, para um período coincidente com o ano civil (janeiro a dezembro).

As tarifas são reguladas e refletem os custos das atividades reguladas e para as quais a ERSE define o montante dos proveitos permitidos, sendo repercutidas nas faturas de todos os consumidores, quer no mercado regulado, quer no liberalizado. Atualmente o consumidor residencial tem acesso a três tipos de tarifas [38].

Na tarifa simples, o consumidor paga a energia elétrica ao mesmo preço para todas as horas do dia. A tarifa da eletricidade é a mesma (tarifa normal) todos os dias da semana e em qualquer época do ano.

Na tarifa bi-horária, o consumidor paga a energia elétrica com dois preços distintos, existindo, para dois períodos horários de consumo correspondentes: o período das horas de Vazio, no qual a energia tem um custo mais reduzido, e o período das horas de Fora de Vazio, no qual a energia tem um custo mais elevado. Neste caso, a tarifa da eletricidade depende do horário de consumo. O consumo de eletricidade pode ser cobrado à tarifa de Fora de Vazio ou Vazio [39]:

- **Horas de vazio:** são as horas onde o consumo de eletricidade é mais barato. São fundamentalmente as horas do período noturno e fins de semana, onde os níveis de consumo são mais baixos;
- **Horas fora de vazio:** são as horas onde o consumo de eletricidade é normalmente superior e, por isso, é mais caro.

A tarifa tri-horária é semelhante à tarifa bi-horária, mas apresenta três períodos horários de consumo com preços distintos: o período das horas de Vazio, no qual a energia tem um custo mais reduzido, o período das horas Cheias, no qual a energia tem um custo intermédio e o período das horas de Ponta, no qual a energia tem um custo mais elevado.

Desta forma, a tarifa da eletricidade depende do horário de consumo. O consumo de eletricidade pode ser cobrado à tarifa de Ponta, Cheias ou Vazio. No entanto, quer o consumidor opte pelo ciclo semanal ou diário, o horário varia em função da época do ano.

A opção horária é a forma como a eletricidade é cobrada em função do horário de consumo. É a opção horária que determina se o preço do consumo de eletricidade é o mesmo em qualquer horário ou se há horários mais económicos do que outros.

Os períodos horários de entrega de energia elétrica a clientes finais estão previstos nos Artigos 24.º e 31.º do Regulamento Tarifário do Setor Elétrico, da ERSE, e diferenciam-se em dois ciclos: o Ciclo Semanal e Ciclo Diário [38].

A Figura 6 mostra as principais diferenças no Ciclo Diário e o Ciclo Semanal. Estes diferem entre si tanto no modo como os períodos horários são desagregados numa base semanal, como na sua duração.

Ciclo diário

70 horas de Vazio por semana

Distribuídas da mesma forma para os sete dias, incluindo 7h por dia no período noturno.

Ciclo semanal

76 horas de Vazio por semana

Durante a semana, o horário noturno apresenta um período de vazio mais reduzido, de modo a que a maioria das horas de vazio ocorram durante o fim de semana, ou seja, sábado à tarde e durante todo o dia de domingo.

Figura 6 - Ciclos Horários (Poupa Energia [39])

No Ciclo Diário, os períodos horários são iguais todos os dias do ano. Por conseguinte, no Ciclo Semanal os períodos horários mais económicos são diferentes nos dias úteis e aos fins de semana. Para cada ciclo há um horário de Verão e de Inverno, que reflete a alteração da hora legal.

Em Portugal Continental, os períodos horários são determinados tendo em consideração a evolução do diagrama de carga do país ao longo do ano [39].

A Figura 7 apresenta os diferentes horários associados ao Ciclo Diário para o Horário de Inverso e Horário de Verão. Estes ciclos apenas se aplicam a clientes em BTN e BTE.

Ciclo diário aplicável a Baixa Tensão Normal (BTN) e Baixa Tensão Especial (BTE) em Portugal Continental.

HORA LEGAL DE INVERNO		HORA LEGAL DE VERÃO	
			
Segunda-feira a domingo		Segunda-feira a domingo	
Ponta	09h00 às 10h30 18h00 às 20h30	Ponta	10h30 às 13h00 19h30 às 21h00
Cheias	08h00 às 09h00 10h30 às 18h00 20h30 às 22h00	Cheias	08h00 às 10h30 13h00 às 19h30 21h00 às 22h00
Vazio normal	00h00 às 02h00 06h00 às 08h00 22h00 às 00h00	Vazio normal	00h00 às 02h00 06h00 às 08h00 22h00 às 00h00
Super vazio	02h00 às 06h00	Super vazio	02h00 às 06h00

Figura 7 - Períodos Horários (Poupa Energia [39])

Os custos associados a cada período horário estão relacionados com a procura de energia elétrica no mercado nacional. Assim, o período de Vazio corresponde aos horários em que a procura de energia elétrica é reduzida, o período de Cheias corresponde a horários em que existe uma procura intermédia de energia elétrica, e o período de Ponta, corresponde a horários em que existe uma procura mais elevada de energia elétrica. O período de Fora de Vazio corresponde a uma agregação dos períodos Cheias e de Ponta. Nas tarifas bi-horária e tri-horária, o período de Vazio agrega os períodos horários de Vazio normal e Super vazio [39].

3.1.2 Consumo de Energia Elétrica em Portugal

O consumo de energia é um dos setores de atividade mais importantes para a economia de qualquer país. Analisar ou prever o comportamento deste setor passa por compreender as diferentes necessidades da população, das empresas e as próprias questões ambientais.

As últimas décadas têm apresentado um elevado crescimento dos níveis de consumo de energia elétrica, justificado principalmente pelo progresso tecnológico e pela industrialização. Em paralelo a estes fatores, o continuo aumento da população mundial também é responsável por este crescimento [40]. A Figura 9 representa o crescimento do consumo de energia elétrica nos últimos 25 anos.

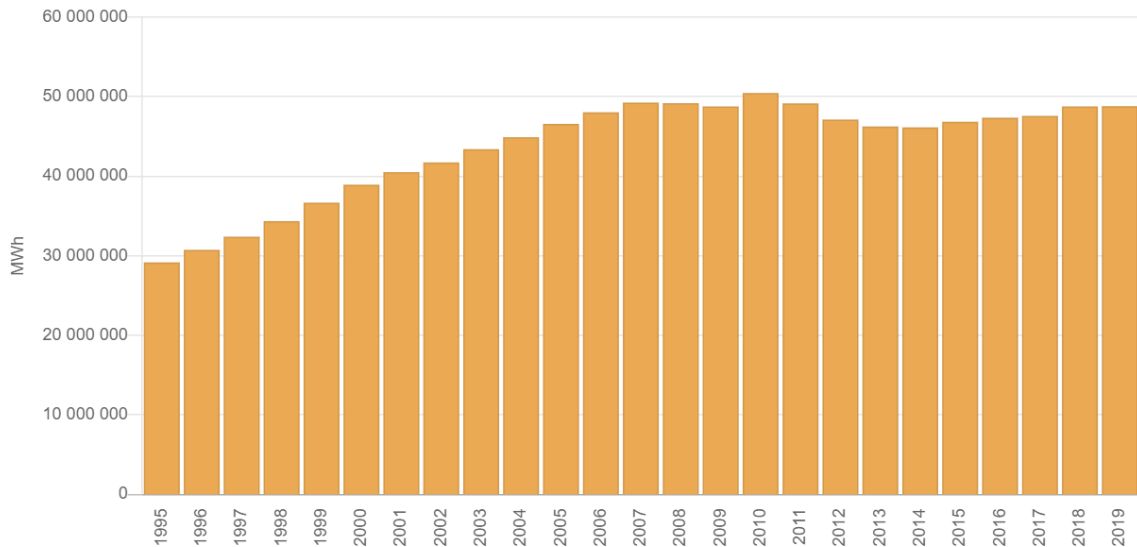


Figura 8 - Consumo de Energia Elétrica (kWh) entre 1995 e 2019 (Energia em Números, DGEG[40])

Apesar do mercado energético português ser relativamente pequeno e existirem poucos recursos energéticos dentro do país, o rápido crescimento da economia nos últimos anos, contribuiu para que o consumo de eletricidade aumentasse [3].

Um outro fator contribuinte para o aumento do consumo deste bem indispensável é igualmente a evolução tecnológica conjugada com o aumento das condições financeiras, pois verificou-se um acréscimo significativo do número de equipamentos domésticos por agregado familiar [9].

Ainda outra variável que deverá alterar os índices de consumo de energia elétrica é o clima. Em Portugal, o clima está cada vez mais adverso. Os dias apresentam-se mais quentes no Verão, o que torna praticamente indispensável o recurso ao ar condicionado. Já os invernos mostram-se substancialmente mais frios, sendo que o uso de aparelhos térmicos se revela uma maior necessidade [41].

Setor Doméstico

A energia é um bem essencial, que tem um papel decisivo no quotidiano das famílias. As famílias portuguesas não fogem à exceção, e, assim como noutros países, criaram uma dependência pela eletricidade. A principal fonte de energia utilizada nas habitações portuguesas é a eletricidade, com um peso de aproximadamente de 43% [42].

As famílias criaram, naturalmente, uma dependência pela energia elétrica, muitas vezes sem se aperceberem disso, uma vez que o consumo de eletricidade no setor

doméstico, assim como o consumo de outros tipos de energia, está relacionado com diferentes práticas que compreendem o uso de tecnologia [43].

Na União Europeia, o sector doméstico é dos que mais contribui para o aumento do consumo de eletricidade [44].

A eletricidade continua a ser a principal fonte de energia consumida no setor doméstico, com cerca de 46,4% em 2020 (42,6% em 2010), seguida da Biomassa que representou 18,4% do total (24,2% em 2010). O consumo de Gás natural teve um peso de 12,4% (9,0% em 2010) [42].

A Figura 9 apresenta o aumento significativo do consumo de eletricidade no setor doméstico desde 1994, tendo este consumo começado a mostrar um ligeiro decréscimo partir de 2010.

