



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rui Filipe Duarte Lourenço

**IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E DA
DESCARBONIZAÇÃO NO SECTOR
ELÉTRICO NACIONAL**

Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, do ramo de especialização em Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

Março de 2021



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Rui Filipe Duarte Lourenço

**IMPACTO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS E DA
DESCARBONIZAÇÃO NO SECTOR
ELÉTRICO NACIONAL**

**Dissertação no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia
Eletrotécnica e de Computadores, do ramo de especialização em
Energia orientada pelo Professor Doutor Humberto Manuel Matos
Jorge e apresentada ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica e
de Computadores da Faculdade de Ciências e Tecnologia da
Universidade de Coimbra.**

Júri:

Presidente do Júri: Professora Doutora Rita Cristina Girão Coelho da Silva, FCTUC
Vogais: Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge, FCTUC
Professor Coordenador Luís Miguel Pires Neves, IPL

Março de 2021

Agradecimentos

Em primeiro lugar um agradecimento ao Professor Doutor Humberto Manuel Matos Jorge pela orientação, apoio e motivação ao longo deste período de desenvolvimento da dissertação.

Agradeço a todos os meus familiares e amigos que me tem acompanhado ao longo do tempo e direta ou indiretamente ajudaram e motivaram.

Um agradecimento especial, ao meu cunhado pelos conselhos sempre pertinentes, motivação e ajuda, e às minhas sobrinhas pelos momentos de distração e alegria que proporcionaram.

Por fim, agradecer às pessoas sem a quais nada disto seria possível: os meus pais e a minha irmã. Não existem palavras que possam expressar o quão importantes foram e são, por isso deixo o meu humilde obrigado pelo apoio incondicional, confiança e força que me deram ao longo deste percurso. É a eles que dedico este trabalho. Obrigado por acreditarem em mim.

Resumo

As Alterações Climáticas são o maior desafio civilizacional das atuais gerações, cujo impacto no futuro do Planeta poderá ser catastrófico. Isso acarreta uma grande responsabilidade para com as gerações futuras na forma como respondemos e lidamos.

Portugal, infelizmente, será um dos países onde os impactos das Alterações Climáticas podem ter graves consequências na sociedade, o aumento da temperatura média com o potencial para ondas de calor mais prolongadas e severas e as secas meteorológicas também mais longas e severas poderão trazer a Portugal desafios para os quais ainda não está preparado.

A urgência na implementação de medidas levou à criação de vários planos de combate às Alterações Climáticas, com maior ênfase na redução de emissões de Gases de Efeito Estufa como forma de atenuar o Aquecimento Global, principal potenciador das Alterações Climáticas.

No caso de Portugal, o Plano Nacional Energia e Clima 2030 e o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 têm o objetivo claro de reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa dos vários setores da economia, com uma forte aposta nas Fontes de Energia Renovável. O setor da Energia Elétrica é o que mais contribuirá de forma direta para a redução das emissões, pois terá um papel importante na integração das Fontes de Energia Renovável e Descarbonização de outros setores da economia.

A intervenção no setor da Energia Elétrica requer uma análise mais profunda do Setor Electroprodutor, tendo presente não só a implementação das medidas de descarbonização, mas também uma perspetiva dos impactos que as Alteração Climáticas podem ter no setor. Deve ser realçado, não só a necessidade de descarbonização do setor, mas também de o tornar mais resiliente às alterações climáticas.

Assim, será necessário levar a cabo um conjunto de medidas, para possibilitar o cumprimento dos objetivos propostos no horizonte 2030 e 2050, deforma a não pôr em causa a Segurança de Abastecimento.

Palavras-chave:

Alterações Climáticas

Descarbonização

Fontes de Energia Renovável

Produção Hidroelétrica

Disponibilidade Renovável

Abstract

Climate Change is the greatest civilizational challenge of the current generations, whose impact on the future of the Planet could be catastrophic. This carries a great responsibility to future generations in the way we respond and deal.

Portugal, unfortunately, will be one of the countries where the impacts of Climate Change can have serious consequences on society, the increase in average temperature with the potential for more prolonged and severe heat waves and also longer and more severe weather droughts may bring challenges to Portugal for which you are not yet prepared.

The urgency in implementing measures led to the creation of several plans to combat Climate Change, with a greater emphasis on reducing greenhouse gas emissions as a way of mitigating Global Warming, the main enhancer of Climate Change.

In the case of Portugal, the National Energy and Climate Plan 2030 and the Roadmap for Carbon Neutrality 2050 have the clear objective of reducing greenhouse gas emissions from the various sectors of the economy, with a strong focus on Renewable Energy Sources. The Electric Energy sector will have the biggest direct contribution to the reduction of emissions, as it will have an important role in the integration of Renewable Energy Sources and Decarbonization of other sectors of the economy.

The intervention in the Electric Energy sector requires a deeper analysis of the Electro producer Sector, bearing in mind not only the implementation of decarbonization measures, but also a perspective of the impacts that Climate Change may have on the sector. It must be emphasized, not only the need to decarbonize the sector, but also to make it more resilient to climate change.

Thus, it will be necessary to carry out a set of measures to enable the objectives proposed in the 2030 and 2050 horizon to be met and maintaining the current level of Supply Security.

Key words:

Climate change

Decarbonization

Renewable Energy Sources

Meteorological Drought

Renewable Availability

Índice

| | |
|---|-------------|
| Agradecimentos | iv |
| Resumo | vi |
| Abstract | ix |
| Índice | xi |
| Lista de Figuras | xiii |
| Lista de Tabelas | xv |
| Lista de Abreviações | xvi |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Motivações | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 1 |
| 1.3. Metodologia | 2 |
| 1.4. Estrutura da dissertação..... | 2 |
| 2. Enquadramento | 3 |
| 2.1. Alterações Climáticas | 3 |
| 2.1.1. Impacto das Alterações Climáticas em Portugal | 4 |
| 2.2. Descarbonização | 6 |
| 2.2.1. Enquadramento Nacional | 6 |
| 2.2.2. Sector Electroprodutor..... | 6 |
| 2.3. Caracterização do Sistema Nacional Electroprodutor | 9 |
| 2.3.1. Procura | 10 |
| 2.3.2. Oferta..... | 12 |
| 2.3.3. Oferta versus Procura..... | 13 |
| 2.4. Impacto das Alterações Climáticas no SEN | 15 |
| 2.4.1. Sector Electroprodutor..... | 15 |
| 2.4.2. Procura | 16 |
| 2.5. Estratégia 2030 | 17 |
| 2.5.1. Principais Políticas para o Horizonte 2030..... | 17 |
| 2.5.2. Energia de Fontes Renováveis | 19 |
| 2.5.3. Trajetórias Gerais e Setoriais para a Energia Renovável | 20 |
| 3. Implicações da Descarbonização e das Alterações Climáticas e no SEN | 23 |
| 3.1. Formulação do Problema | 23 |
| 3.1.1. Descarbonização | 23 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.1.2. | Alterações Climáticas | 24 |
| 3.2. | Análise da Produção de Eletricidade em Portugal Continental 2013-2019 | 24 |
| 3.2.1. | Fatores Meteorológicos | 25 |
| 3.2.2. | Fatores Económicos | 28 |
| 3.3. | Análise e Estudo do Ano de 2017 | 30 |
| 3.3.1. | Metodologia da Análise | 30 |
| 3.3.2. | Produção Eólica..... | 31 |
| 3.3.3. | Produção Fotovoltaica | 32 |
| 3.3.4. | Produção Hidroelétrica | 33 |
| 3.3.5. | Consumo | 34 |
| 3.3.6. | Estimativa do Diagrama de Disponibilidade 2030 | 36 |
| 3.4. | Resultados..... | 36 |
| 3.5. | Conclusões do caso de Estudo | 38 |
| 4. | Soluções e Estratégias | 40 |
| 4.1. | Armazenamento | 40 |
| 4.2. | Interligações | 42 |
| 4.3. | Gestão da Procura | 42 |
| 4.4. | Reserva Térmica | 42 |
| 4.5. | Hidrogénio | 43 |
| 5. | Conclusão..... | 44 |
| 6. | Referências Bibliográficas..... | 46 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Temperatura média do ar e precipitação em Portugal Continental entre 1931 e 2019 [Fonte: IPMA] | 4 |
| Figura 2: Evolução Anual da Precipitação 2041-2070 [Fonte: Portal do Clima] | 5 |
| Figura 3: Evolução Anual da Temperatura Média 2041-2070 [Fonte: Portal do Clima] | 5 |
| Figura 4: Contribuição setorial para a trajetória de redução de emissões de GEE até 2050 [Fonte: RNC2050] | 7 |
| Figura 5: Evolução das emissões de sector electroprodutor e % de incorporação de Renováveis [Fonte: RNC2050] | 8 |
| Figura 6: Evolução da capacidade Instalada e Intensidade Carbónica [Fonte: RNC2050] | 9 |
| Figura 7: Evolução do consumo em Portugal Continental [TWh] | 10 |
| Figura 8: Evolução do consumo em Portugal Continental por setor de atividade [TWh] | 10 |
| Figura 9: Consumo de Eletricidade em Portugal Continental em 2017 por setor de atividade | 11 |
| Figura 10: Evolução do peso da Eletricidade no consumo final de energia em Portugal | 11 |
| Figura 11: Evolução da Produção de Eletricidade em Portugal Continental Fonte [Dados: REN] | 12 |
| Figura 12: Evolução da Capacidade Instalada em Portugal Continental [Dados: REN] | 13 |
| Figura 13: Evolução da Produção Real vs. Procura [GWh] | 13 |
| Figura 14: Rácio entre Produção real e Procura | 14 |
| Figura 15: Evolução da Produção máxima/média vs. Procura [GWh] | 14 |
| Figura 16: Rácio entre Produção máxima/média Procura | 15 |
| Figura 17: Objetivos Nacionais para o Horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 18 |
| Figura 18: Relação entre os objetivos nacionais e as dimensões do PNEC [Fonte: PNEC] | 19 |
| Figura 19: Estimativa de capacidade instalada para a produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 21 |
| Figura 20: Estimativa de evolução da produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 21 |
| Figura 21: Diagrama de Produção e Consumo de Eletricidade em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN] | 25 |
| Figura 22: Anomalias da quantidade de precipitação anual em Portugal continental, em relação ao valor médio no período 1971-2000 [Fonte: IPMA] | 26 |
| Figura 23: Produção Hídrica Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN] | 26 |

| | |
|--|----|
| Figura 24: Produção Eólica Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN] | 27 |
| Figura 25: Comparação da Produção Hídrica e Térmica (Gás e Cravão) Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados REN] | 27 |
| Figura 26: Produção Térmica (Carvão e Gás) Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN] | 28 |
| Figura 27: Variação do preço médio anual do Carvão e Gás Natural [Dados: DGEG] | 29 |
| Figura 28: Preço da tCO _{2e} no Mercado Europeu [Dados: EMBER-Climate]..... | 29 |
| Figura 29: Diagrama de produção de 2017 [Dados REN] | 30 |
| Figura 30: Diagrama de produção diária Eólica - 2017[Dados: REN] | 31 |
| Figura 31: Potência Média Horária de Produção Eólica 20-26 de Março [Dados: ENTSO-E] | 32 |
| Figura 32: Diagrama de produção diária Fotovoltaica - 2017 [Dados: REN]..... | 33 |
| Figura 33: Potência Média Horária de Produção Fotovoltaica 21-27 de Agosto [Dados: ENTSO-E] .. | 33 |
| Figura 34: Diagrama de produção diária Hidroelétrica - 2017 [Dados: REN] | 34 |
| Figura 35: Potência Média Horária de Produção Hidroelétrica 20-26 de Março [Dados: ENTSO-E]... | 34 |
| Figura 36: Diagrama de Carga - 2017 [Dados: REN] | 35 |
| Figura 37: Diagrama de Carga 06-12 de Fevereiro [Dados: ENTSO-E]..... | 35 |
| Figura 38: Disponibilidade Renovável versus Carga - 2030 | 37 |
| Figura 39: Disponibilidade da Geração Renovável versus Carga | 38 |
| Figura 40: Comparação de diferentes tecnologias de armazenamento em capacidade de armazenamento e tempo de descarga à potência nominal | 41 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Evolução potencial das emissões e % de incorporação de Renováveis [Fonte: RNC2050] .. | 8 |
| Tabela 2: Metas de Portugal para o horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 17 |
| Tabela 3: Trajetória indicativa e contributo de Portugal para a meta vinculativa da União em 2030 [Fonte: PNEC]..... | 19 |
| Tabela 4 : Trajetória estimada para a quota de energia renovável no consumo final de energia no horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 20 |
| Tabela 5: Perspetivas de evolução da capacidade instalada para a produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 20 |
| Tabela 6: Perspetivas de evolução do consumo de renováveis no setor do aquecimento e arrefecimento por tecnologia em Portugal [Fonte: PNEC] | 22 |
| Tabela 7: Perspetivas de evolução do consumo de renováveis no setor dos transportes por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC] | 22 |
| Tabela 8: Produção Anual 2013-2019 [Dados: REN] | 31 |
| Tabela 9: Produção Anual 2013-2019 [Dados: REN] | 32 |
| Tabela 10: Produção Anual 2013-2019 [Dados: REN] | 33 |
| Tabela 11: Consumo Anual de Eletricidade 2013-2017[Dados: REN] | 35 |

Lista de Abreviações

| | |
|----------------|--|
| AC | Alterações Climáticas |
| AG | Aquecimento Global |
| ENTSO-E | <i>European Network of Transmission System Operators</i> |
| FER | Fontes de Energia Renovável |
| GEE | Gases de Efeito Estufa |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| PNEC | Plano Nacional Energia e Clima |
| PRE | Produção em Regime Especial |
| REN | Rede Elétrica Nacional |
| RNC | Roteiro para a Neutralidade Carbónica |
| SEN | Sistema Elétrico Nacional |
| UE | União Europeia |

1.Introdução

1.1. Motivações

As Alterações Climáticas (AC) apresentam-se como um dos maiores desafios para a Humanidade neste século. Num futuro próximo podem causar impactos consideráveis sobre as atividades humanas, com disrupções de natureza social, económica e ambiental. Assim, cresce a necessidade de uma intervenção da sociedade para mitigar os seus impactos.

É amplamente conhecido que as AC terão fortes impactos em Portugal, e é também possível que esses impactos já se façam sentir atualmente. Portanto, é imperativo a implementação de estratégias para combate e mitigação dos seus efeitos.

Para combater as AC é preciso intervir nas causas que levam ao Aquecimento Global (AG), tal só será possível com uma redução significativa das emissões de Gases de Efeito de Estufa, tornando assim, essencial a descarbonização de vários setores da economia.

É neste contexto que foram definidas políticas ambientais para o combate às AC. No caso de Portugal destacam-se, o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 e o Plano Nacional Energia Clima 2030.

A implementação destes planos terá impacto em vários setores. Um dos setores com maior relevo será o Setor Electroprodutor, não só na sua descarbonização, mas também na sua influência indireta na descarbonização de outros setores da economia, como por exemplo o setor dos transportes.

1.2. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação é compreender de que forma os impactos das AC em Portugal e a estratégia de descarbonização podem afetar o Setor Electroprodutor.

Para tal será necessário perceber quais os principais impactos das AC e de que forma poderão afetar a produção de eletricidade, em Portugal Continental.

No que diz respeito à descarbonização, é necessário fazer uma análise dos planos e estratégias a que Portugal se propõe. Nesse sentido será feita uma revisão das principais medidas afetas ao Setor Electroprodutor do Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 e do Plano Nacional Energia Clima 2030.

No estudo de caso, propõe-se perceber de que forma poderá comportar-se o Setor Electroprodutor depois de implementadas as medidas do Plano Nacional Energia Clima 2030 afetas ao setor, num contexto de eventuais impactos das AC. Para tal será usado o ano de 2017 como ano de referência na avaliação dos possíveis impactos.

Por fim, serão propostas soluções e estratégias que poderão não só mitigar potenciais impactos das AC no setor, mas também, ajudar a cumprir os objetivos propostos com o horizonte da descarbonização

1.3. Metodologia

Para a realização da dissertação será feita uma recolha e tratamento de dados de Produção e Consumo de eletricidade durante vários anos, com principal incidência no ano de 2017 para o estudo de caso. Sendo as principais fontes dos dados a REN e ENTSO-E.

No estudo de caso será conjeturada a disponibilidade de produção renovável e o consumo, tendo por base os dados de produção e consumo de 2017, para um cenário em 2030 com a implementação das medidas do Plano Nacional Energia Clima 2030 na capacidade instalada da geração renovável.

1.4. Estrutura da dissertação

A presente dissertação é constituída por cinco capítulos.

Capítulo 1: São abordadas as Motivações para o desenvolvimento da dissertação, assim como os Objetivos, Metodologia e a Estrutura da mesma.

Capítulo 2: Neste capítulo é efetuado o enquadramento das várias temáticas abordadas, tais como AC e os seus impactos em Portugal e no SEN, a Descarbonização num quadro Nacional e no sector Electroprodutor, a caracterização do Sistema Nacional Electroprodutor e por fim, a Estratégia 2030 para a transição energética.

Capítulo 3: É efetuada uma análise das implicações que as AC e a Descarbonização podem ter no SEN. Esta análise baseia-se nas implicações dos fatores meteorológicos e económicos na produção bruta de eletricidade em Portugal Continental, entre 2013 e 2019 e culmina num estudo mais aprofundado do ano de 2017 e a sua replicação num potencial cenário para o ano de 2030, onde se podem retirar várias conclusões sobre as implicações da Descarbonização e das AC no cenário desenvolvido.

Capítulo 4: Neste capítulo são consideradas um conjunto de Soluções e Estratégias que podem ser implementadas como forma de mitigação dos impactos observados no estudo do capítulo 3. No computo geral estas Soluções e Estratégias baseiam-se no Armazenamento, Interligações, Gestão da Procura, Reserva Térmica e Hidrogénio.

Capítulo 5: São apresentadas as principais conclusões e também uma pequena perspetiva/alerta para um futuro em convivência com as AC.

2. Enquadramento

2.1. Alterações Climáticas

As AC existem quando ocorre uma variação estatisticamente significativa na média das suas variáveis (temperatura, precipitação ou vento) ou na sua variabilidade, durante um período prolongado, tipicamente superior à década.

A Convenção das Nações Unidas sobre Mudança do Clima define “mudança climática” como: “Uma mudança de clima que é atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera global, além da variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis.” Ou seja, distingue claramente Alteração Climática (“mudança climática”) atribuível a atividades humanas que alteram a composição atmosférica, e “variabilidade climática” atribuível a causas naturais.

No cerne das AC está o AG, provocado pelo aumento desmesurado das emissões dos chamados gases de efeito de estufa (GEE). A maioria destes gases está presente na atmosfera de forma natural, contudo a atividade humana tem levado a um aumento da concentração de alguns, tais como: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e gases fluorados.

Dentro destes, o CO₂ é responsável por 63% do AG. Sendo a sua concentração na atmosfera atualmente 40% mais elevada do que no início da era industrial (IPCC, 2018).

O aumento das emissões de GEE deve-se na sua maioria aos seguintes fatores:

- Queima de combustíveis fósseis, que produz CO₂ e N₂O;
- Desflorestação, as árvores têm um impacto positivo regulador da temperatura global através da absorção de CO₂. Com a desflorestação, não só fica reduzida a capacidade de retirar CO₂ da atmosfera como pode levar a um aumento da sua concentração devido aos incêndios florestais.
- Aumento da atividade pecuária, com aumento de emissões de CH₄.
- Utilização de fertilizantes que contém azoto, levando a emissões de N₂O.
- Gases fluorados, cujo efeito estufa chega a ser 23 000 vezes superior ao CO₂. Felizmente as emissões destes gases são já mínimas e tendem a ser eliminadas ao abrigo da regulamentação da EU.

As emissões de GEE provenientes de atividades humanas intensificam o AG. Em 2019 a temperatura média global foi 1,15°C acima da média pré-revolução industrial e 0,95°C superior à média do século XX, fazendo do ano de 2019 o segundo ano mais quente depois 2016, desde que há registo (NOAA, 2020).

O limite estabelecido de manter o AG abaixo dos 2°C em relação à temperatura na era pré-industrial, é considerado como um objetivo da comunidade internacional a fim de evitar um risco muito mais elevado

de consequências ambientais perigosas à escala mundial que eventualmente se podem tornar catastróficas.

2.1.1. Impacto das Alterações Climáticas em Portugal

Infelizmente, um pouco por todo mundo os impactos das AC já se começam a fazer sentir e com tendência para agravar, Portugal não é exceção.

Tendencialmente para o nosso país as previsões não são muito animadoras. Desde o início do século que a grande maioria dos anos tem sido quentes e muitos deles com temperatura média em valores muito próximos dos valores mais elevados. No que diz respeito à precipitação a distribuição entre anos secos e húmidos é mais equilibrada, no entanto verifica-se uma grande concentração dos anos mais secos desde que há registos, neste século.



Figura 1: Temperatura média do ar e precipitação em Portugal Continental entre 1931 e 2019 [Fonte: IPMA]

No que diz respeito ao futuro, a maioria dos modelos, em vários cenários, preveem um aumento significativo da temperatura média em todas as regiões de Portugal até ao fim do século XXI. Aumento das temperaturas máximas durante o verão e um aumento da intensidade e frequência das ondas de calor.

Em relação à precipitação a incerteza é substancialmente maior. No entanto, a grande maioria dos modelos prevê uma redução da precipitação em Portugal Continental durante a Primavera, Verão e Outono (Soares, 2015). Sendo que, alguns modelos climáticos preveem que a redução da precipitação anual em Portugal Continental seja na ordem do 20% a 40%, com maior impacto nas regiões do Sul (APA, 2020).

Na figura 2 e 3 está representada uma simulação de um modelo climático para um cenário de emissões, onde se verificam as tendências dos impactos das AC em Portugal, através das anomalias na precipitação e na temperatura média anual num período de 2041-2070, em relação à média de 1979-2000.

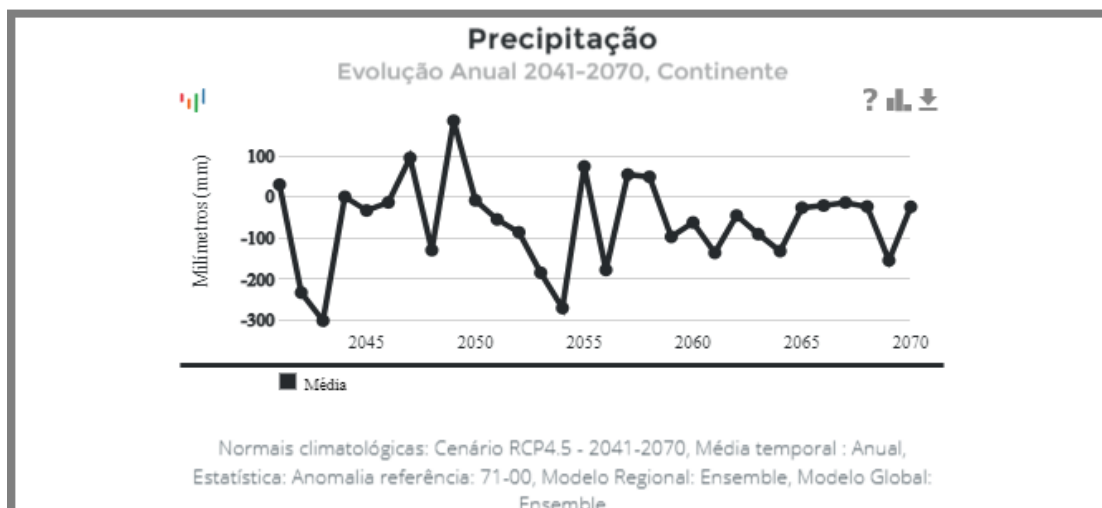


Figura 2: Evolução Anual da Precipitação 2041-2070 [Fonte: Portal do Clima]

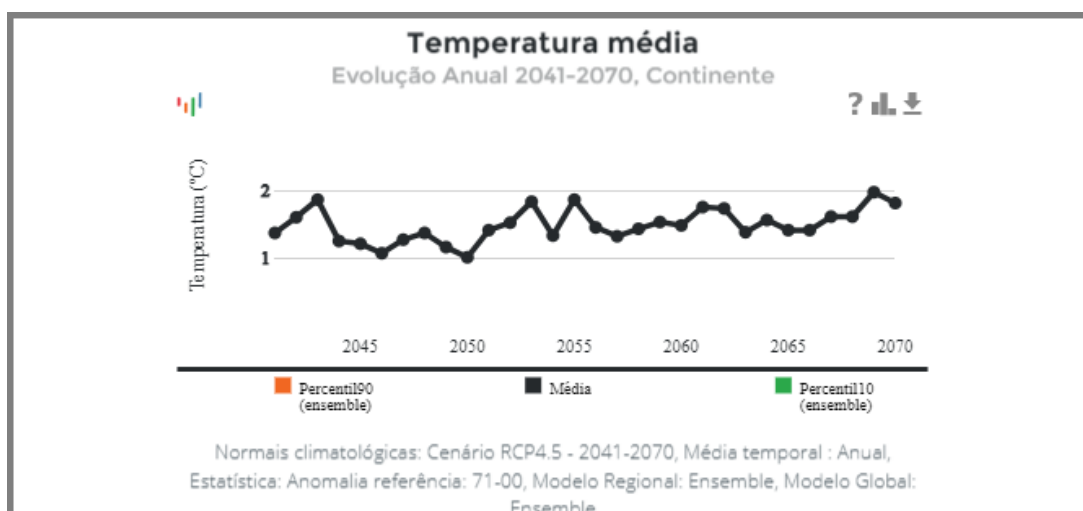


Figura 3: Evolução Anual da Temperatura Média 2041-2070 [Fonte: Portal do Clima]

No período de 2041 a 2070 a previsão da anomalia da precipitação anual é na maioria dos anos inferior ou muito inferior à média de 1971-2000. Com uma tendência mais clara a anomalia da Temperatura média anual é sempre superior à média de 1971-2000 e muitas vezes próxima do limite dos 2°C prevendo-se que possa mesmo ser atingido no fim da década de 60 deste século.

2.2. Descarbonização

O Relatório Especial realizado pelo IPCC refere que para manter o aumento da temperatura média global abaixo dos 1,5°C as emissões antropogénicas globais de CO₂ deverão diminuir em 45% até 2030, face aos níveis de 2010, com a neutralidade carbónica em 2050. Para manter o aumento da temperatura média abaixo do limite crítico de 2°C as emissões globais de CO₂ terão de ser reduzidas em 25% até 2030 e em 2070 deve ser alcançada a neutralidade carbónica. A emissão dos restantes GEE também deve ser fortemente reduzida.

O relatório Especial do IPCC reforça que, quanto mais tarde forem implementadas as medidas, que neste momento já são conhecidas e consideradas inevitáveis, maiores serão os custos, e as medidas tardias terão de ser mais agressivas na redução das emissões dos GEE.

A União Europeia em concordância com a urgência em implementar medidas, definiu em 2014 a sua meta de redução de GEE no período de 2021-2030. Estabelecendo como objetivo vinculativo a redução em 40% das emissões internas em toda a economia em 2030, em relação aos valores de 1990 (PNEC 2030, 2019).

2.2.1. Enquadramento Nacional

Em 2016 o Governo Português comprometeu-se a atingir a neutralidade das suas emissões em 2050, em consonância com o Acordo de Paris e os esforços mais ambiciosos em curso a nível internacional. Este compromisso contempla alcançar um balanço neutro entre emissões de GEE e o sequestro de CO₂, para isso requer-se uma redução significativa das emissões e/ou aumento dos chamados sumidouros, até ao ano 2050.