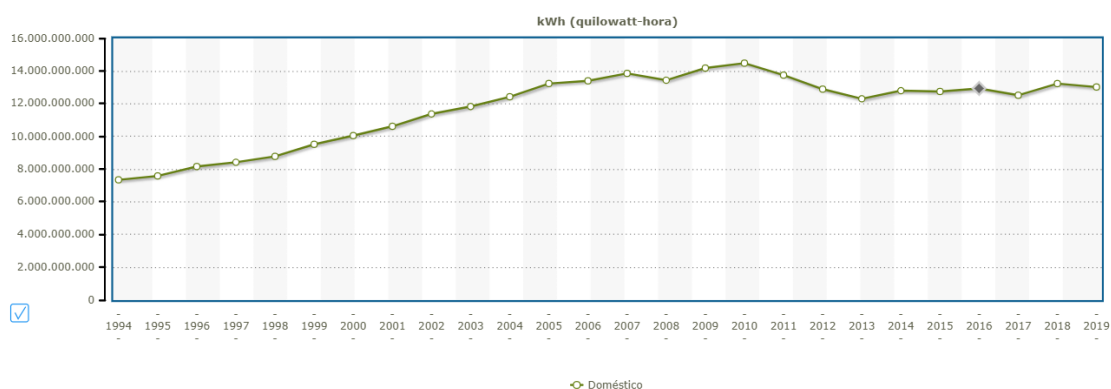


Figura 9 - Consumo de Energia Elétrica no Setor Residencial entre 1994 e 2019 (Pordata,2021)

Contudo, em 2008 verifica-se uma quebra no consumo de eletricidade no setor doméstico, o que pode ter sido motivado pelo início da crise financeira global, que se refletiu severamente em Portugal. A esta quebra seguiu-se um aumento no consumo de eletricidade nos dois anos seguintes. A partir de 2011, o consumo voltou a cair. Esta queda no consumo pode ser vista como um reflexo das medidas de austeridade tomadas pelo executivo eleito em 2011. Nesse ano, foi aplicada a taxa normal de IVA (23%) sobre a eletricidade e o gás natural. Até então, tinha sido aplicada a taxa reduzida de IVA (6%). Com esta medida, o governo pretendeu controlar a despesa do Estado. A maior parte dos consumidores sentiu o aumento do preço dos dois tipos de energia, no entanto o impacto

desta medida sobre os consumidores de menores recursos é atenuado pela tarifa social [6].

Os preços da eletricidade para os consumidores portugueses têm aumentado consideravelmente nos anos recentes. No sector doméstico, o preço da eletricidade sofreu um aumento médio anual de 7.8% entre 2008 e 2012 [45].

Nos últimos anos a caracterização dos consumos elétricos no sector residencial tem ganho especial atenção, sendo que este era já bastante significativo em relação ao consumo elétrico total. Além disso, foi verificado ao longo dos últimos anos, o seu constante incremento. Este crescimento tem por base motivações então previstas, como a procura pelo aumento do conforto e da disponibilidade de equipamentos no parque habitacional [46].

Os equipamentos com maior peso no consumo de eletricidade eram os de grandes dimensões, como os equipamentos de frio e as máquinas de secar roupa. Segundo dados mais recentes, esta predominância mantém-se. Em relação aos consumos em modo *standby*, representavam cerca de 12% do consumo total (equivalente a 380 kWh/ano por unidade de alojamento) [47].

O consumo médio estimado de energia elétrica de uma “família *standard*” (com equipamentos de classes energéticas mais baixas, de C a G) foi de 2 982 kWh/ano enquanto para uma “família ecológica” (com equipamentos apenas da classe mais eficiente e um perfil de utilização racional de energia), o mesmo seria de 1 534 kWh/ano [47].

3.2 Compreensão dos Dados

3.2.1 Base de Dados de Consumos de Energia Elétrica em Portugal

Para ser possível obter informações e *insights* fundamentados sobre consumos de energia elétrica em Portugal é necessário que as fontes de dados sejam credíveis, com dados reais e possuam uma amostra significativa.

É então neste sentido que foi possível obter dados da edp Distribuição (atual E-Redes), distribuidor de energia elétrica em Portugal. Estes dados dizem respeito a consumos entre o ano de 2016 e 2020, com o detalhe por Ano/mês, Distrito, Concelho, Freguesia, características relativas à instalação, como Nível de Tensão, e às várias fases de consumo (Simples, Super Vazio, Vazio, Fora de Vazio, Ponta e Cheias).

De seguida é apresentada a tabela com a descrição da base de dados, nomeadamente das variáveis disponíveis, respetiva descrição e tipo de dados.

Tabela 2 – Descrição da Base de Dados

Variável	Descrição	Tipo de Variável	Dados primeira Linha
Ano/mês	Ano e mês de consumo	<i>object</i>	201601
Distrito	Distrito do país	<i>object</i>	AVEIRO
Concelho	Concelho	<i>object</i>	AGUEDA
Freguesia	Freguesia	<i>object</i>	AGADAO
Tipo de parceiro de negócios	Tipo de cliente	<i>object</i>	Privado Doméstico
Nível de Tensão	Nível de tensão da instalação	<i>object</i>	BTN
Tipo de instalação	Tipo de equipamento	<i>object</i>	Doméstico
Tipo de Local de Consumo	Tipo de ponto de consumo	<i>object</i>	Habitação
Tipo de uso (CAE)	Tipo de Classificação das Atividades Económicas	<i>object</i>	Consumo
Energia Ativa Simples (kWh)	Consumo de energia em kWh nas	<i>float64</i>	758
Energia Ativa Super Vazio (kWh)	Consumo total de energia em kWh nas horas de Super Vazio	<i>float64</i>	22104
Energia Ativa Vazio (kWh)	Consumo total de energia em kWh nas horas de Vazio	<i>float64</i>	1070
Energia Ativa Fora de Vazio (kWh)	Consumo total de energia em kWh nas horas Fora de Vazio	<i>float64</i>	32
Energia Ativa Ponta (kWh)	Consumo total de energia em kWh nas horas de Ponta	<i>float64</i>	019
Energia Ativa Cheias (kWh)	Consumo total de energia em kWh nas horas de Cheias	<i>float64</i>	619
Energia Ativa Total (kWh)	Consumo total de energia em kWh	<i>float64</i>	282

Apesar dos dados representarem uma amostra significativa dos consumos em Portugal nos últimos anos, o objetivo inicial seria obter uma amostra de um período temporal maior. No entanto, devido a constrangimentos de extração de grandes volumes de dados no sistema, não foi possível obter a informação pretendida.

Para ser possível obter os *insights* pretendidos e que sustentem uma boa análise, capaz de fornecer informações importantes para os agentes do setor é necessário que os dados apresentem alguma discriminação seja por zona geográfica ou características da instalação ou consumo.

Ao ter dados discriminados por Distrito, é possível compreender o consumo nas várias zonas do país e associar os mesmos, por exemplo, às várias temperaturas sentidas no mesmo dia ao longo de Portugal, seja pela sua proximidade ao mar, pela tendência a

precipitação, estar localizado no interior do país, entre outros fatores. Por outro lado, ao ter dados de consumos por níveis de tensão (MAT, AT, MT, BTN, BTE e IP) permite identificar as principais características do consumo do setor residencial que geralmente se encontra em BTN, comparativamente com as indústrias que estão em MAT, AT e MT. De igual forma, poderá também ser interessante analisar o consumo da Iluminação Pública distribuída pelas várias zonas de Portugal.

Para complementar a análise realizada e ser possível relacionar os consumos de energia elétrica com as principais variáveis que influenciam este mesmo consumo, foram recolhidos dados de entidades externas. Só assim seria possível compreender o comportamento do setor e as variáveis que influenciam o mesmo.

Adicionalmente foram ainda utilizados dados gráficos de variáveis externas, identificadas como potenciais influenciadoras no consumo de energia elétrica, referentes aos anos analisados.

3.2.2 Seleção das Variáveis Externas

O consumo de energia elétrica é influenciado por diversos fatores que podem contribuir para um aumento ou uma redução desse consumo.

Para analisar o consumo de eletricidade são normalmente utilizadas três variáveis explicativas fundamentais: preço da eletricidade, preço de um substituto da eletricidade e um indicador de rendimento [48].

Por outro lado, o consumo de eletricidade também pode ser interpretado como função do hábito dos consumidores, do rendimento, dos preços da eletricidade e do gás natural, do clima, do uso de eletrodomésticos e de outros fatores socioeconómicos [22].

No entanto, podem existir muitas outras variáveis explicativas para o consumo de eletricidade, desde que sejam devidamente fundamentadas.

De seguida, são apresentadas e justificadas as variáveis identificadas para análise da sua influência nos consumos de energia elétrica.

Preço da Eletricidade

O preço da eletricidade é fundamental para o funcionamento atual da economia e da sociedade, uma vez que afeta diretamente os custos de produção e a eficiência energética, servindo também como base de referência para o custo de vida num país [17].

Por outro lado, o preço da eletricidade é influenciado pelo custo dos recursos energéticos e pela eficiência dos mercados de eletricidade, constituindo, por isso, parte dos objetivos europeus de integração económica a gradual liberalização dos mercados, de modo a incrementar a eficiência energética e fazer descer os preços para os consumidores finais [49].

De acordo com a teoria económica, a lei da procura define que o preço de um bem influencia negativamente a quantidade procurada do mesmo [50]. Desta forma, pretende-se verificar de que forma o preço da eletricidade é um bom fator explicativo do consumo de eletricidade, permitindo identificar padrões de consumos influenciados pelas variações do preço. Espera-se que os consumidores reajam a flutuações no preço, consumindo menos eletricidade quando o preço aumenta e vice-versa.

PIB

O principal indicador de crescimento económico de um país é a variação do Produto Interno Bruto (PIB). Este deve ser determinado a partir da soma de valores de todos os produtos e serviços destinados ao consumidor final de determinada região, num determinado período [51].

Através da análise do PIB de um país é assim possível compreender o seu grau de desenvolvimento económico, uma vez que este resulta de um grande consumo de produtos e serviços somado a um setor industrial que garante a transformação da matéria prima em bens de consumo, e que resultará num crescimento da economia [52].

Desta forma, o PIB é então a soma de todos os bens de um país, e quanto maior for o PIB, mais demonstra o quanto um país é desenvolvido, podendo ser classificados entre países pobres, ricos ou em desenvolvimento. Assim, afirmar que uma economia é desenvolvida, significa que esta apresenta um alto nível de desenvolvimento económico e social [51].

O consumo de energia possui forte relação com o crescimento do PIB, sendo esta relação mais acentuada à medida que aumenta a participação do setor industrial, seja na economia ou no consumo de energia elétrica [52].

A Figura 10 representa a variação percentual do PIB e o consumo de energia elétrica mundial entre os anos 1997 e 2007, onde é possível verificar que o crescimento económico e o consumo de energia estão fortemente interligados.