Visando concretizar este objetivo, foi desenvolvido o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC 2050). Onde são identificados, os principais vetores de descarbonização nos diferentes sectores da economia, medidas e opções de políticas e a trajetória de redução de emissões, a fim de atingir este objetivo em diferentes cenários socioeconómicos.

O desenvolvimento do RNC 2050 foi efetuado em articulação com Plano Nacional Energia e Clima 2030 (PNEC), que será o principal instrumento de política energética e climática nesta década 2021-2030. Neste plano foram estabelecidas as novas metas e objetivos nacionais, para a redução de emissões de GEE, energias renováveis, eficiência energética, segurança energética, mercado interno e investigação, inovação e competitividade, além de um plano claro para o seu alcance.

2.2.2. Sector Electroprodutor

O Sector Electroprodutor Nacional representa uma grande fatia das emissões a nível nacional, aproximadamente 29% (figura 4). Assim, é imperativo uma forte intervenção neste sector para a sua

descarbonização, acresce ainda o facto de uma das estratégias para a descarbonização de outros sectores da economia basear-se na sua eletrificação, fazendo com que descarbonização do sector electroprodutor tenha um impacto direto e indireto considerável na descarbonização geral da economia nacional (RNC 2050, 2019).

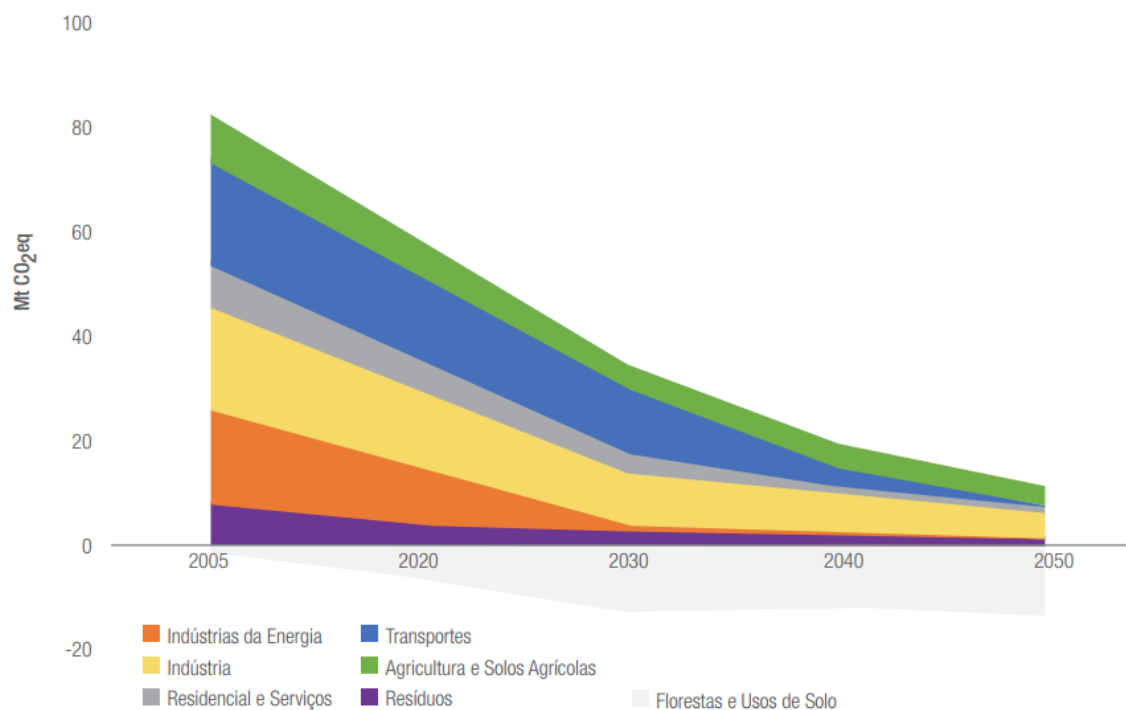


Figura 4: Contribuição setorial para a trajetória de redução de emissões de GEE até 2050 [Fonte: RNC2050]

Todo este potencial do sector electroprodutor para contribuir para uma sociedade neutra em emissões de CO₂ só se poderá atingir com uma aposta na eliminação da produção de eletricidade proveniente de combustíveis fósseis, em particular do carvão, que é uma das fontes de produção com mais emissões de CO₂. E por isso, Portugal comprometeu-se a abandonar a produção de eletricidade a partir do carvão até 2030.

A eletrificação de vários sectores da sociedade e a gradual eliminação da produção de eletricidade proveniente de combustíveis fósseis, ditará a necessidade de um aumento substancial da capacidade instalada de renovável até 2050.

Assim sendo, o objetivo para o sector é a total descarbonização e produção 100% renovável até 2050 (figura 5).

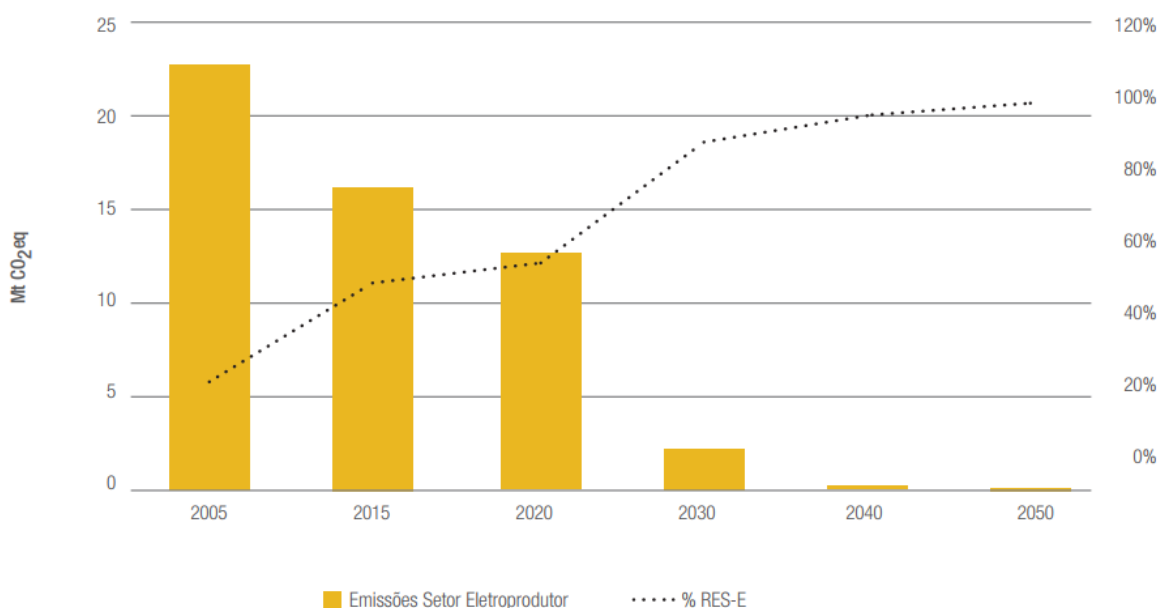


Figura 5: Evolução das emissões de sector electroprodutor e % de incorporação de Renováveis [Fonte: RNC2050]

Tabela 1: Evolução potencial das emissões e % de incorporação de Renováveis [Fonte: RNC2050]

| | 2005 | 2015 | 2020 | 2030 | 2040 | 2050 | Δ 2050/2005 |
|--|-------|-------|-------|------------|------|------|--------------------|
| Emissões Setor Electroprodutor (Mt CO₂eq.) | 23,04 | 16,01 | 12,94 | 1,18 2,2 | 0,36 | 0,17 | -99% |
| Renewables in Electricity Generation (RES-E) | 28% | 53% | 59% | 94% 90% | 97% | 100% | |

Um dos pontos que favorece esta transição é a redução contínua e significativa dos custos das tecnologias de produção de eletricidade proveniente de fontes renováveis, nomeadamente o solar fotovoltaico, cuja capacidade instalada está muito aquém das expectativas, tendo em conta as condições muito favoráveis que Portugal apresenta. É também a contínua redução expectável do custo de soluções de armazenamento, que irá contribuir para que seja possível em 2050, obter uma produção de eletricidade aproximadamente 100% renovável.

As duas tecnologias que se apresentam claramente como líderes para um futuro 100% renovável no sector elétrico, são a eólica onshore e a solar fotovoltaica. Sendo que o crescimento do solar fotovoltaico com produção centralizada ou descentralizada será muito mais expressivo, pois o potencial por explorar é muito superior comparativamente com a eólica. A eólica no que diz respeito ao onshore, é já uma tecnologia com um aproveitamento muito elevado, mas ainda com capacidade de aumentar significativamente. No entanto para a eólica offshore Portugal apresenta condições muito pouco favoráveis devido à reduzida extensão da plataforma continental da costa portuguesa. A profundidade do oceano a poucos quilómetros da costa é um grande entrave à eólica offshore, daí a aposta nesta

tecnologia ser pouco expressiva. Já a hídrica apresenta-se como uma tecnologia bem consolidada e que também terá um papel muito importante na descarbonização, seja com ou sem o recurso ao armazenamento através da bombagem.

Devido à variabilidade diária e inter anual de tecnologias associadas à eólica e solar, as soluções de armazenamento terão um papel vital na sua integração e manutenção da segurança de abastecimento. Por isso, para além da bombagem tem surgido outras soluções mais recentes baseadas em baterias e produção de hidrogénio ou o conjunto das duas. Acrescentam-se também soluções baseadas na gestão de rede, cuja adoção obrigará a dotar a rede de inteligência e flexibilidade. O aumento das interligações da rede ibérica com a restante rede da União Europeia (UE) tem igualmente um papel importante a desempenhar na gestão e segurança de abastecimento do sem (RNC 2050, 2019).

Neste processo de transição, será necessário a manutenção de alguma capacidade instalada de produção de eletricidade a gás natural como forma de backup durante a integração das soluções de armazenamento.

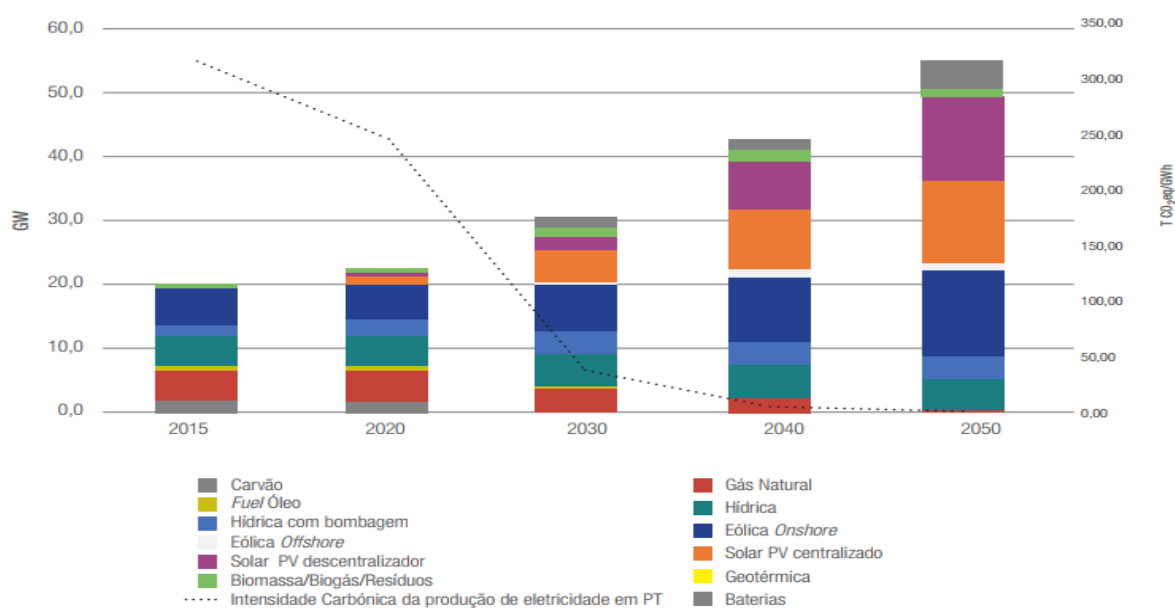


Figura 6: Evolução da capacidade Instalada e Intensidade Carbónica [Fonte: RNC2050]

2.3. Caracterização do Sistema Nacional Electroprodutor

De forma a perspetivar os desafios que esperam o sector electroprodutor nacional, é necessário ter uma referência dos aspetos mais relevantes da procura e oferta. Para isso é necessário fazer uma breve caracterização do Sistema Electroprodutor Nacional.

2.3.1. Procura

Até ao ano 2007 a tendência da procura de eletricidade em Portugal Continental era crescente, no entanto no período 2008-2017 houve uma inversão do crescimento médio anual sendo a taxa negativa de -0,34% devido a uma forte redução do consumo entre 2010 e 2014 (figura 7) (DGEG, 2019).

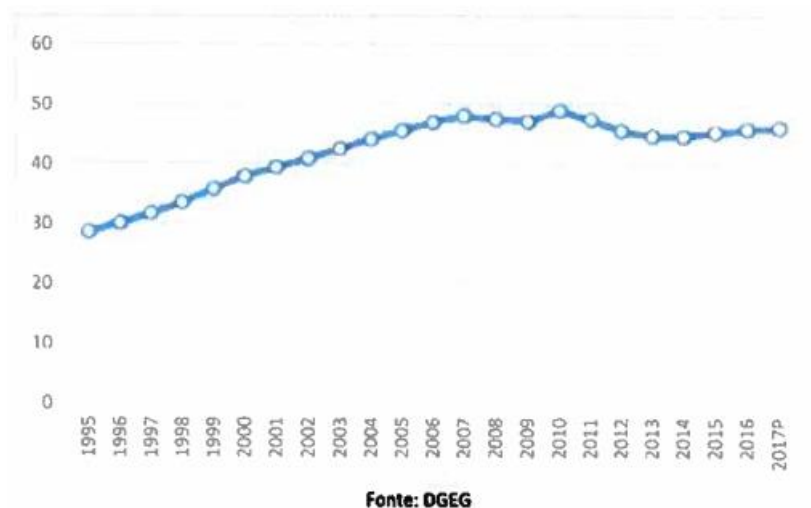


Figura 7: Evolução do consumo em Portugal Continental [TWh]

A Indústria revelou-se o sector com a maior fatia do consumo de eletricidade em Portugal Continental. Em 2017 representou 40% do consumo, seguindo-se dos sectores dos Serviços e Doméstico com 30% e 26% respetivamente. Por fim os sectores da agricultura e pescas com 2% e transportes com 1% (figura 8 e 9) (DGEG, 2019).

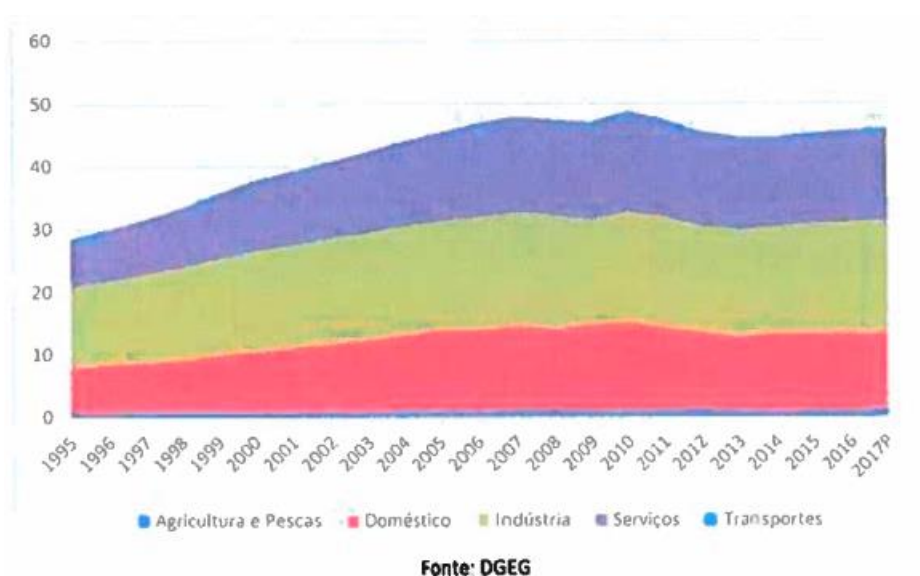


Figura 8: Evolução do consumo em Portugal Continental por setor de atividade [TWh]

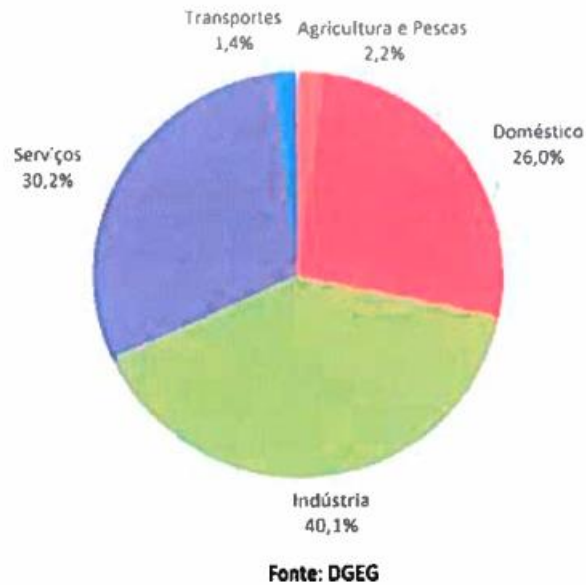


Figura 9: Consumo de Eletricidade em Portugal Continental em 2017 por setor de atividade

No computo geral o peso da eletricidade no consumo de energia tem aumentado, representando em 2017 cerca de 26% do consumo total de energia final, sendo cada vez mais importante o papel que representa no consumo final e energia (figura 10) (DGEG, 2019).

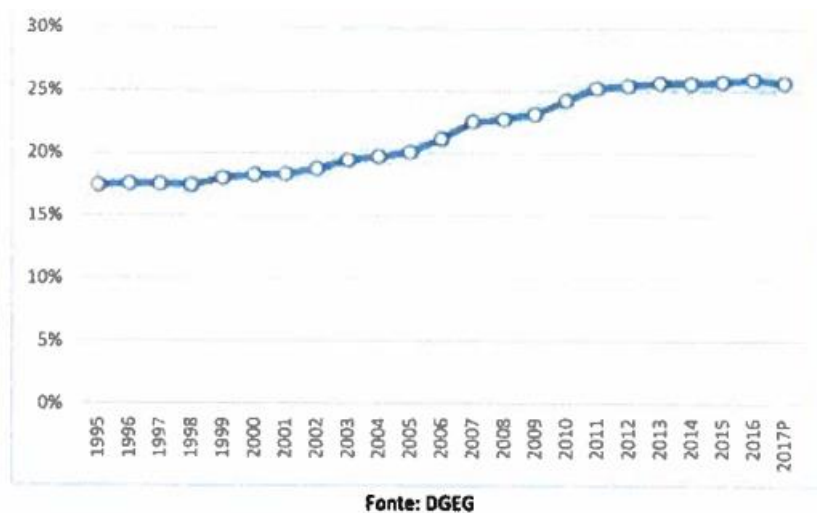


Figura 10: Evolução do peso da Eletricidade no consumo final de energia em Portugal

2.3.2. Oferta

A produção bruta de eletricidade em Portugal Continental (figura 11) em 2019 foi aproximadamente 55,8TWh, verificando-se uma diminuição aproximada de 4%, comparado com 2018. No período de 2013-2019 regista-se uma taxa de crescimento médio anual de 0,93%. Em 2019 observa-se um aumento substancial da importação, comparativamente com os anos anteriores.

Também em 2019, cerca de 56% do total de geração de eletricidade teve origem em fontes de energia renovável, contudo houve um decréscimo da geração renovável de 6,8% em comparação com 2018. Este decréscimo teve como principal fator a escassez de recursos hídricos durante o ano. Sendo a quebra de geração hidroelétrica de 24,9% o que levou a componente eólica representar a maior fatia da produção com origem em fontes renováveis.

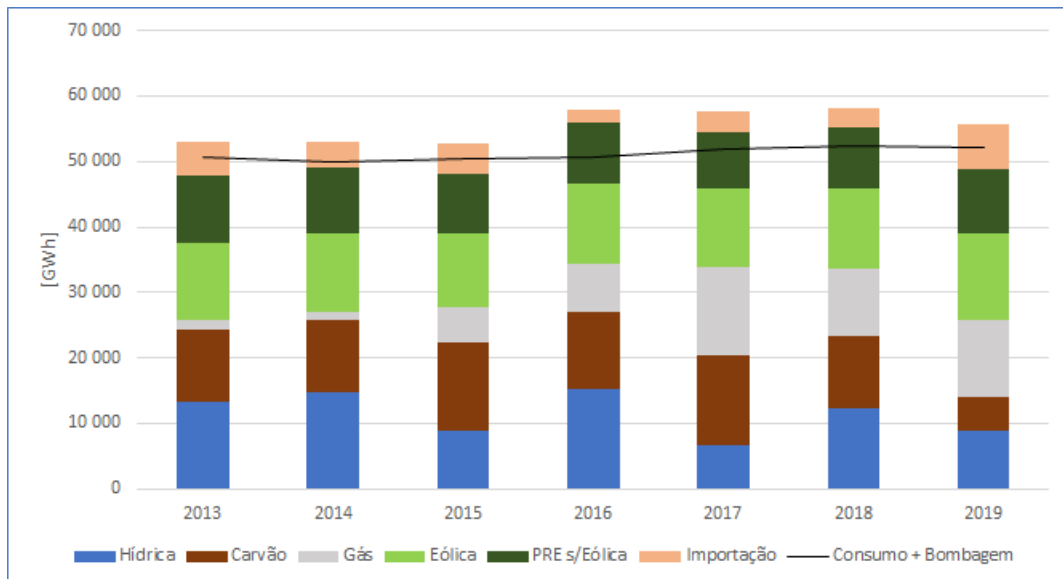


Figura 11: Evolução da Produção de Eletricidade em Portugal Continental Fonte [Dados: REN]

Em 2019 a capacidade instalada em Portugal Continental (figura 12) era aproximadamente 20,2GW, verificando-se um aumento de 247MW face a 2018, este aumento vem na sua maioria das tecnologias eólica e solar fotovoltaica incluídas na componente da Produção em Regime Especial (PRE), a Hídrica manteve-se estável tal como a térmica. No período de 2013-2019 a capacidade instalada do SEN aumentou aproximadamente 14,3%, sendo o principal contributo para este aumento as tecnologias renováveis, em detrimento da térmica não renovável que sofreu uma redução da capacidade instalada de -2,9%.

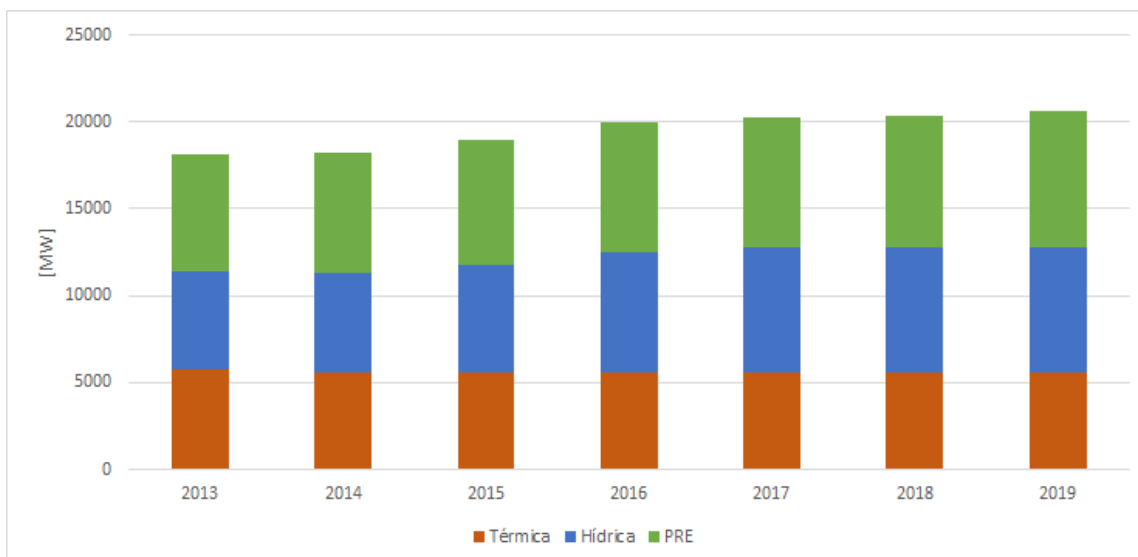
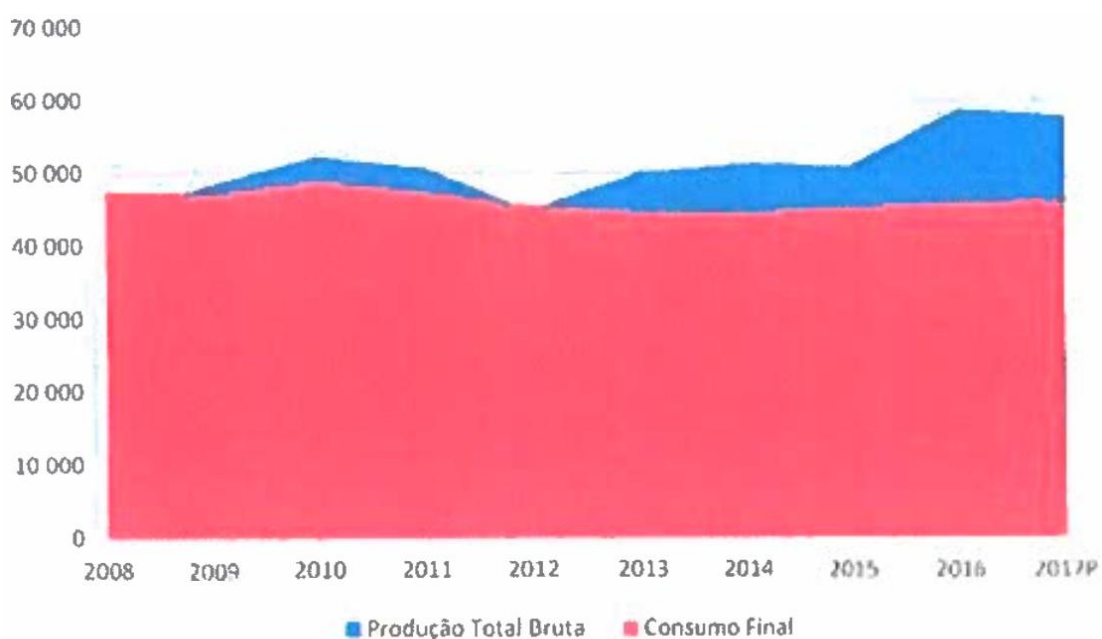


Figura 12: Evolução da Capacidade Instalada em Portugal Continental [Dados: REN]

2.3.3. Oferta versus Procura

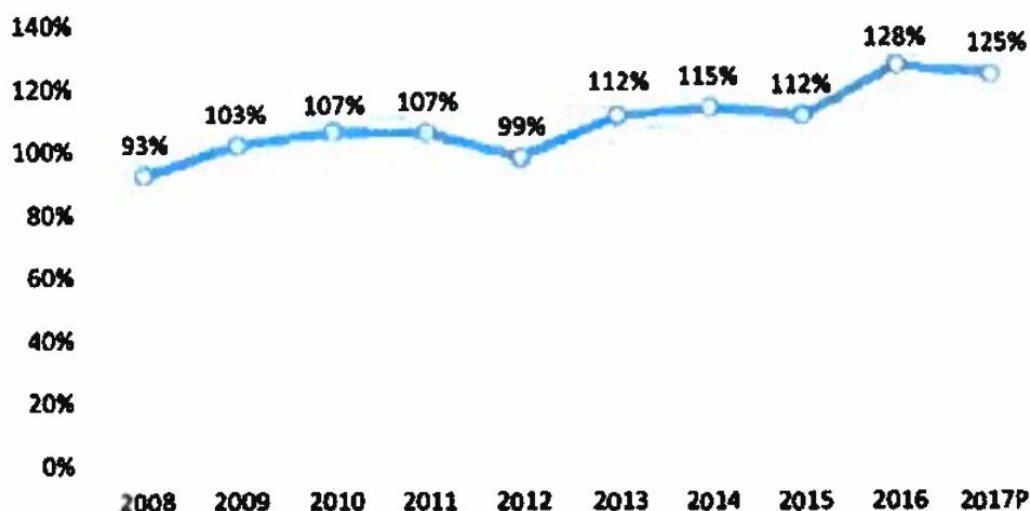
A avaliação da relação entre a produção e a procura através da comparação da produção bruta de eletricidade e o consumo final de eletricidade em Portugal Continental permite tirar conclusões sobre a capacidade instalada da oferta em relação à procura.