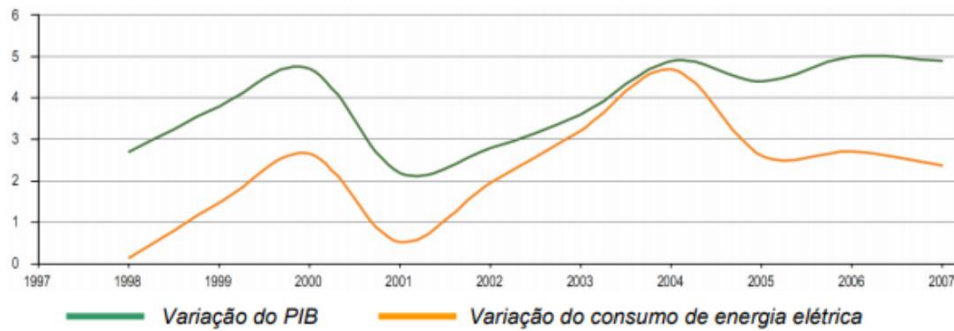


Figura 10 - Variação do PIB e consumo de energia mundial entre 1998 a 2007 (IPEA, BP, 2008)

Estas duas variáveis estão diretamente correlacionadas, uma vez que, conforme é possível verificar, à medida que surge a inclinação da curva de variação do PIB, a variação no consumo de energia apresenta um comportamento semelhante.

Por outro lado, a eficiência energética de uma economia pode ser medida pela razão entre Consumo Total de Energia Primária e o Produto Interno Bruto (M€), isto é, face ao crescimento económico da mesma economia [53].

A Figura 11 mostra a interligação entre a evolução do PIB, o consumo de energia primária e a eficiência energética.

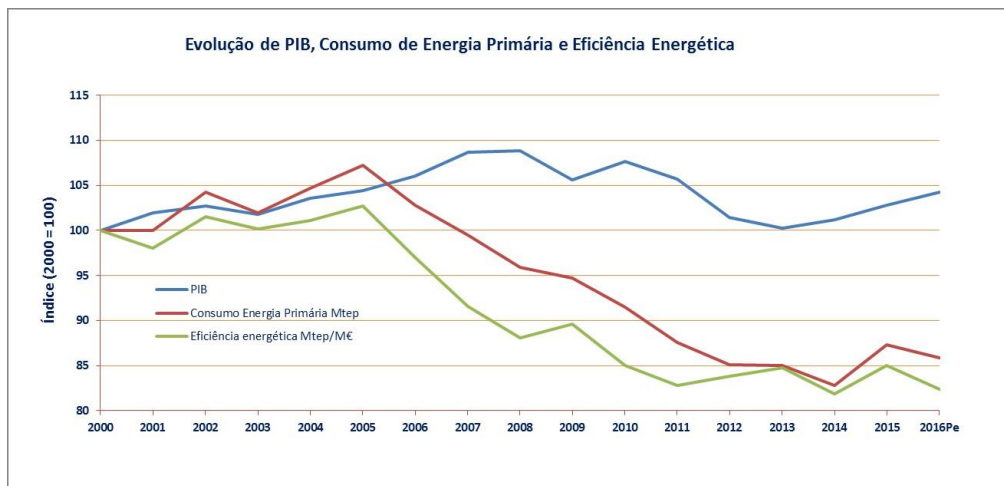


Figura 11 - Evolução de PIB, Consumo de Energia Primária e Eficiência Energética (Aumentar a Eficiência Energética, Crescimento Verde)

Em Portugal, verifica-se uma tendência de redução da intensidade energética na economia. O consumo de energia primária decresce na maioria dos anos em que se verificam acréscimos ao PIB. No entanto, de 2014 a 2015, registou-se um aumento do consumo de energia mais acentuado do que o aumento do PIB.

Posto isto, pretende-se verificar se esta relação se mantém nos últimos anos, analisando o consumo de energia elétrica e o comportamento do PIB no mesmo período.

Temperatura

No longo prazo, variáveis estruturais relacionadas a questões demográficas e económicas determinam o montante de energia consumido, como por exemplo, o número de habitantes por residência. Por outro lado, no curto prazo, variações significativas no consumo médio residencial são muitas vezes derivadas de aspetos relacionados a mudanças na temperatura. Em situações ambientais extremas o aumento ou diminuição acentuada da temperatura geram a necessidade de utilização de energia para condicionar o ambiente residencial [54].

A Figura 12 apresenta a relação entre a variação no consumo de eletricidade e as temperaturas em países com clima temperado e clima tropical.

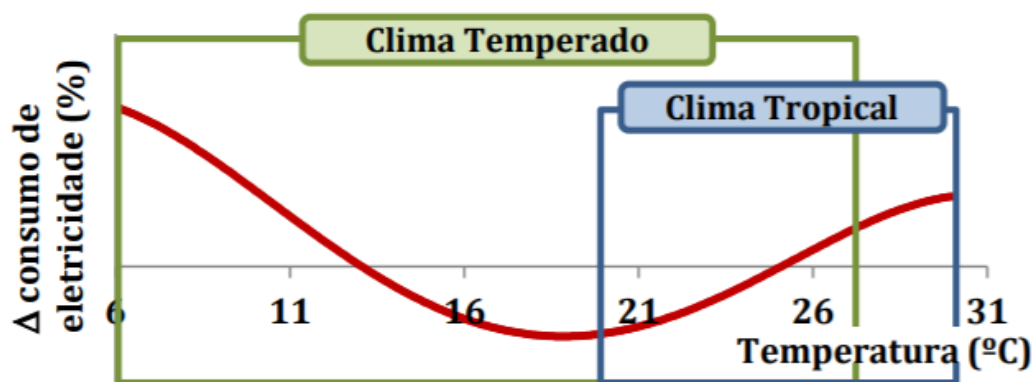


Figura 12 - Relação entre variações no consumo de energia e temperatura (G. N. de Andrade e A. P. Sant'Anna)

A influência da temperatura sobre o consumo de energia elétrica varia de acordo com características climatológicas da área avaliada. Assim, em regiões com clima temperado, usualmente entre 18 °C e 21°C, tanto o aumento como a diminuição da temperatura acarretam crescimento do consumo para fins de refrigeração (no caso do aumento da temperatura) ou aquecimento (no caso de diminuição) [55].

No entanto para regiões caracterizadas pelo clima tropical (temperaturas anuais menos variáveis e mais elevadas), a relação entre temperatura e consumo de energia apresenta comportamento linear. Esta característica está em grande parte associada ao fato de o Inverno nessas regiões apresentar temperaturas médias que não caracterizam a necessidade de aquecimento de ambientes, o que em última instância não aumenta a procura de energia para tal fim [6].

Por outro lado, países com temperaturas mais amenas, apresentam menor consumo de energia com climatização, ao inverso de países com temperaturas mais baixas e mais elevadas, que recorrem frequentemente à utilização equipamentos elétricos.

A relação entre consumo de energia elétrica e temperatura tende a ganhar ainda mais relevância na literatura dado o crescente envolvimento da sociedade com discussões acerca das mudanças climáticas [54].

Pretende-se assim verificar se a temperatura apresenta uma influência acentuada no consumo de eletricidade, conforme referido.

Densidade Populacional

A densidade populacional é a intensidade do povoamento expressa pela relação entre o número de habitantes de uma área territorial determinada e a superfície desse território (habitualmente expressa em número de habitantes por quilómetro quadrado) [56].

Esta variável é expressa pela relação entre a população e a superfície do território, apresentando uma tendência ascendente entre 1991 e 2013, o que em muito se relaciona com a migração da população para os centros urbanos [56].

Uma pesquisa publicada na *PNAS (Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America)* comprova que quanto mais dispersa a população, maior o consumo de energia. A análise considerou as previsões de densidade populacional urbana e o uso associado de energia, em três cenários. Nas últimas três décadas, as densidades urbanas estão a diminuir em todos os países, o que deve, segundo o estudo, se manter até a primeira metade do século. Em todos os cenários, em relação aos níveis de 2010 até o projetado para 2050, a utilização anual de energia global para aquecimento e resfriamento pode aumentar de 7%, assumindo um cenário de crescimento mais compacto e avanço na tecnologia, a 40%, se houver um crescimento urbano mais disperso e sem avanços tecnológicos significativos [57].

A Densidade Populacional é proposta como um indicador do desenvolvimento económico [48]. Desta forma, é esperado que o aumento da densidade populacional conduza a um aumento no consumo de eletricidade.

3.3 Preparação dos Dados

A fase de Preparação dos Dados consiste na resolução dos problemas identificados nas fases anteriores de compreensão dos dados. Estes problemas podem influenciar a qualidade dos dados e, posteriormente, os resultados apresentados, pelo que antes de iniciar a análise e as ações de visualização, é importante garantir que os dados são devidamente tratados. É também nesta fase que são criadas novas variáveis a partir das já existentes e adicionadas as variáveis externas. Concluídas todas estas ações, é possível construir a base de dados final.

A base de dados disponibilizada pela edp Distribuição foi retirada do atual sistema de *reporting* da empresa, pelo que não apresentava *outliers*.

Para análise dos dados foi utilizado o *software Python*, com o objetivo de preparar o *dataset* antes da proceder à visualização dos mesmos graficamente em *Power BI*.

Em primeiro lugar, dado o volume, os dados de consumos de energia elétrica foram disponibilizados em 5 *datasets* diferentes (divididos por ano), pelo que houve a necessidade de concatenar numa única base de dados.

De seguida procedeu-se à visualização dos valores nulos. Os campos referentes aos kWh de energia consumidos, nomeadamente Energia Ativa Simples, Super Vazio, Vazio, Fora de Vazio, Pontas, Cheias e Total, não apresentam valores em todos os campos, dado serem valores que o consumo atinge ao longo do período de consumo. Desta forma, e para ser possível visualizar os dados graficamente, foi necessário substituir estes valores nulos por zero.

Ao analisar o tipo de dados de cada campo do *dataset*, foi possível verificar que os campos de valores eram do tipo “*object*”, o que não iria permitir elaborar algumas visualizações de dados. Assim, foi necessário converter os campos referentes aos kWh de Energia em “*string*”.

Dado que os consumos se encontravam discriminados pela coluna Ano/Mês, identificou-se que para ser possível criar gráficos específicos por mês e ano e ter visualizações dos dados mais pormenorizadas, seria importante separar o Ano/Mês. Para tal, através do campo Ano/Mês, criou-se duas colunas adicionais à base de dados, uma

para o Mês e outra para o Ano, mantendo a inicial. No final, foi necessário converter também estes campos referentes ao ano e ao mês em “*string*”.

Para ser possível criar um *Heatmap* com os consumos de eletricidade em Portugal, que permitisse visualizar a distribuição dos consumos pelas várias regiões do país, optou-se por importar para o *dataset* as coordenadas Longitude e Latitude. Assim, houve necessidade de criar duas colunas adicionais, de forma a acrescentar os dados importados ao *dataset* inicial.

Por fim, foram eliminadas algumas colunas que se considerou não acrescentar valor à análise aqui realizada, nomeadamente “Tipo de parceiro de negócios” e Tipo de uso (CAE)”.

No que se refere à base de dados facultada pelo IPMA, os dados estavam devidamente tratados, sem *outliers* e outro tipo de anomalias, sendo apenas necessário preparar o ficheiro *Excel* a nível de *layout* antes de importar para *Power BI* de forma a permitir as visualizações pretendidas.

Desta forma, foram utilizados dois sistemas para o trabalho realizado nesta dissertação: o *Python* para tratamento e preparação do *dataset* a exportar que permitisse elaborar gráficos com os dados, e o *Power BI* para visualização dos dados referentes a consumos de energia elétrica em Portugal e os dados da temperatura. Posteriormente, com estes dados já disponíveis graficamente, foi possível realizar uma análise comparativa da influência dos mesmos. Ainda em *Python* foram elaborados vários *Heatmaps* para visualizar a distribuição dos consumos ao longo de Portugal Continental.

Capítulo 4 - Apresentação e Análise dos Resultados

Este capítulo consiste nas duas últimas fases da metodologia *CRIPS-DM*: Modelação e Visualização.

A Modelação diz respeito à extração de conhecimento e informações que permitam fornecer aos principais agentes do setor elétrico *insights* para a sua intervenção no consumo de energia elétrica e, consequentemente, no comportamento do setor. Esta fase consiste na extração de dados de forma a analisar o consumo de energia elétrica.

No que diz respeito à Visualização dos Dados é uma das fases mais importantes da metodologia, no entanto, depende do correto tratamento e análise dos dados nas fases anteriores. Esta etapa corresponde à visualização dos dados trabalhados para que sejam representados visualmente, possibilitando analisar o consumo e extrair informações para apoiar o processo de tomada de decisão pelos agentes intervenientes no setor.

Na fase final é ainda realizada uma comparação dos dados de consumos de energia elétrica com as variáveis explicativas selecionadas, sendo identificadas as que mais influenciam o comportamento do consumo.

4.1 Modelação

Como o objetivo pretendido nesta análise seria a visualização dos dados de consumos de energia elétrica em Portugal entre os anos 2016 e 2020 e comparação com variáveis externas que influenciassem direta ou indiretamente estes consumos, não foram utilizados modelos analíticos. Desta forma, recorreu-se ao software *Power BI* para proceder à visualização dos dados.

Em primeiro lugar, importou-se para *Power BI* a base de dados final de consumos de energia elétrica em Portugal obtida após o tratamento e análise dos dados em *Python* e a base de dados referente a temperaturas em Portugal, disponibilizada pelo IPMA.

Assim foram elaborados os gráficos apresentados de seguida, de acordo com as várias características de consumos.

4.2 Visualização dos Dados

Conforme referido anteriormente, ao analisar dados de consumos de energia elétrica em Portugal é possível retirar conclusões sobre o comportamento do consumo num dado período temporal, zona geografia, características da instalação e comparar estes mesmo dados com o comportamento de variáveis externas que afetam diretamente positiva ou negativamente este consumo.

Foi então neste sentido que se procedeu à elaboração de um conjunto de gráficos através dos dados disponíveis, que permitissem a visualização dos consumos entre os anos 2016 e 2020, ao longo dos vários meses do ano, por Distrito, Concelho e Freguesia, de acordo com os vários períodos e ciclos horários e ainda de acordo com o Nível de Tensão e Tipo de Instalação.

Assim, através desta visualização foi possível comparar com os dados disponíveis sobre as variáveis externas que mais impacto têm nas oscilações que este consumo pode tomar ao longo das várias fases temporais e de acordo com as suas características.

De seguida são apresentados os gráficos obtidos nesta fase e é realizada a análise dos consumos de energia elétrica em Portugal nos anos entre 2016 e 2020, sendo apresentadas as principais conclusões.

5.5.1 Distribuição Consumos de Energia Elétrica em Portugal

Consumo por Nível de Tensão

Atualmente existem em Portugal cerca de 6,6 milhões de consumidores de energia elétrica, sendo a maioria, conforme referido nos capítulos anteriores, em Baixa Tensão (~36%), seguidamente de em Média Tensão (~33%). Por sua vez, a Iluminação Pública representa uma minoria com cerca de 2%.

A Figura 13 mostra a distribuição do consumo de energia elétrica em Portugal no ano 2020. O maior consumo encontra-se nos níveis de Baixa Tensão Normal e Média Tensão, onde se encontra representado o setor doméstico, setor com maior peso no consumo, conforme referido anteriormente.

Consumo Energia (kWh) por Nível de tensão

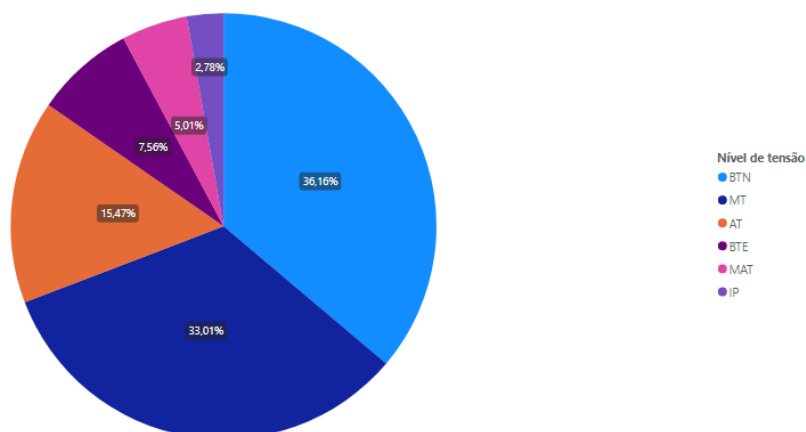


Figura 13 - Consumo de Energia (kWh) por Nível de Tensão em 2020

Consumo por Tipo de Instalação

O Tipo de Instalação permite identificar a finalidade da energia elétrica consumida. A Figura 14 apresenta a distribuição do consumo pelos vários Tipos de Instalação em Portugal.

Se observarmos os consumos totais de energia elétrica por Tipo de Instalação, verificamos que mais de metade da eletricidade é consumida pelos clientes não domésticos e domésticos. Por consumo não doméstico considera-se aquele feito por clientes que comprem gás natural ou energia elétrica para uso profissional ou comercial [37].

Consumo de Energia (kWh) por Tipo de instalação

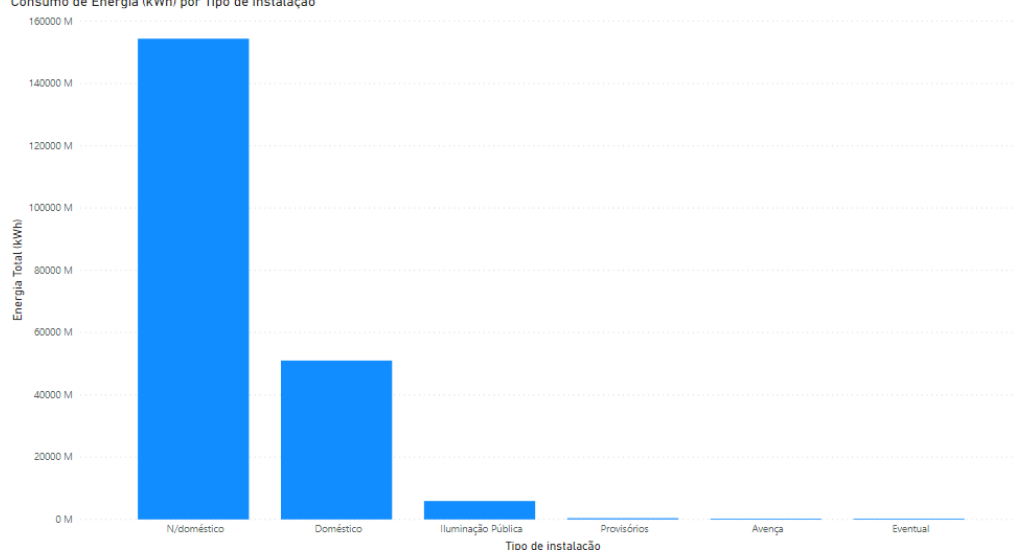


Figura 14 - Consumo de Energia (KwH) por Tipo de Instalação

Consumo nos Últimos Anos

Nos últimos anos, o consumo de energia elétrica tem apresentado várias oscilações, no entanto, começa a evidenciar uma diminuição.

Conforme referido anteriormente, o consumo de eletricidade atingiu em 2020 o valor mais baixo desde 2005, de 48.800 GWh, uma queda de 3,1% face a 2019 ou de 3,7% considerando correções de temperatura e dias úteis [1]. A Figura 15 apresenta os consumos nos últimos 5 anos, sendo evidente a diminuição acentuada no consumo de energia elétrica no ano de 2020.

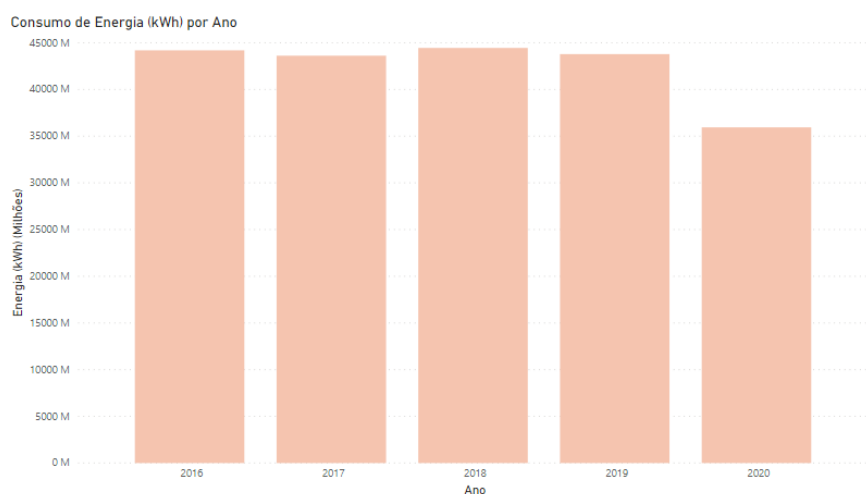


Figura 15 - Consumo de Energia (kWh) por ano

Consumo por Ano/Mês

Observando a distribuição do consumo ao longo dos vários meses do ano, é possível identificar várias oscilações.