Analisando as figuras 13 e 14 observa-se até 2017 alguma flutuação, mas com uma clara tendência para um excedente da produção nos últimos anos. Sendo de 128% e 125% nos anos de 2016 e 2017 respetivamente (DGEG, 2019).



Fonte: DGEG

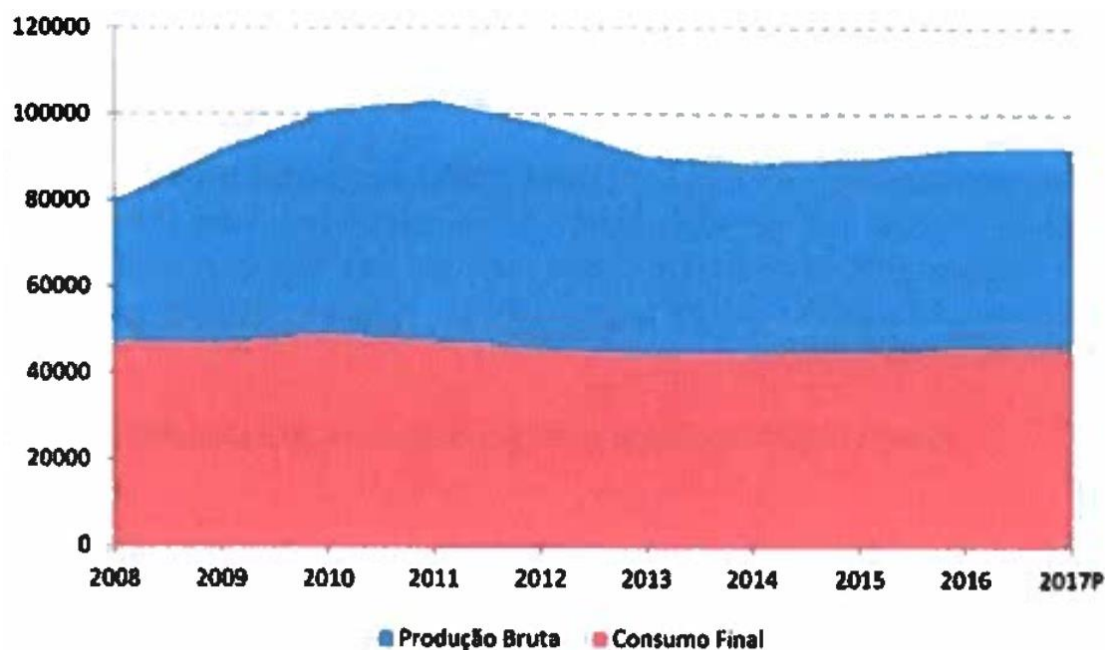
Figura 13: Evolução da Produção Real vs. Procura [GWh]



Fonte: DGEG

Figura 14: Rácio entre Produção real e Procura

Se a mesma relação for avaliada pressupondo que as tecnologias podem trabalhar na sua capacidade máxima, no caso das centrais térmicas e de cogeração, e num regime médio no caso da hídrica, eólica e solar, é possível observar a oferta tendo em conta a capacidade instalada de cada tecnologia. Nas figuras 15 e 16 verifica-se que a produção bruta poderia ser muito superior ao consumo final, com a relação entre Produção máxima/média e a Procura a ser de 201% e os 200% nos últimos dois anos analisados (DGEG, 2019).



Fonte: DGEG

Figura 15: Evolução da Produção máxima/média vs. Procura [GWh]

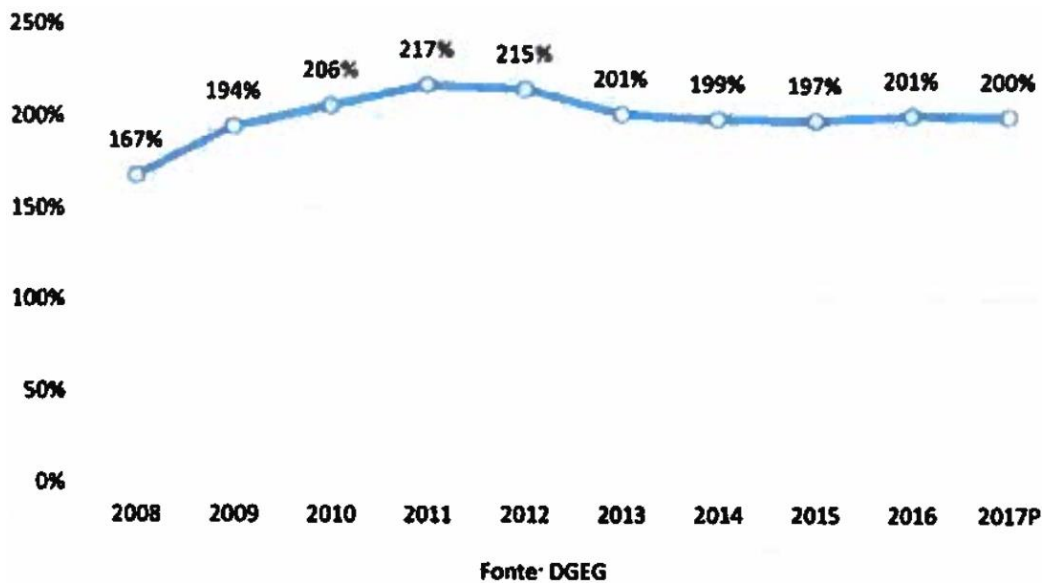


Figura 16: Rácio entre Produção máxima/média Procura

A diferença entre as duas análises explica-se pelo facto das centrais térmicas, principalmente a gás natural, funcionarem muito abaixo do seu potencial. Isso deve-se à grande penetração das tecnologias renováveis ocorrido nos últimos anos. No entanto, este excedente da oferta poderá reduzir com o descomissionamento das centrais termoelétricas a carvão e o aumento da procura pela eletrificação de alguns setores da economia, como por exemplo o setor dos transportes.

2.4. Impacto das Alterações Climáticas no SEN

As AC têm e terão um grande impacto em vários setores da economia, e o SEN não será exceção. Aliás será afetado de uma forma direta e indireta. No caso nacional as implicações nas temperaturas elevadas e as secas meteorológicas serão os principais fatores no impacto direto. Já a descarbonização é o principal fator no impacto indireto.

2.4.1. Sector Electroprodutor

No setor electroprodutor, o impacto indireto das AC vem da necessidade de descarbonização para minimizar o AG. A necessidade de reduzir as emissões até se atingir a neutralidade carbónica leva a que seja necessário implementar alterações profundas e mudar por completo o paradigma no setor electroprodutor.

No que diz respeito ao impacto direto, é estabelecida uma relação com as consequências já reconhecidas como as mais prováveis a afetar Portugal Continental, no caso, um aumento da

temperatura média que levará a ondas de calor mais frequentes e mais intensas, e também uma provável redução da precipitação média anual com uma maior incidência de secas severas.

As tecnologias de produção de eletricidade que dependam de recursos hídricos e necessitem de refrigeração, apresentam-se com maior exposição às AC (Burillo, 2018). Do setor electroprodutor nacional destacam-se a geração Termoelétrica e Hídrica. Nestas duas tecnologias os impactos podem ir desde a redução da eficiência no processo de produção até à incapacidade de produção devido a restrições ou mesmo à falta de fonte primária de energia.

As temperaturas elevadas não só aumentam a necessidade de refrigeração como podem reduzir essa mesma capacidade com o aumento da temperatura dos recursos hídricos usados no processo de refrigeração.

No entanto, é a conjugação de vários fatores que relacionam temperaturas elevadas e a redução dos recursos hídricos, na forma dos caudais dos rios e de água armazenada nas albufeiras das barragens, que podem ter os impactos mais nefastos. Na geração hídrica, a redução dos caudais dos rios e do armazenamento de água leva a uma forte redução da produção de eletricidade, e nos casos mais extremos, seja por restrições de utilização para proteger o abastecimento de água seja por os níveis dos caudais e/ou armazenamento baixarem para níveis extremos, pode dar-se a paragem forçada da produção por completo.

De igual forma a geração termoelétrica com refrigeração a água é fortemente afetada, não só com a redução dos caudais dos rios mas também se a isso se juntar as elevadas temperaturas que por si levam a um aumento da temperatura da água, ou seja existe um conjunto de condições que aumentam a necessidade de recorrer aos sistemas de refrigeração e ao mesmo tempo reduzem fortemente a capacidade de refrigeração. Estas circunstâncias em situações extremas podem forçar a paragem de produção de eletricidade por incapacidade dos sistemas de refrigeração.

Estas consequências já se fazem sentir na Europa durante ondas de calor, nos últimos anos ocorreram vários casos de centrais termoelétricas na Alemanha serem obrigadas a reduzir produção e centrais nucleares também na Alemanha e França pararem a produção por incapacidade dos sistemas de refrigeração.

2.4.2. Procura

Os setores doméstico e de serviços utilização a energia elétrica para vários propósitos incluindo a climatização, iluminação, cozinhar e operação de equipamentos. Sendo que uma parte destas utilizações não será diretamente afetada pelas AC, como por exemplo a iluminação. A climatização já é totalmente depende das condições meteorológicas e por conseguinte das AC (Parkpoom, S., Harrison, G., Bialek, J.W., 2004).

De todos os impactos que as AC terão no SEN, a mais obvia será o impacto na procura devido à climatização.

A temperatura ambiente interior recomendada situa-se no intervalo dos 18°-22°C. O consenso indica que na maioria dos países as AC irão reduzir o número de dias com necessidade de recorrer ao aquecimento, ou seja, temperatura interior abaixo dos 18°C, e aumentar o recurso à refrigeração (temperatura interior > 22°C). Em resposta, a procura de energia elétrica poderá sofrer um desvio, portanto existe uma potencial alteração dos padrões da procura, sendo esperada uma redução dos picos de consumo no inverno e um aumento no verão. Um fator que poderá potenciar ainda mais os impactos é a reduzida eficiência térmica das edificações em Portugal.

2.5. Estratégia 2030

O Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC) 2050 faz referência ao Plano Nacional Energia e Clima (PNEC) 2021-2030, este plano é considerado uma etapa essencial para a os objetivos de descarbonizar a economia até 2050. Esta conclusão do RNC 2050 está de acordo com o Relatório Especial do IPCC, que identificou esta década como sendo a que se deve concentrar os maiores esforços para a redução das emissões de GEE, sobre pena de não se conseguir atingir a meta mais ambiciosa de limitar o AG a 1,5°C. Assim, com os objetivos do RNC 2050 no horizonte, foram estabelecidas metas ambiciosas, as quais foram apresentadas no PNEC 2030.

Este plano propõe uma ação concertada entre políticas de energia e do clima, pois só assim é possível traçar um rumo para uma sociedade e economia neutra em carbono, mas que ao mesmo tempo promova o crescimento económico e melhore a qualidade de vida. De uma forma geral o plano compromete-se em cumprir o Regulamento (UE) 2018/1999 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, relativo à Governança da União da Energia e da Ação Climática que assenta em 5 dimensões: descarbonização, eficiência energética, segurança de abastecimento, mercado interno de energia e investigação, inovação e competitividade (PNEC 2030, 2019).

2.5.1. Principais Políticas para o Horizonte 2030

Para cumprir com os objetivos Portugal está perante uma transição energética, essa transição baseia-se essencialmente na incorporação de fontes de energia renovável nos vários setores da economia, eficiência energética e na promoção das interligações, que se materializam nas seguintes metas:

Tabela 2: Metas de Portugal para o horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

| Emissões | Eficiência Energética | Renováveis no consumo final de Energia | Renováveis nos Transporte | Interligações Elétricas |
|--------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|
| -45% a -55% | 35% | 47% | 20% | 15% |

Com as metas e objetivos definidos para o horizonte 2030, foram definidos 8 objetivos nacionais como estratégia de integração de energia e clima. A concretização de todos estes objetivos contribuirá para tornar realidade a neutralidade carbónica (PNEC 2030, 2019).









- **1. DESCARBONIZAR A ECONOMIA NACIONAL**
Assegurar uma trajetória de redução de emissões nacionais de gases com efeito de estufa (GEE) em todos os setores de atividade, designadamente energia e indústria, mobilidade e transportes, agricultura e florestas e resíduos e águas residuais, e promover a integração dos objetivos de mitigação nas políticas sectoriais (*mainstreaming*)
- **2. DAR PRIORIDADE À EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**
Reduzir o consumo de energia primária nos vários setores num contexto de sustentabilidade e custo eficaz, apostar na eficiência energética e no uso eficiente de recursos, privilegiar a reabilitação e a renovação do edificado, e promover edifícios de emissões zero
- **3. REFORÇAR A APOSTA NAS ENERGIAS RENOVÁVEIS E REDUZIR A DEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DO PAÍS**
Reforçar a diversificação de fontes de energia através de uma utilização crescente e sustentável de recursos endógenos, promover o aumento da eletrificação da economia e incentivar I&D&I em tecnologias limpas
- **4. GARANTIR A SEGURANÇA DE ABASTECIMENTO**
Assegurar a manutenção de um sistema resiliente e flexível, com diversificação das fontes e origens de energia, reforçando, modernizando e otimizando as infraestruturas energéticas, desenvolvendo as interligações e promovendo a integração, a reconfiguração e a digitalização do mercado da energia, maximizando a sua flexibilidade
- **5. PROMOVER A MOBILIDADE SUSTENTÁVEL**
Descarbonizar o setor dos transportes, fomentando a transferência modal e um melhor funcionamento das redes de transporte coletivo, promovendo a mobilidade elétrica e ativa e o uso de combustíveis alternativos limpos
- **6. PROMOVER UMA AGRICULTURA E FLORESTA SUSTENTÁVEIS E POTENCIAR O SEQUESTRO DE CARBONO**
Reduzir a intensidade carbónica das práticas agrícolas e promover uma gestão agroflorestal eficaz contribuindo para aumentar a capacidade de sumidouro natural.
- **7. DESENVOLVER UMA INDÚSTRIA INOVADORA E COMPETITIVA**
Promover a modernização industrial apostando na inovação, na descarbonização, digitalização (indústria 4.0) e na circularidade, contribuindo para o aumento da competitividade da economia
- **8. GARANTIR UMA TRANSIÇÃO JUSTA, DEMOCRÁTICA E COESA**
Reforçar o papel do cidadão como agente ativo na descarbonização e na transição energética, criar condições equitativas para todos, combater a pobreza energética, criar instrumentos para a proteção dos cidadãos vulneráveis e promover o envolvimento ativo dos cidadãos e a valorização territorial

Figura 17: Objetivos Nacionais para o Horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

Estes 8 objetivos tem um impacto positivo na concretização da estratégia que engloba as 5 dimensões do PNEC, sendo que cada objetivo contribui para mais do que uma dessas dimensões.

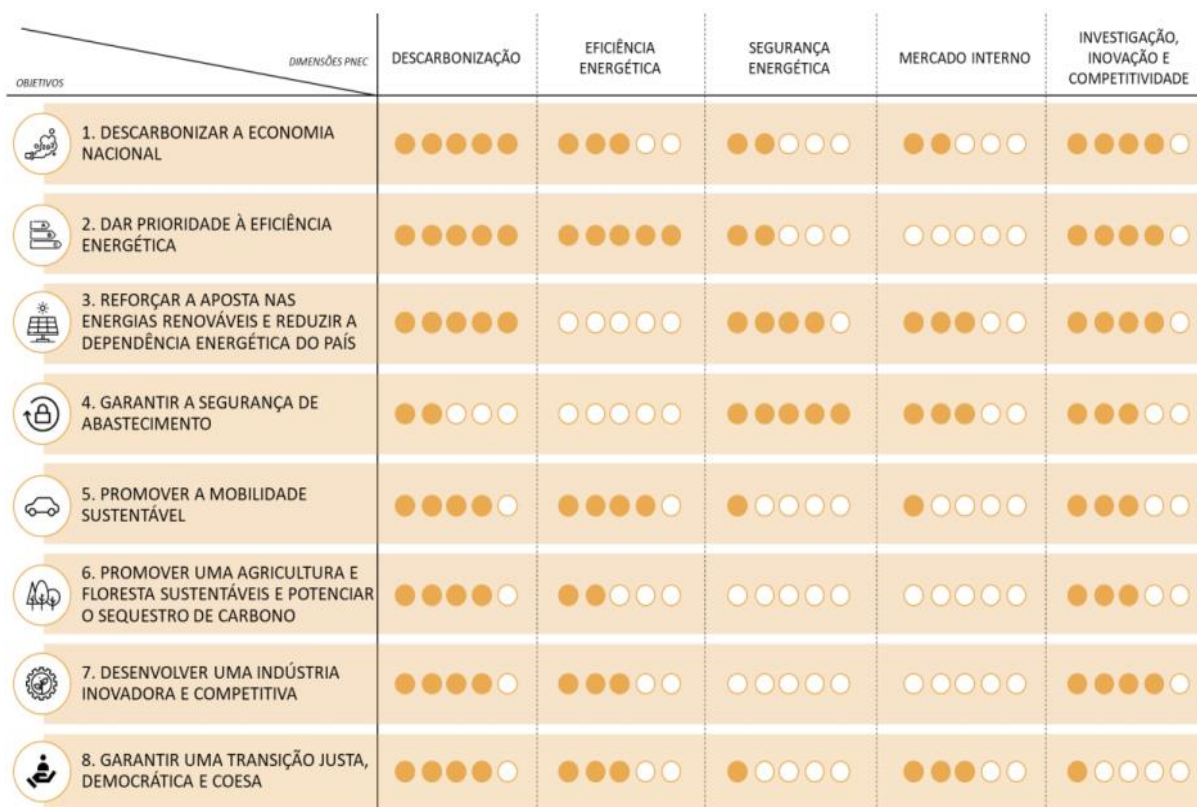


Figura 18: Relação entre os objetivos nacionais e as dimensões do PNEC [Fonte: PNEC]

2.5.2. Energia de Fontes Renováveis

O acordo a nível Europeu tem como meta vinculativa a incorporação de pelo menos 32% de energia renovável em 2030 no consumo final bruto de energia.

No que diz respeito a energias renováveis Portugal tem a capacidade e o potencial para, não só conseguir materializar esta meta como torná-la ainda mais ambiciosa na transição energética, para tal foi criada uma trajetória da evolução da incorporação de energias renováveis no consumo final de energia com vista a atingir este cenário mais ambicioso.

Tabela 3: Trajetória indicativa e contributo de Portugal para a meta vinculativa da União em 2030 [Fonte: PNEC]

| | 2020 | 2022 | 2025 | 2027 | 2030 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| Renováveis no consumo final bruto de energia | 31% | 34% | 38% | 41% | 47% |

Esta meta ambiciosa como referido anteriormente baseia-se na atual capacidade instalada de Fontes de Energia Renovável (FER) que é superior à média europeia e também no elevado potencial de Portugal em aumentar essa capacidade instalada. Contudo é preciso integrar a produção dessa capacidade, para tal o principal foco está na eletrificação da economia e dos consumos, na forte penetração dos veículos elétricos, além de outras soluções de mobilidade sustentável, introdução de gases renováveis, tecnologias de alta eficiência nos vários setores, e na investigação e inovação/maturação de tecnologias alternativas para redução de custos.

A nível setorial são identificados 3 setores como os principais candidatos à incorporação de FER, da eletricidade, do aquecimento e arrefecimento e dos transportes. Como tal foram definidas metas para as quotas de FER nestes setores.

Tabela 4 : Trajetória estimada para a quota de energia renovável no consumo final de energia no horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

| | 2020 | 2025 | 2030 |
|------------------------------------|------------|------------|------------|
| Eletricidade | 60% | 69% | 80% |
| Aquecimento e Arrefecimento | 34% | 36% | 38% |
| Transportes | 10% | 13% | 20% |

Como se percebe pelas metas e a trajetória assumida, o setor da eletricidade é o setor mais preponderante, não só para a descarbonização no horizonte 2050, mas também será o principal impulsionador para a transição energética que se inicia nesta década.

2.5.3. Trajetórias Gerais e Setoriais para a Energia Renovável

No setor da eletricidade a principal intervenção será no Setor Electroprodutor, para isso foi delineada a perspetiva de evolução da capacidade instalada esperada para o período 2021-2030, desagregada por tecnologia.

Tabela 5: Perspetivas de evolução da capacidade instalada para a produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

| [GW] | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------------------|-------------|-------------|--------------------|
| HÍDRICA | 7,0 | 8,2 | 8,2 - 8,7 |
| DA QUAL EM BOMBAGEM | 2,7 | 3,6 | 3,6 - 4,1 |
| EÓLICA | 5,4 | 6,8 | 9,3 |
| EÓLICA ONSHORE | 5,4 | 6,7 | 9,0 |
| EÓLICA OFFSHORE | 0,03 | 0,1 | 0,3 |
| SOLAR FOTOVOLTAICO | 2,0 | 6,6 | 9,0 |
| DO QUAL CENTRALIZADO | 1,5 | 5,8 | 7,0 |
| DO QUAL DESCENTRALIZADO | 0,5 | 0,8 | 2,0 |
| SOLAR TÉRMICO CONCENTRADO | 0 | 0,1 | 0,3 |
| BIOMASSA | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| OUTROS RENOVÁVEIS | 0,03 | 0,06 | 0,1 |
| GEOTERMIA | 0,03 | 0,03 | 0,06 |
| ONDAS | 0,001 | 0,03 | 0,07 |
| CARVÃO | 1,8 | 0 | 0 |
| GÁS NATURAL | 3,8 | 3,8 | 2,8 - 3,8 |
| FUEL/GASÓLEO | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| TOTAL | 20,8 | 26,3 | 30,5 - 32,0 |

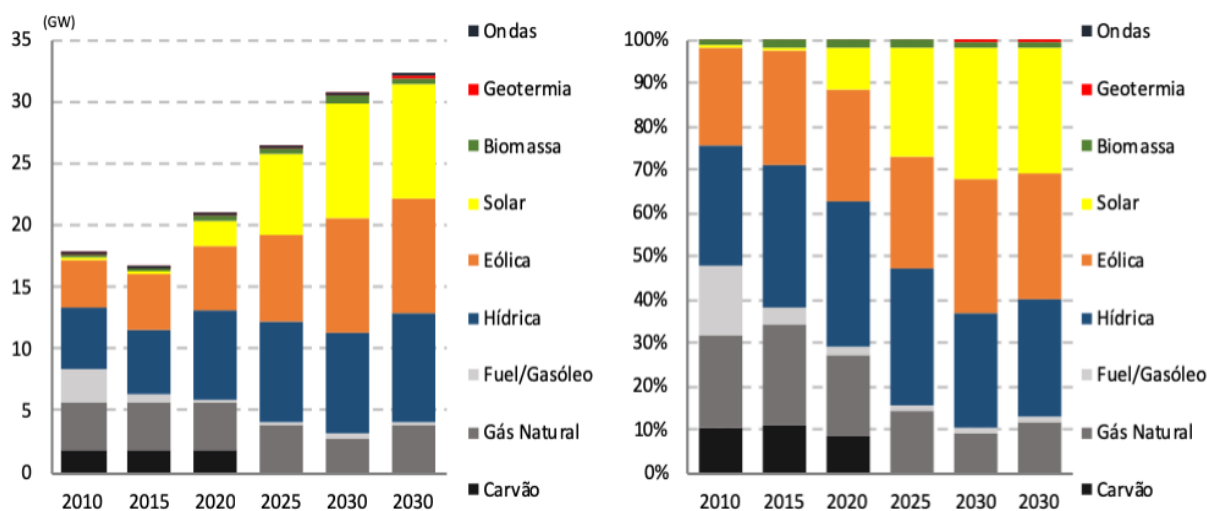


Figura 19: Estimativa de capacidade instalada para a produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

Com este cenário é expectável que no setor electroprodutor em 2030 as FER representem 80% da produção de eletricidade, com o maior destaque para a Eólica com cerca de 31%, a solar com cerca de 27% e a hídrica com 22% (PNEC 2030, 2019). O solar será a tecnologia com maior crescimento esta década.

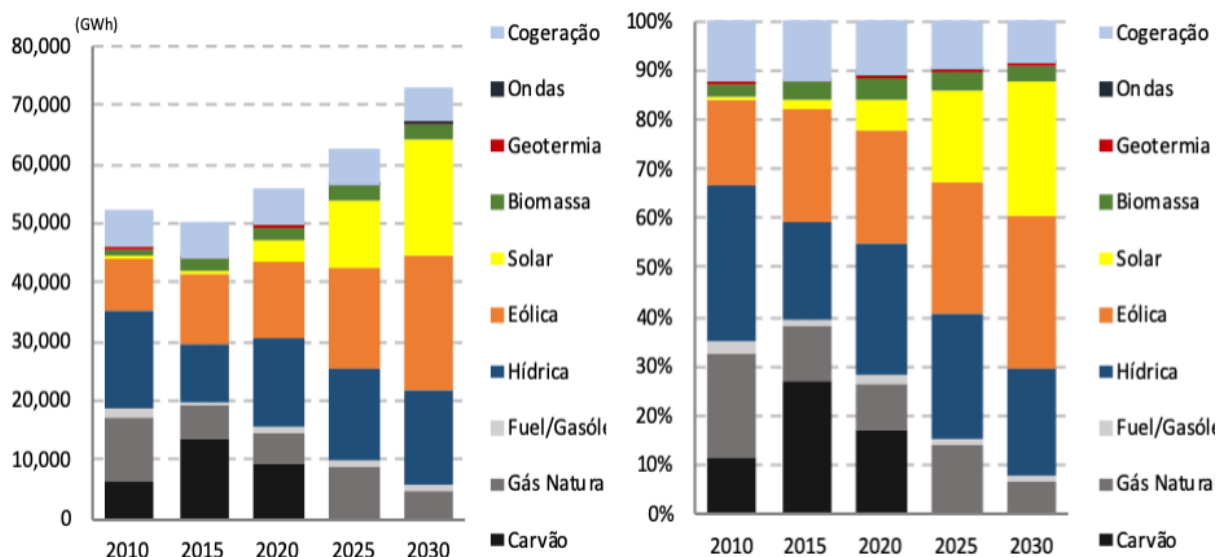


Figura 20: Estimativa de evolução da produção de eletricidade por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

O setor do Aquecimento e Arrefecimento face ao cenário perspetivado, é ilustrado na tabela seguinte a evolução desagregada por tecnologia e fonte de energia para efeitos de cumprimento de objetivos estabelecido para este setor.

Tabela 6: Perspetivas de evolução do consumo de renováveis no setor do aquecimento e arrefecimento por tecnologia em Portugal [Fonte: PNEC]

| (ktep) | 2020 | 2025 | 2030 |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Biomassa | 963 | 965 | 953 |
| Bombas de calor | 101 | 102 | 102 |
| Calor por Solar Térmico | 91 | 89 | 86 |
| Calor por cogeração | 650 | 655 | 677 |
| Gases renováveis | 0 | 12 | 50 |
| TOTAL | 1 805 | 1 824 | 1 868 |

De igual forma também se apresenta na seguinte tabela, de uma forma desagregada por tecnologias a evolução para o setor dos Transportes.