A Figura 16 apresenta o consumo dos últimos 5 anos ao longo dos vários meses. Se analisarmos os meses entre abril e julho, é notória uma quebra no consumo. De igual forma, nos meses de novembro e dezembro destaca-se uma subida no consumo nos vários anos.

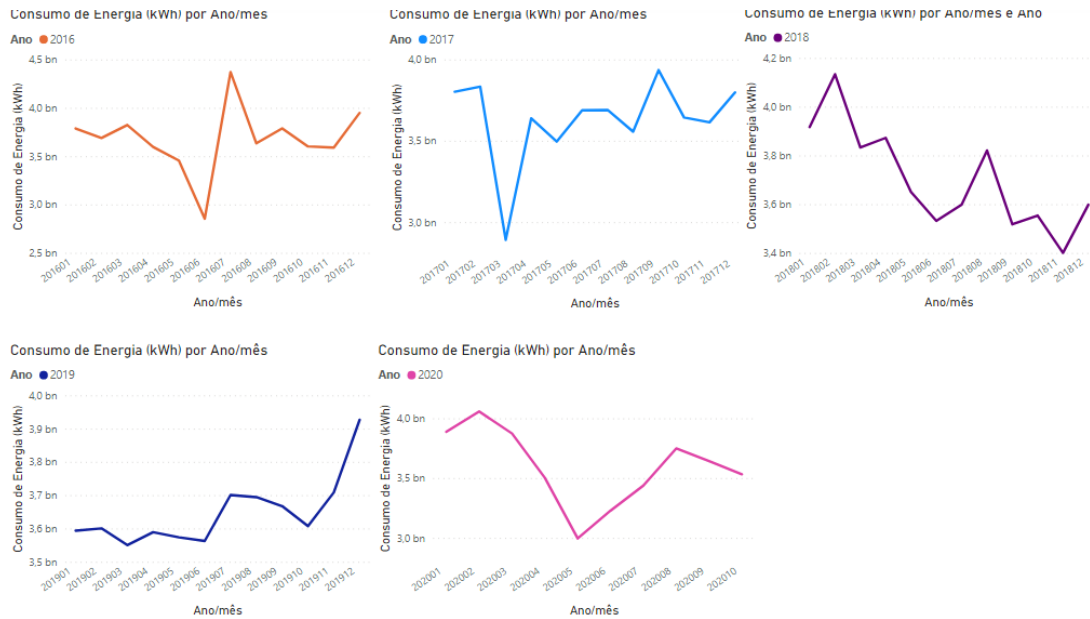


Figura 16 - Consumo de Energia (kWh) por Ano/Mês entre 2016 e 2020

Através da análise do gráfico, é possível observar que o consumo varia ao longo do ano. Se verificarmos, nos meses de Primavera ou Outono, o consumo é menor, aumentando nos meses de Inverno e Verão. Nos meses de Verão esse aumento de consumo deve-se principalmente ao uso das bombas para extrair água para rega e durante os meses de Inverno o mesmo aumento deve-se principalmente ao uso ocasional de aquecedores elétricos na habitação. Isto mostra que a volatilidade do consumo de eletricidade é maior no Inverno e no Verão do que na Primavera e no Outono. Por outro lado, as altas temperaturas no Verão e as baixas temperaturas no Inverno têm uma influência acentuada no consumo de eletricidade

Consumo por Ano e Distrito

Quando analisado o consumo por Distrito, observa-se que o consumo difere entre as várias regiões do país.

Na Figura 17 está discriminado o consumo de energia elétrica pelos vários Distritos, destacando-se as grandes cidades, onde existem os grandes aglomerados populacionais e as grandes indústrias.

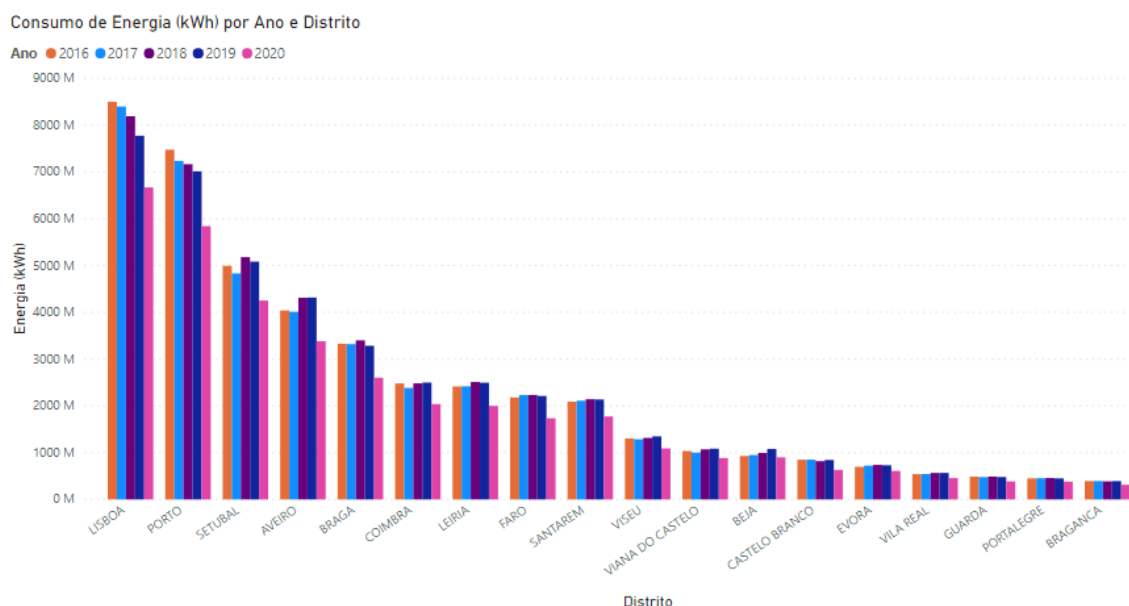


Figura 17 - Consumo de Energia (kWh) por Ano e Distrito

O maior consumo concentra-se em Lisboa e no Porto, nas grandes metrópoles. Na grande maioria dos Distritos, é possível verificar a diminuição do consumo de eletricidade a partir do ano de 2018. Nos distritos com menor consumo também é possível verificar que o consumo se mantém praticamente uniforme entre os anos considerados.

Consumos por Períodos Horários

Atualmente o custo da energia já é diferenciado segundo as horas do dia, durante a semana ou fim de semana, tendo este um valor único na tarifa simples até 3 diferentes valores na tarifa tri-horária, conforme as horas do dia ou dias da semana. O valor do kWh é cerca de metade nas horas de Vazio quando comparado com as horas de Ponta.

Assim, as tarifas bi-horária e tri-horária incentivam os consumidores a deslocarem o funcionamento dos equipamentos para determinados horários onde o preço a pagar pela energia é mais baixo. Em ambas as tarifas, há a opção de ciclo diário e ciclo semanal. Conforme referido anteriormente, no ciclo semanal as horas de Vazio, Cheias ou Ponta são ajustadas com a hora legal de Verão ou Inverno, ao passo que na opção diária os períodos de faturação nas diferentes tarifas se mantêm todo o ano.

Isto pode ser visto como um incentivo à deslocação de cargas, que visa a diminuição dos picos de consumo, com vista a uma distribuição mais uniforme da energia presente nas linhas de transporte. Essa distribuição é possível identificar na Figura 18, onde se destaca os elevados valores de energia consumida na Energia Ativa Cheias,

quando existe maior afluência na utilização de equipamentos elétricos, relacionado com as horas do dia, e na Energia Ativa Simples, em que existe maior número de utilizadores.

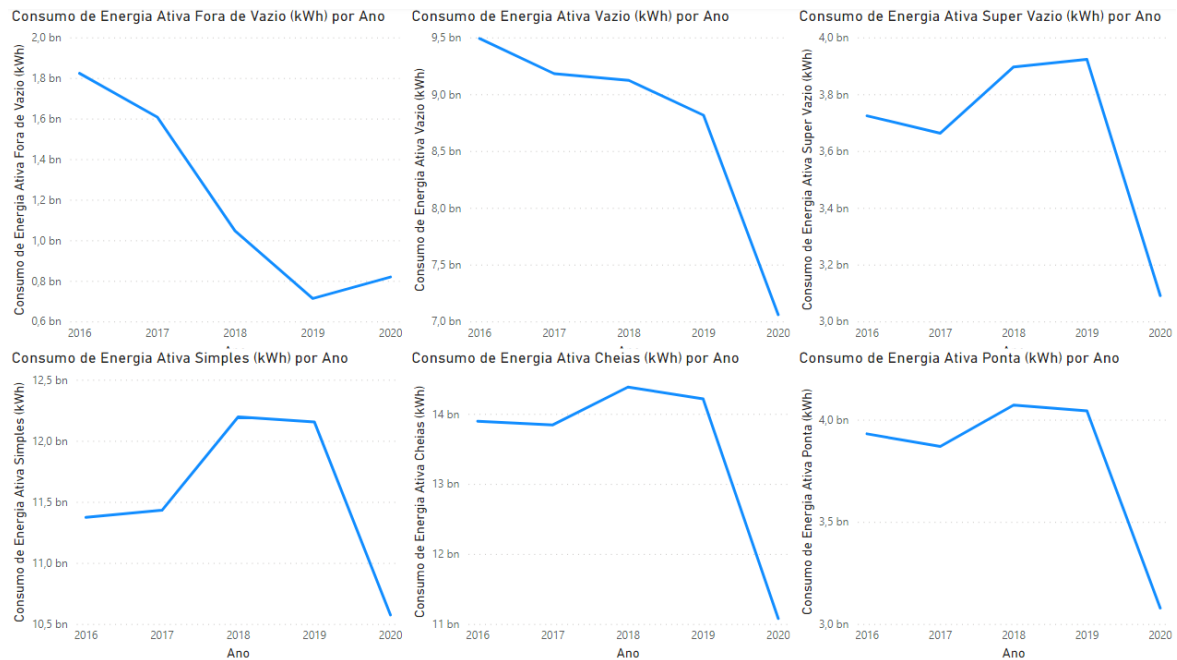


Figura 18 - Consumo de Energia (kWh) por fases

5.5.2 Variáveis Externas

Comparação Consumos Energia Elétrica com Preço

A evolução dos preços da eletricidade tanto para consumidores, domésticos e não domésticos, apresenta várias oscilações ao longo dos anos.