Tabela 7: Perspetivas de evolução do consumo de renováveis no setor dos transportes por tecnologia em Portugal no horizonte 2030 [Fonte: PNEC]

| (ktep) | 2020 | 2025 | 2030 |
|----------------------------|------------|------------|------------|
| Biocombustíveis 1ª geração | 393 | 255 | 136 |
| Biocombustíveis avançados | - | 94 | 155 |
| Hidrogénio renovável | - | 9 | 65 |
| Eletricidade | 44 | 208 | 543 |
| TOTAL | 437 | 566 | 900 |

3. Implicações da Descarbonização e das Alterações Climáticas no SEN

Este Estudo de Caso pretende identificar quais os potenciais impactos das AC e da descarbonização no setor electroprodutor pós PNEC 2030, não de uma forma individual, mas no seu conjunto. Pois todo este processo de transição energética que terá maior contundência nesta década com o horizonte da neutralidade carbónica em 2050, poderá ter de lidar com os potenciais impactos das AC.

3.1. Formulação do Problema

3.1.1. Descarbonização

A necessidade de descarbonização do setor electroprodutor como uma das principais estratégias para conseguir reduzir de forma significativa as emissões de GEE, leva a uma maior dependência do SEN das FER. No caso de Portugal a aposta nas FER nos próximos anos recairá com maior incidência nas tecnologias Solar Fotovoltaica e Eólica. A geração de energia elétrica a partir desta duas FER apresenta algumas nuances comparativamente com a geração mais convencional, como a termoelétrica ou a hídrica, sendo a principal a sua intermitência, ou seja, a sua produção de energia elétrica varia com um elevado grau de incerteza, tal como a sua disponibilidade, estando sempre dependentes das condições meteorológicas. Contrariamente a geração mais convencional é considerada despachável, principalmente no que diz respeito à termoelétrica, sendo possível controlar a produção de energia elétrica de acordo com as necessidades de satisfação da procura.

Portanto, facilmente se percebe que uma elevada penetração de geração renovável representa um grande desafio para a manutenção da Segurança de Abastecimento do SEN. Até aos dias de hoje a garantia de segurança de abastecimento era mantida pela geração térmica e hídrica, parte do papel desta geração mais tradicional é, de certa forma, compensar a intermitência da produção e disponibilidade da geração eólica e solar, com maior ênfase na eólica pois a capacidade instalada de solar fotovoltaica ainda não é muito relevante.

O solar fotovoltaico, devido ao claro subaproveitamento em Portugal, será a tecnologia a ter o maior crescimento de capacidade instalada nos próximos anos. Contudo, terá o desafio acrescido do seu ciclo natural de disponibilidade, associado ao ciclo diurno e noturno e cujo pico de produção não coincide com os picos de consumo diários. Assim, tornam-se cada vez mais importante as estratégias para garantir a segurança de abastecimento do SEN.

No entanto, para cumprir as metas de descarbonização do setor electroprodutor é necessário reduzir a produção de eletricidade através de combustíveis fósseis, ou seja, reduzir fortemente a geração

térmica. Nomeadamente eliminar a geração através de carvão e uma redução muito significativa da geração a gás. Esta estratégia de redução da capacidade instalada de geração térmica e o aumento da capacidade instalada de geração de FER irá afetar potencialmente a segurança de abastecimento, pois será retirada geração despachável em detrimento de geração renovável intermitente.

3.1.2. Alterações Climáticas

Para além da componente da descarbonização, existe o potencial das AC terem impactos no setor electroprodutor. Como se referiu anteriormente, o objetivo de descarbonização do setor levará a uma redução muito significativa da geração térmica, ficando a geração hídrica com a quase totalidade da responsabilidade de compensação da intermitência da restante geração renovável. Ora, apesar da geração hídrica ser mais despachável, comparativamente com a eólica e solar, também sofre variação, neste caso numa escala temporal inter anual.

É aqui que o impacto das AC pode ser mais nefasto. Uma das potenciais consequências das AC é a redução da precipitação média anual e a concentração da sua distribuição ao longo do ano, levando a uma redução efetiva da quantidade de água disponível para a produção de eletricidade, além de, o facto de a precipitação ser mais concentrada reduz ainda mais a disponibilidade para os restantes períodos do ano. O impacto na geração hídrica será direto, não só na redução da capacidade de produção como também na distribuição dessa mesma ao longo do ano.

As secas mais frequentes e mais severas poderão debilitar a capacidade do setor electroprodutor garantir a segurança de abastecimento do SEN.

Uma forma de avaliar qual o potencial dos impactos, é analisar de que forma a produção de eletricidade tem sido influenciada pelo clima e condições meteorológicas verificadas nos últimos anos.

3.2. Análise da Produção de Eletricidade em Portugal Continental 2013-2019

A análise da produção de eletricidade numa escala temporal de vários anos, é uma forma de identificar fatores que promovem variações na produção de energia elétrica, como as condições meteorológicas, cuja influência é maior nas FER ou as condições económicas com maior influência na geração térmica. Estes fatores podem ter impactos inter anuais, plurianuais ou mesmo permanentes.

Com um diagrama da produção de eletricidade ao longo de vários anos, figura 21, é possível identificar esses fatores cujos impactos diferem nas diferentes tipologias de geração de energia elétrica.

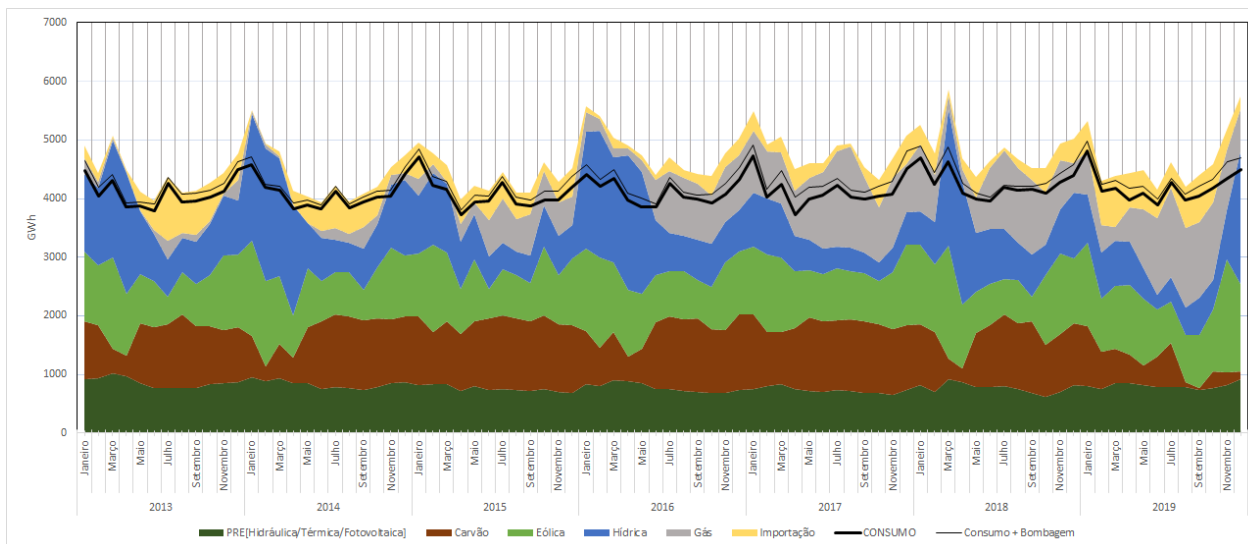


Figura 21: Diagrama de Produção e Consumo de Eletricidade em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN]

3.2.1. Fatores Meteorológicos

As condições meteorológicas têm influência direta na produção de eletricidade através de FER, nomeadamente na eólica e solar, onde essa influência é de muito curto prazo, com variações de produção que ocorrem em poucas horas. Já no caso da hídrica essas variações ocorrem a uma escala temporal maior, normalmente associada às variações da pluviosidade nas diferentes estações do ano.

Assim sendo, temos duas tecnologias, eólica e solar fotovoltaica, cuja previsibilidade de produção varia de forma diária e depois a hídrica onde é possível ter uma previsão de produção de alguns meses. É esta previsibilidade da geração hídrica que se verifica no diagrama da figura 23. O pico de produção está claramente associado ao Inverno, é algo dissociável pois é a estação do ano onde, em condições normais, se concentra grande parte da precipitação anual, depois segue-se um período de produção mais reduzido que depende não só das condições meteorológicas mas também do armazenamento efetuado nas albufeiras. É de facto a capacidade de armazenar a fonte de energia primária sob a forma de grandes reservatórios de água que tornam a geração hídrica despachável e fundamental para a estabilidade do SEN. No entanto, mesmo assim não está isenta de variações de grandes proporções de ano para ano.

As secas são um elemento que sempre fez parte do Clima de Portugal Continental, tal como os anos húmidos, e são essas grandes variações no que respeita à pluviosidade que afetam a geração hídrica.

Na figura 22 estão representadas graficamente as anomalias de precipitação média anual, em relação ao valor médio do período 1971-2000. Cruzando esta informação com os dados de produção mensal de eletricidade da geração hídrica no período 2013-2019 verifica-se claramente uma correlação.

A mais evidente será a produção, no Inverno dos anos de seca como 2015, 2017 e 2019 a tendência é para um pico de produção mensal mais reduzido entre os 900-1250 GWh. Contrariamente nos restantes

anos os picos de produção são aproximadamente o dobro situando-se na ordem dos 2000-2250 GWh. Curiosamente o que distingue anos muito húmidos como 2014 e 2016 de anos próximo do normal como 2013 e 2018 é a duração do pico de produção, é evidente a maior disponibilidade do recurso hídrico para produção de energia elétrica em anos muito húmidos.

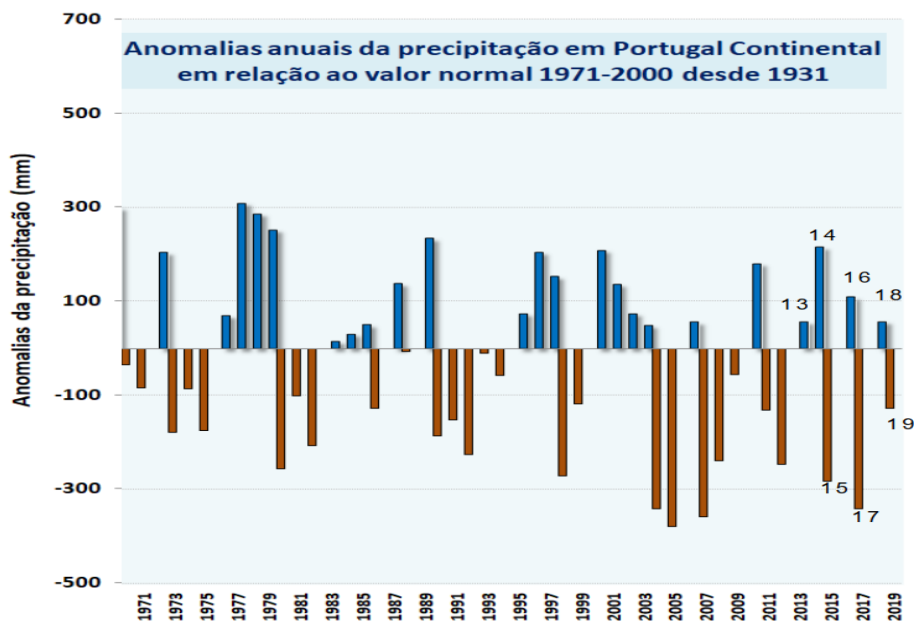


Figura 22: Anomalias da quantidade de precipitação anual em Portugal continental, em relação ao valor médio no período 1971-2000 [Fonte: IPMA]

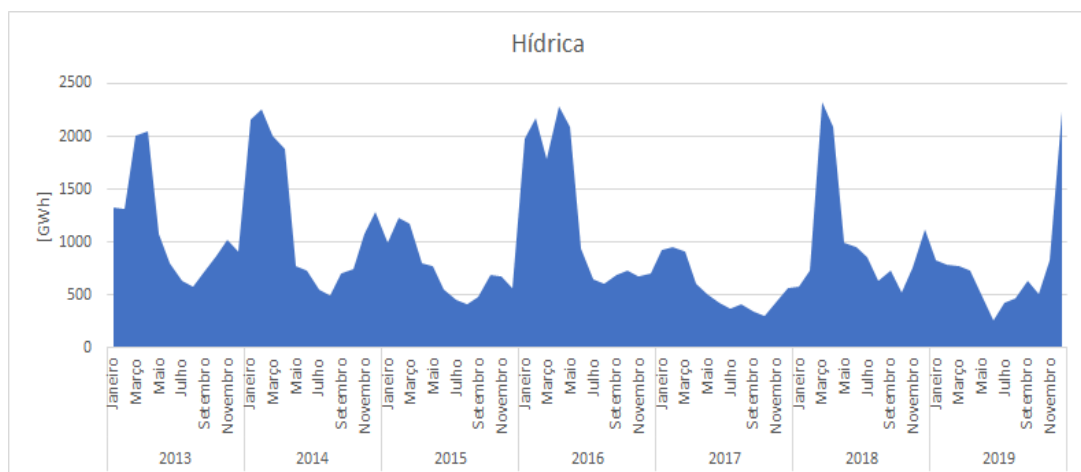


Figura 23: Produção Hídrica Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN]

Outra conclusão que se pode retirar desta análise é que a redução da precipitação também tem implicações nos meses de Verão, pois não sendo possível recuperar o armazenamento de água perdido no Verão do ano anterior durante o Inverno, a esperada quebra de produção no Verão dos anos mais secos ronda também os 50%.