O preço para o consumidor final de eletricidade corresponde à soma de três componentes principais: a componente de energia e fornecimento, a componente de rede (transporte e distribuição) e a componente que inclui impostos, taxas, direitos e encargos. Esta última componente integra impostos como o IVA, imposto especial sobre o consumo e os custos de interesse económico geral (CIEG's) [38].

Relativamente a Portugal, em 2019 o peso da energia foi de 27,8%, a rede representou 23,4% e por último, as taxas e impostos representaram 48,8% do preço de venda ao consumidor final [40].

Na Figura 19 é possível verificar os preços da eletricidade nos últimos 20 anos, onde se verifica um aumento dos preços entre 2009 e 2016, tendo reduzido a partir de

2017. Este aumento pode estar relacionado com a crise económica que afetou Portugal nesse período temporal.

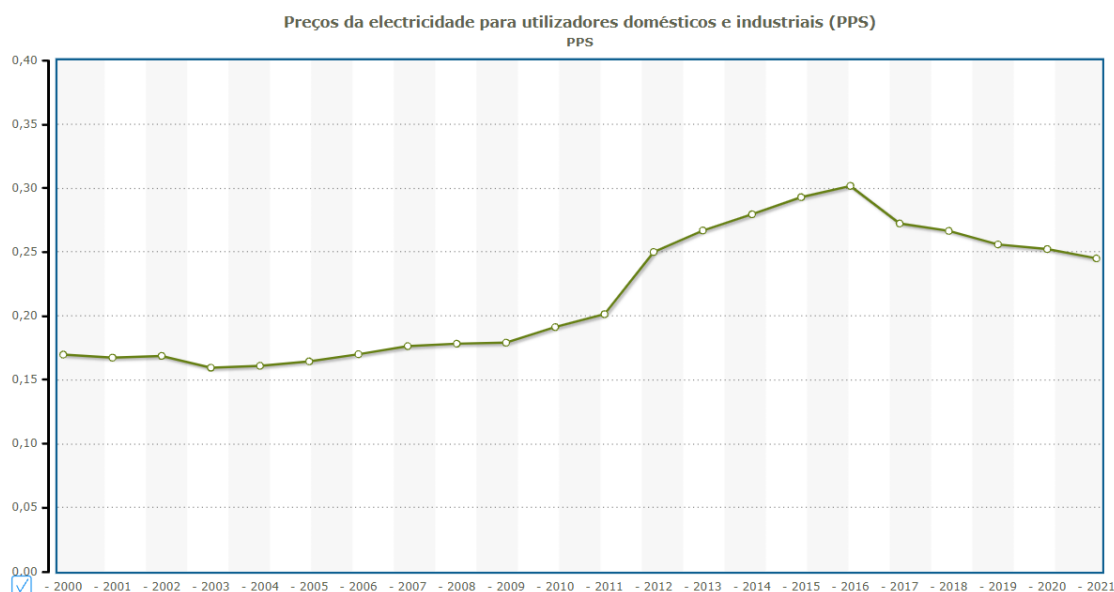


Figura 19 - Preços da eletricidade para utilizadores domésticos e industriais (Pordata)

Se compararmos estes valores com os consumos mensais de eletricidade, verificamos que o aumento dos preços entre os anos de 2009 e 2016 influenciou negativamente o consumo, ou seja, o consumo reduziu, vindo a cair significativamente em 2013.

Seria de esperar que esta variação do preço da eletricidade influenciasse negativamente o consumo de eletricidade, no entanto, se analisarmos a variação entre os anos 2016 e 2017, em que o preço da eletricidade diminuiu, o consumo não aumentou. O mesmo acontece nos anos seguintes.

A teoria económica diz-nos que o consumo de um determinado bem diminui quando o seu preço aumenta [50]. Pode verificar-se um efeito de rendimento ao observar esta variável, pois se o preço aumenta, mantendo tudo o resto constante, os consumidores terão menos rendimento ao seu dispor para consumir eletricidade, o que os leva a consumir menos. Os resultados da regressão corroboram a teoria económica. Neste caso, os consumidores portugueses de eletricidade são sensíveis às variações do preço da eletricidade.

Comparação Consumos Energia Elétrica com PIB

A relação causal entre o consumo de energia e o PIB tem sido objeto de intensas pesquisas ao longo das últimas três décadas. Na Figura 20 e 21 é possível verificar que nos últimos anos o PIB anual tem sido alvo de várias oscilações, sejam positivas ou negativas.

Evolução: PIB anual Portugal		
Data	PIB anual	Var do PIB (%)
2020	202.441M.€	-7,6%
2019	213.949M.€	2,5%
2018	205.184M.€	2,8%
2017	195.947M.€	3,5%
2016	186.490M.€	2,0%
2015	179.713M.€	1,8%
2014	173.054M.€	0,8%
2013	170.492M.€	-0,9%
2012	168.296M.€	-4,1%
2011	176.096M.€	-1,7%
2010	179.611M.€	1,7%

Figura 20 – Evolução do PIB anual em Portugal

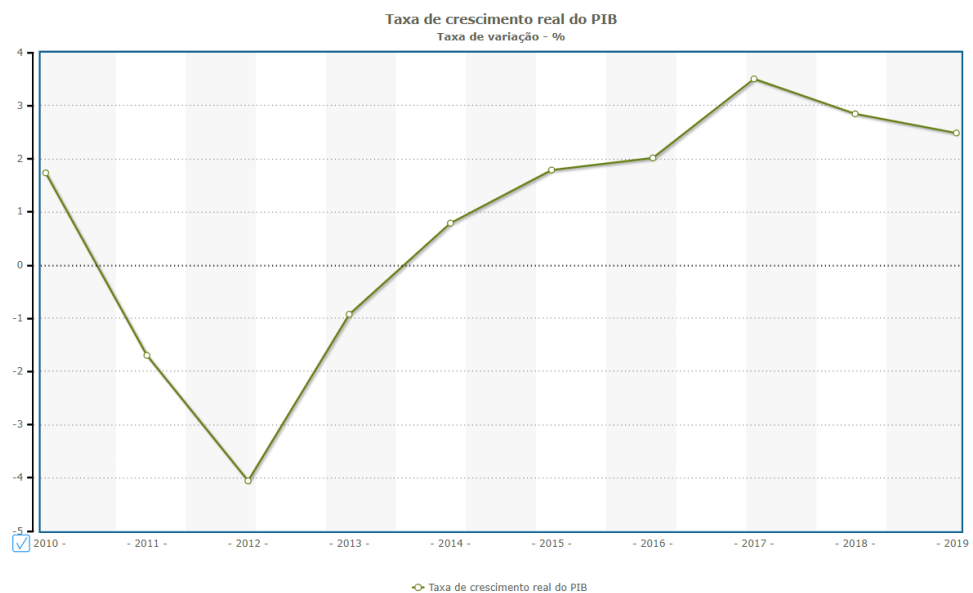


Figura 21 - Taxa de crescimento real do PIB

Os dados de Crescimento Real do PIB de Portugal são atualizados trimestral, com uma média de 1.8 % em 1996 até 2019, com 94 observações. Os dados alcançaram um

alto recorde de 5.0 % em 1998-06 e um baixo recorde de -4.5 % em 2012-12. O produto interno bruto de Portugal sofreu em 2020 uma quebra de 7,6%, de acordo com a estimativa rápida publicada pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) [51].

Um dos fatores que indica o desenvolvimento económico de um país é o PIB, que é o resultado de um grande consumo de produtos e serviços, que resultará em um crescimento da economia.

Ao comparar estes dados com os dados de consumos de energia elétrica verificamos que possuem forte relação, sendo esta mais acentuada à medida que aumenta o consumo de energia elétrica

Comparação Consumos Energia Elétrica com Temperaturas

A influência da temperatura sobre o consumo de energia elétrica varia de acordo com características climatológicas da área analisada. Portugal é um país com clima temperado, que apresenta meses de Verão com temperaturas elevadas, mas também meses de frio rigoroso no Inverno.

Conforme referido, as temperaturas influenciam diretamente os consumos de energia elétrica. Por norma, nos meses mais frios do ano (novembro, dezembro, janeiro e fevereiro), os consumos de energia elétrica disparam. Esta subida deve-se sobretudo às baixas temperaturas sentidas e que levam grande parte da população a recorrer à utilização de equipamentos elétricos para aquecimento das suas residências. Estes equipamentos, conforme referido em capítulos anteriores, consomem muita energia, colocando a rede em sobrecarga.

Na Figura 22 é possível verificarmos as temperaturas médias de Portugal ao longo dos meses de 2016 a 2020. Em ambos os anos o comportamento das temperaturas é constante, apresentado valores mais altos nos meses de Verão e temperaturas mais baixas no início e final do ano, correspondente aos meses mais frios de Inverno.

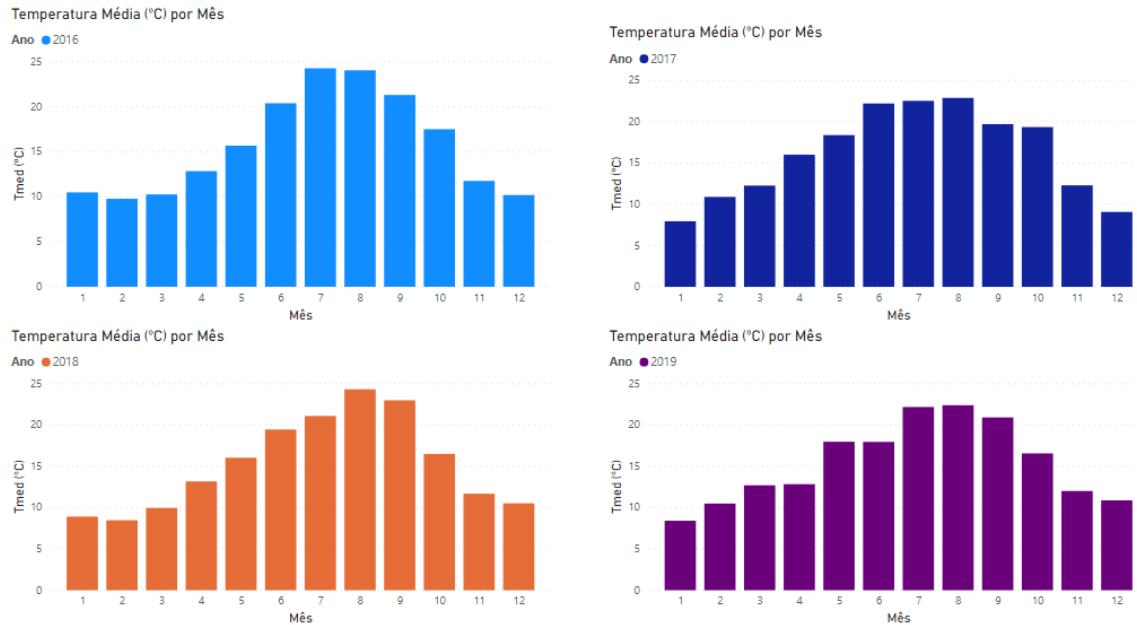


Figura 22 - Temperatura Média por Ano e Mês

Conforme é possível verificar, se compararmos as temperaturas mensais ao longo do ano com os valores de consumos de energia, verificamos que se destaca maior consumo nos meses mais frios do ano, justificado pela utilização de equipamentos elétricos de aquecimentos. Por outro lado, é possível destacar também um pico de consumo nos meses mais quentes do ano, como julho e agosto, em que a população também utiliza equipamento para combater o calor sentido.

Comparação Consumo Energia Elétrica e Densidade Populacional

Em Portugal Continental, o consumo de energia elétrica não se distribui de forma uniforme. No *Heatmap* da Figura 23, através da intensidade de cores, é possível verificar essa discrepância de consumos ao longo do país.

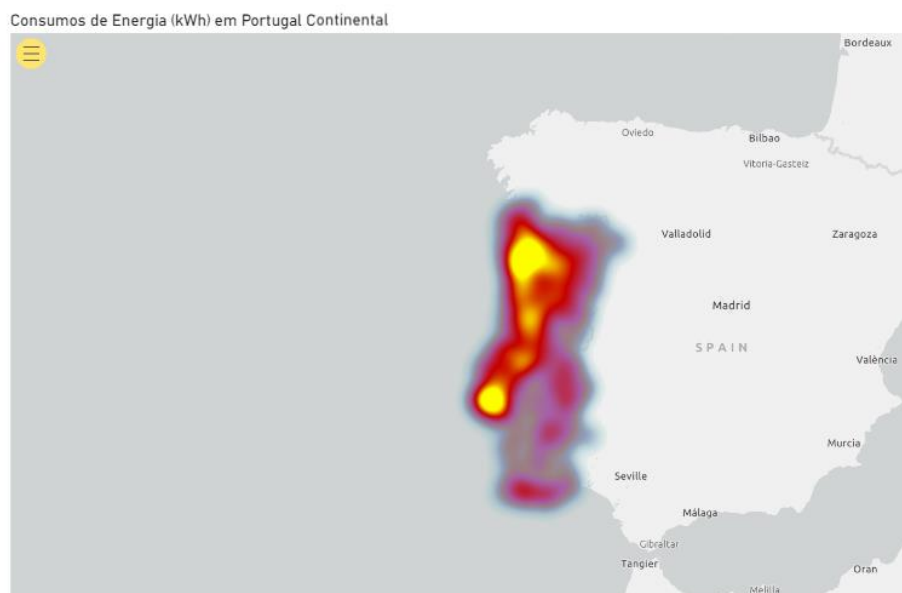


Figura 23 - Heatmap Distribuição Consumos de Energia Elétrica em 2020 em Portugal

Se compararmos a distribuição dos consumos de energia elétrica no ano de 2020 com a distribuição da densidade populacional no mesmo ano ao longo do país representada na Figura 24 é possível verificar que os mesmos estão diretamente relacionados, isto é, os maiores níveis de consumo encontram-se em zonas onde se concentra maiores níveis de população. Verifica-se ainda que o consumo em 2020 é maioritariamente na zona litoral de Portugal, zonas com maior densidade populacional, e com destaque para os distritos de Lisboa, Setúbal e Porto.

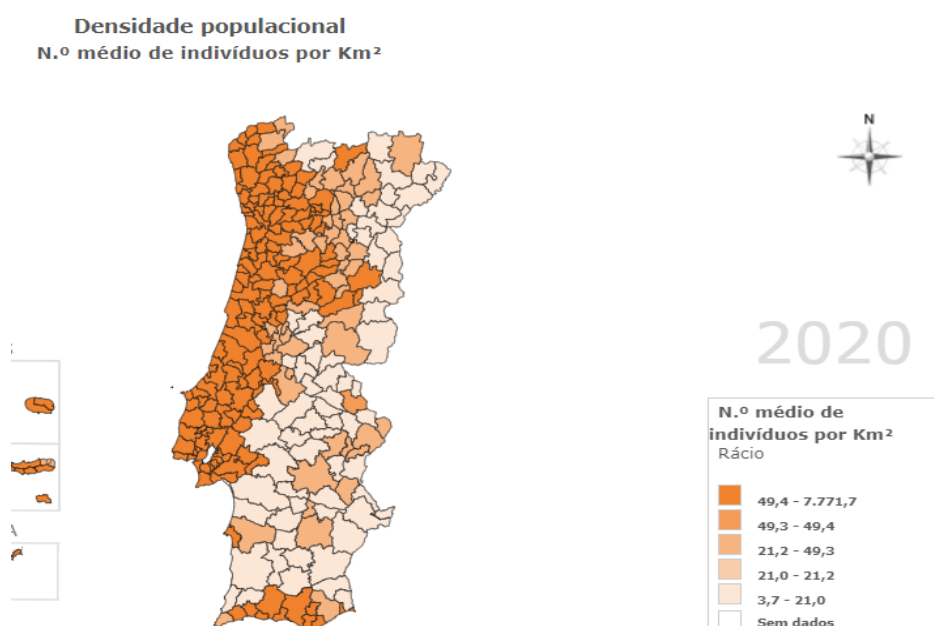


Figura 24 - Distribuição da Densidade Populacional (Pordata)

Capítulo 5 - Conclusão e Trabalho Futuro

5.1 Principais Conclusões

O consumo de energia elétrica no Mundo está em constante alteração. Portugal não é exceção e o clima económico que se vive tem implicações diretas no consumo de energia elétrica que tem vindo a diminuir nos últimos anos.

O consumo de energia tem um peso importante nos indicadores económicos de um país, pois permite identificar o grau de industrialização, desenvolvimento, a localização e o bem-estar da população.

Por esta razão torna-se necessário analisar e compreender o comportamento deste setor, nomeadamente as várias oscilações sentidas ao longo dos últimos anos e, sobretudo, o que motiva estas alterações. Só assim será possível tomar medidas no sentido de melhorar a eficiência do setor e identificar as ações a tomar pelos principais intervenientes.

De forma a compreender o consumo de energia elétrica, torna-se necessário perceber que fatores fazem reagir o consumo dos consumidores, e, por conseguinte, aumentar a eficiência do setor e diminuir a dependência energética.

Para tal, foram propostas variáveis de cariz económico, climático e demográfico para compreender as variações no consumo de eletricidade em Portugal, no período compreendido entre 2016 e 2020. Desta forma, foi possível ter uma visão aproximada das principais variáveis que impactam de forma positiva ou negativa no consumo de energia elétrica.

A análise realizada e os dados apresentados demonstram a estreita relação entre crescimento económico e consumo de energia elétrica, relativamente à análise do PIB. O consumo de energia elétrica, conforme referido, é um importante indicador do desenvolvimento de um país, pois além do crescimento económico permite compreender a qualidade de vida da população.

Os resultados indicam que o preço da eletricidade tem um impacto significativo sobre o consumo residencial de eletricidade, pois tal como se verificou, nos anos em que os preços aumentaram, o consumo caiu consideravelmente. Assim, os agentes responsáveis pela política energética, de acordo com os resultados, podem exercer políticas relacionadas com o preço da eletricidade. Esta conclusão já vem a ser sugerida por parte da literatura existente, como foi possível constatar no Capítulo da Revisão Bibliográfica.

A relação entre temperatura e consumo de energia elétrica é outro tema largamente estudada, dado a sua influência no consumo de energia. A temática tende a aumentar de importância dadas as significativas alterações climáticas sentidas nos últimos anos e as crescentes preocupações acerca do impacto das ações sobre a natureza que pode resultar no aumento das temperaturas médias pelo no país.

No que diz respeito à densidade populacional, esta variável também apresenta influência sobre o consumo de energia elétrica, pois verificou-se que os maiores valores de consumo se concentram em zonas com maior volume de população.

A análise dos resultados diz-nos que das variáveis analisadas, todas apresentam influência nos valores de consumo de energia elétrica, comprovando assim o proposto inicialmente. No entanto, destaca-se a temperatura e a densidade populacional em relação a todas as outras, que não apresentam um impacto tão significativo sobre o consumo de energia elétrica em Portugal.

5.2 Desenvolvimentos Futuros

Conforme referido no capítulo anterior, devido ao volume de dados e a limitações no sistema de *reporting*, não foi possível obter uma amostra de consumos de energia elétrica em Portugal num período temporal maior nem com maior detalhe.

No entanto, para termos uma análise com maior rigor do consumo real seriam necessários dados de um período de tempo mais prolongado e com detalhe de mais variáveis associadas a este consumo, ao tipo de instalação e ao tipo de clientes.

Desta forma, esta análise esteve limitada aos dados existentes e aos padrões que foi possível pesquisar nestes. O aprofundamento desta matéria, passará por estudar com maior detalhe os consumos de energia elétrica em Portugal, nomeadamente nas diversas regiões do país, num intervalo temporal mais alargado, o que possibilitará a construção de um modelo de dados em painel, oferecendo com certeza resultados mais ricos e

práticos para a tomada de decisão por parte dos intervenientes no setor, sejam comercializadores ou consumidores e no ponto de vista da política energética.

Variáveis externas que influenciem o comportamento do consumo de energia elétrica, deverão ser sempre incluídas neste tipo de estudo, ao passo que a introdução de outras variáveis deve contemplar a realidade económica, política e social do país. Nesta análise, foi observado o comportamento do preço, PIB, temperatura e densidade populacional visto serem as variáveis com maior impacto no comportamento do consumo de energia elétrica atualmente.

Em trabalhos futuros seria importante obter maior detalhe sobre as variáveis já analisadas e a introdução de novas variáveis que manifestem influencia no consumo de energia elétrica, de modo a identificar com maior detalhe e consistência padrões de consumo.

Adicionalmente, faria também sentido a comparação dos padrões de consumo de energia elétrica identificados nesta análise com trabalhos realizados sobre o mesmo tema noutras economias e países.

Referências Bibliográficas

- [1] «Consumo de eletricidade atinge em 2020 o valor mais baixo desde 2005, REN, 05 janeiro 2021 Disponível em: <https://observador.pt/2021/01/05/ren-consumo-de-eletricidade-atinge-em-2020-o-valor-mais-baixo-desde-2005/>».
- [2] J. P. Marques, «Análise do Consumo de Energia Elétrica numa Habitação», p. 69.
- [3] A. Finkler e D. R. Finkler, «Relação do Crescimento Econômico e Consumo de Energia Elétrica», p. 6.
- [4] «Electricity – consumption - The World Factbook, CIA, 2016 Disponível em <https://www.cia.gov/the-world-factbook/fields/electricity-consumption-country-comparison>».
- [5] «REN - O Setor Elétrico, REN, 2015 Disponível em: https://www.ren.pt/pt-PT/o_que_fazemos/eletricidade/o_setor_eletrico».
- [6] J. T. F. Ferreira, «O Consumo de Eletricidade do Setor Residencial em Portugal: Fatores Explicativos», p. 56.
- [7] J. Amador, «Produção e Consumo de Energia em Portugal: Factos Estilizados», p. 16, 2010.
- [8] Pérez-Chacón, R., F. Luna-Romera, J., F. Martínez-Álvarez, Francisco, F. C. Riquelme, J., e F. Troncoso, A., «Big Data Analytics for Discovering Electricity Consumption Patterns in Smart Cities», p. 19, 2018.
- [9] Fernandes da Luz, Nádia «Análise dos Padrões de Consumo de Famílias Portuguesas», 2014.
- [10] «Como consumimos energia em Portugal_ Uma história contada em números, 28 maio 2019, EXPRESSO Disponível em: <https://expresso.pt/economia/2019-05-28-Como-consumimos-energia-em-Portugal--Uma-historia-contada-em-numeros>».
- [11] «What is CRISP DM, Data Science Process Alliance Disponível em: <https://www.datascience-pm.com/crisp-dm-2/>».
- [12] «Gonzalez, Matheus. CRISP-DM na prática., Medium, 24 junho 2019 Disponível em: <https://medium.com/matgonz/crisp-dm-na-pr%C3%A1tica-65be0ee92ada>».
- [13] A. de, «Descoberta de Padrões de Consumo de Energia Elétrica», p. 89.
- [14] D. Moher, A. Liberati, J. Tetzlaff, e D. G. Altman, «Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement», *International Journal of Surgery*, vol. 8, n. 5, pp. 336–341, 2010, doi: 10.1016/j.ijsu.2010.02.007.
- [15] Y. Pang, B. Yao, X. Zhou, Y. Zhang, Y. Xu, e Z. Tan, «Hierarchical Electricity Time Series Forecasting for Integrating Consumption Patterns Analysis and Aggregation Consistency», p. 7.
- [16] C. Wang, «New methods for clustering district heating users based on consumption patterns», *Applied Energy*, p. 10, 2019.
- [17] Paulos, José, «Previsão de Consumo de Energia Elétrica e do Preço da Eletricidade através de Redes Neurais de Regressão Generalizada.», 2017.
- [18] S. Mao, S. Qiu, T. Li, M. Tang, H. Deng, e H. Zheng, «Using Characteristic Energy to Study Rural Ethnic Minorities' Household Energy Consumption and Its Impact Factors in Chongqing, China», p. 14, 2020.
- [19] K. Li, T. Zhang, D. Li, H. Che, J. Meng, e D. Tan, «Electricity consumption patterns analysis using a shape-based clustering method based on seasonal decomposition and parallel computing», p. 6, 2019.
- [20] P. K. R. Chowdhury *et al.*, «Electricity consumption patterns within cities: application of a data-driven settlement characteriza», p. 18.

- [21] F Wang, K Li, N Duić, Z Mi, BM Hodge «Association rule mining based quantitative analysis approach of household characteristics impacts on residential electricity consumption patterns», 2018.
- [22] D. Romero-Jordán, C. Peñasco, e P. del Río, «Analysing the determinants of household electricity demand in Spain. An econometric study», *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 63, pp. 950–961, Dez. 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.06.005.
- [23] W.-M. To, P. K. C. Lee, e T.-M. Lai, «Modeling of Monthly Residential and Commercial Electricity Consumption Using Nonlinear Seasonal Models—The Case of Hong Kong», p. 16, 2017.
- [24] Z. Guo, «Data mining based framework for exploring household electricity consumption patterns: A case study in China context», *Journal of Cleaner Production*, p. 13, 2018.
- [25] T Yang, M Ren, K Zhou, «Identifying household electricity consumption patterns A case study of Kunshan, China», 2018.
- [26] J. A. Diaz-Acevedo, «A method for estimating electricity consumption patterns of buildings to implement Energy Management Systems», *Journal of Building Engineering*, p. 9, 2019.
- [27] G. Trotta, K. Gram-Hanssen, e P. L. Jørgensen, «Heterogeneity of Electricity Consumption Patterns in Vulnerable Households», p. 17, 2020.
- [28] D. Kontogiannis, D. Bargiotas, e A. Daskalopulu, «Minutely Active Power Forecasting Models Using Neural Networks», p. 17, 2020.
- [29] Y. Pang, C. Jin, X. Zhou, N. Guo, e Y. Zhang, «Hierarchical Electricity Demand Forecasting by Exploring the Electricity Consumption Patterns», p. 6, 2018.
- [30] H.-Y. Lee, K. M. Jang, e Y. Kim, «Energy Consumption Prediction in Vietnam with an Artificial Neural Network-Based Urban Growth Model», p. 17, 2020.
- [31] K. Zhou, «Discovering residential electricity consumption patterns through smart-meter data mining: A case study from China», *Utilities Policy*, p. 12, 2017.
- [32] X. Liu, «A data mining-based framework for the identification of daily electricity usage patterns and anomaly detection in building electricity consumption data», p. 22, 2021.
- [33] M. Kojury-Naftchali, A. Fereidunian, M. Savaghebi, e B. Akhbari, «Change Detection in Electricity Consumption Patterns Utilizing Adaptive Information Theoretic Algorithms», *IEEE SYSTEMS JOURNAL*, vol. 15, n. 2, p. 9, 2021.
- [34] «Eletricidade|Funcionamento|Produção, 2021, ERSE Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/producao/>».
- [35] «Produção de Energia, 2021, APREN - Associação de Energias Renováveis Disponível em: <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao/>».
- [36] «Eletricidade|Funcionamento|Transporte, 2021, ERSE Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/transporte/>».
- [37] «Eletricidade|Funcionamento|Comercialização, 2021, ERSE Disponível em: <https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/comercializacao/>».
- [38] «Atividade|Regulação|Tarifas e Preços - Eletricidade, 2021, ERSE Disponível em: <https://www.erse.pt/atividade/regulacao/tarifas-e-precos-eletricidade/>».
- [39] «Tarifas e ciclos horários, 2021, POUPA ENERGIA Disponível em: <https://poupaenergia.pt/tarifas-e-ciclos-horarios/>».
- [40] «energia-em-números-edição, Observatório da Energia, 2020».
- [41] «Energia e Clima _ Relatório do Estado do Ambiente, 2021, Portal do Estado do Ambiente, Portugal A Disponível em: https://rea.apambiente.pt/dominio_ambiental/energia_e_clima».

- [42] «Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico, INE e DGEG 2020».
- [43] K. Gram-Hanssen, «Understanding change and continuity in residential energy consumption», *Journal of Consumer Culture*, vol. 11, n. 1, pp. 61–78, Mar. 2011, doi: 10.1177/1469540510391725.
- [44] «Electricity and heat statistics, 2021, eurostat - Statistics Explained Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_and_heat_statistics#Consumption_of_electricity_per_capita_in_the_households_sector».
- [45] «Gas and electricity market reports, 2020, European Commission Disponível em: https://ec.europa.eu/energy/data-analysis/market-analysis_en».
- [46] P. Isolani, «Eficiência energética nos edifícios residenciais», p. 48.
- [47] DGGE «Eficiência energética em equipamentos e sistemas elétricos no setor residencial», 2004.
- [48] D. Wiesmann, I. Lima Azevedo, P. Ferrão, e J. E. Fernández, «Residential electricity consumption in Portugal: Findings from top-down and bottom-up models», *Energy Policy*, vol. 39, n. 5, pp. 2772–2779, Mai. 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.02.047.
- [49] Rebelo, Daniela «Análise da Influência da Produção Eólica sobre os Preços do Mercado Ibérico de Eletricidade», 2019.
- [50] A. A. Donário, «A Procura e a Oferta», p. 28.
- [51] «Significado de PIB Per Capita (O que é, Conceito e Definição) - Significados, 2017, Significados Disponível em: <https://www.significados.com.br/pib-per-capita/>».
- [52] M. F. M. Ferreira, «Consumo de Energia e Crescimento Económico: Evidência em período longo para um painel de países europeus», p. 27.
- [53] «Aumentar a Eficiência Energética, 2019, Crescimento Verde Disponível em: <https://www.crescimentoverde.gov.pt/objetivo-7-aumentar-a-eficiencia-energetica/>».
- [54] G. N. de Andrade e A. P. Sant'Anna, «Estimativa do Impacto das Variações de Temperatura sobre o Consumo Residencial de Energia Elétrica no Rio de Janeiro», p. 12, 2013.
- [55] Santos, Vasco, «As alterações climáticas e o consumo de energia elétrica dos estudantes de licenciatura da FCSH», 2017.
- [56] «Densidade populacional, 2021, PORDATA Disponível em: <https://www.pordata.pt/Municipios/Densidade+populacional-452>».
- [57] «Densidade urbana pode ser fator chave para a economia de energia até 2050 - Rotas Estratégicas - SETOR ENERGIA, 2017, OBSERVATÓRIOS Disponível em: <https://www.fiepr.org.br/observatorios/energia/FreeComponent21893content338362.shtml>».