O caso da Eólica, figura 24, é diferente, no sentido em que, para além do padrão onde se observa uma redução de produção nos meses de Verão, tudo o resto não segue um padrão, seja o pico de produção, seja o ponto de produção mais baixo, não tem uma correlação direta com os padrões cuja escala

temporal seja grande. Ou seja, a alteração das condições meteorológicas tem repercussões quase imediatas na produção de eletricidade, ao passo que na hídrica é necessário que essas variações meteorológicas se prolonguem mais no tempo. Mais ainda, apesar de existir uma relação entre períodos de precipitação mais elevada e maior produção eólica isso não implica que em períodos de precipitação muito reduzida ou nula deixe de existir vento. Isso é observável no ano de 2017, onde apesar de ser um ano extremamente seco, foi um dos melhores anos de produção eólica durante os meses de Verão.

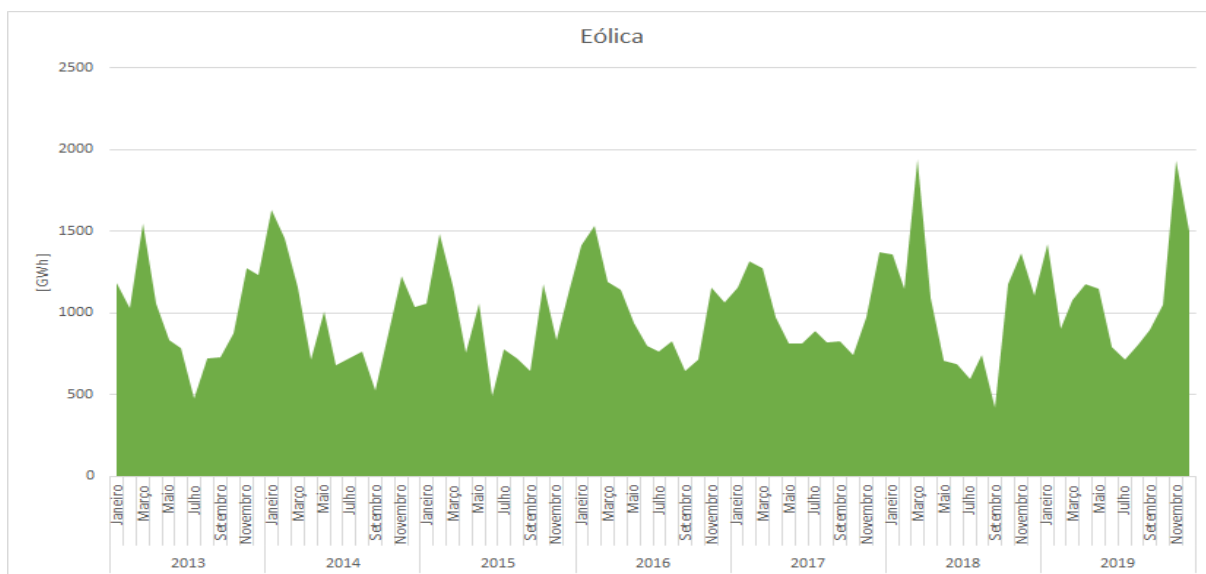


Figura 24: Produção Eólica Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN]

Ainda como referência ao fator da meteorologia, percebe-se pelo gráfico da figura 25 a importância que a geração térmica tem nos anos secos ao aumentar a sua produção para compensar a forte quebra da produção hídrica, pode-se dizer que é um impacto indireto das condições meteorológicas.

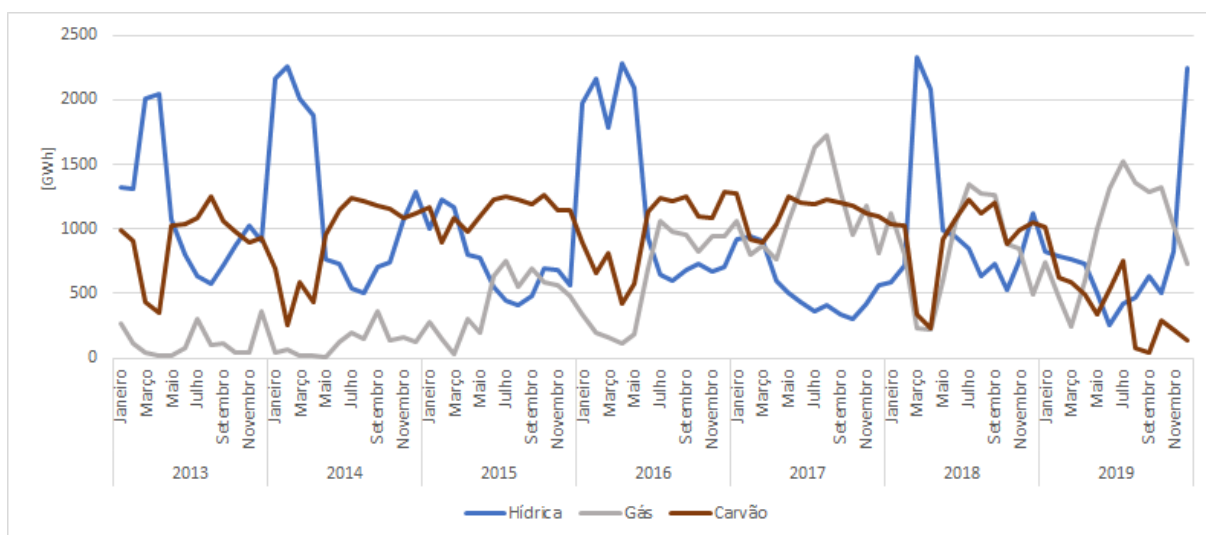


Figura 25: Comparação da Produção Hídrica e Térmica (Gás e Carvão) Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados REN]

3.2.2. Fatores Económicos

O fator económico tem um impacto maior na geração térmica, pois a fonte primária de energia tem um custo, ao contrário das FER onde essa fonte de energia primária existe no ambiente. Além disso, no caso de Portugal as fontes de energia primária da geração térmica são na sua grande maioria combustíveis fósseis, nomeadamente o Carvão e o Gás Natural, aos quais estão associadas emissões de GEE e por isso também tem uma agravante económica para compensar essas emissões.

Observando as figuras 26 e 27 destaca-se a correlação entre redução do preço do gás natural a partir de 2014 e o aumento da produção de eletricidade recorrendo à geração a Gás, sendo no ano de 2018 o total da produção a Gás 10 132 GWh, muito próximo dos 11 116 GWh da produção a Carvão, esta transição termina no ano 2019 onde a produção a Gás foi muito superior à de Carvão, 11 619 GWh contra 5 085 GWh respetivamente.

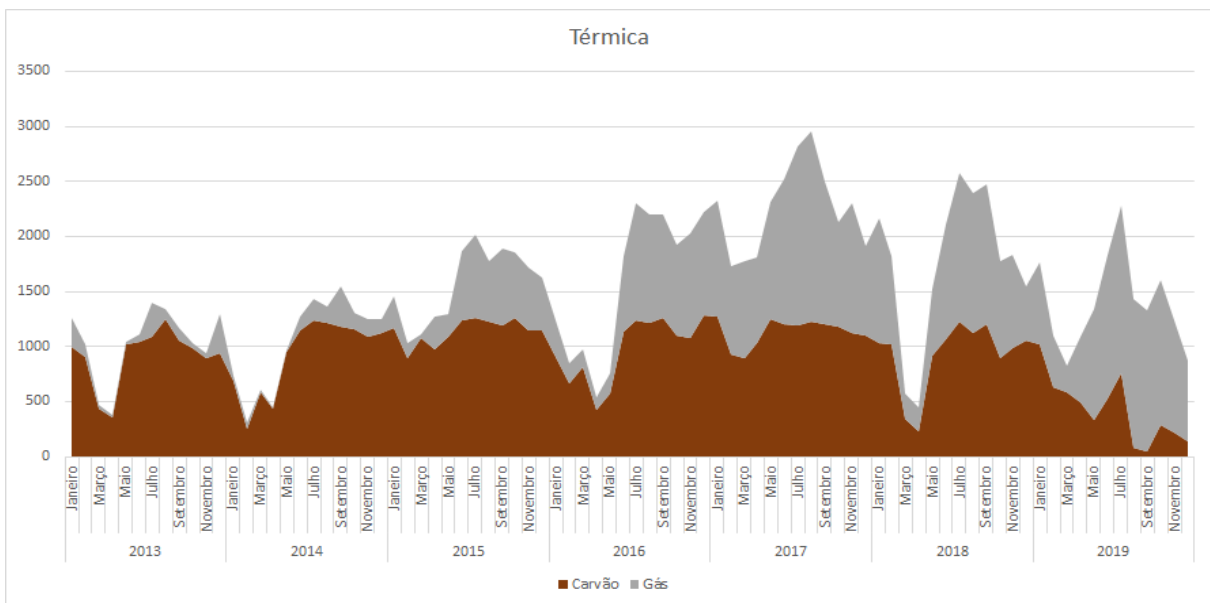


Figura 26: Produção Térmica (Carvão e Gás) Mensal em Portugal Continental 2013-2019 [Dados: REN]

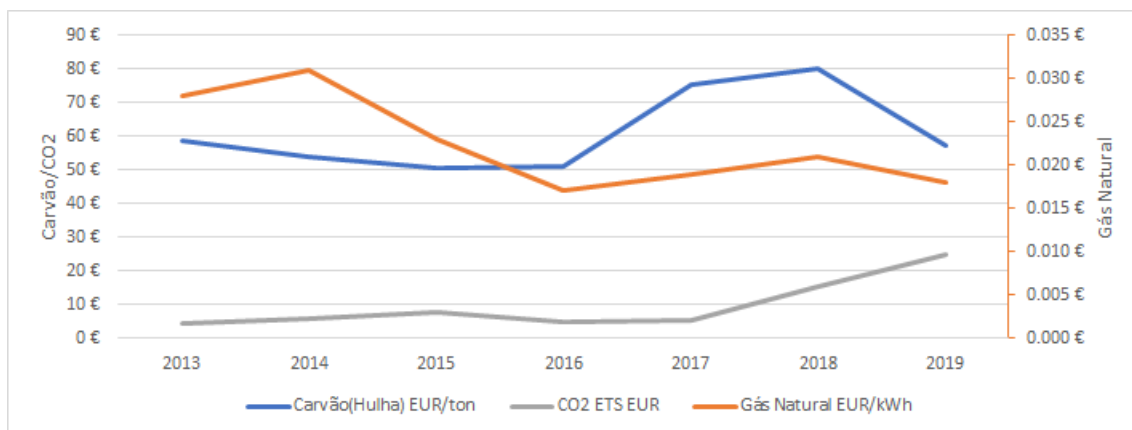


Figura 27: Variação do preço médio anual do Carvão e Gás Natural [Dados: DGEG]

Outro dos fatores económicos que influenciou fortemente esta transição do carvão para o gás natural foi o disparo do preço no mercado dos direitos de emissão de GEE com o potencial de AG equivalente a uma tonelada de CO₂ (tCO_{2e}) em 2018. Verifica-se pelo gráfico da figura 28 no final de 2017 o preço era de aproximadamente 5 €/tCO_{2e} e aumentou até atingir valor mais elevado em 2019 de 29 €/tCO_{2e}. Segundo os dados do Relatório do IPCC de 2014 a intensidade carbónica do carvão é de 820 gCO_{2e}/kWh, já o gás natural tem uma intensidade carbónica de 490 gCO_{2e}/kWh. Assim, o carvão, com uma intensidade carbónica muito mais elevada que a do gás natural e com o custo das emissões de CO_{2e} a aumentar, fez com que a produção de eletricidade das centrais termoelétricas alimentadas a carvão deixasse de ser competitiva comparativamente com as centrais a gás.

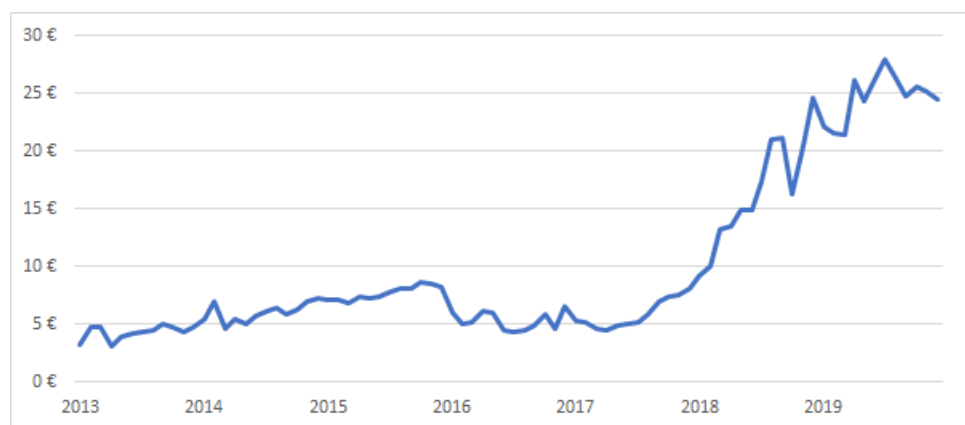


Figura 28: Preço da tCO_{2e} no Mercado Europeu [Dados: EMBER-Climate]

Assim, ficou aberto o caminho para a geração a gás que para além de ser mais competitiva em termos de custos de produção de eletricidade, tem a outra grande vantagem de ter uma disponibilidade para produção muito mais flexível do que a geração a carvão.

Esta flexibilidade está relacionada com o facto de o tempo de resposta da geração a gás ser muito menor do que a geração a carvão, tornando-a mais compatível com a intermitência da geração eólica e solar fotovoltaica.

3.3. Análise e Estudo do Ano de 2017

Da análise dos fatores económicos ficou de fora o ano de 2017 (figura 29), um ano em que Portugal foi assolado pela seca meteorológica mais severa da década anterior e uma das mais severas deste século. Foi um ano onde o efeito dos fatores económicos foi pouco evidente, pois perante uma quebra de 41% de produção hídrica face à média de 2013-2019, foi necessário que a geração térmica aumentasse a produção com recurso extra à geração a gás, o que significou um aumento da produção anual da geração térmica em 48% em relação à média de 2013-2019.

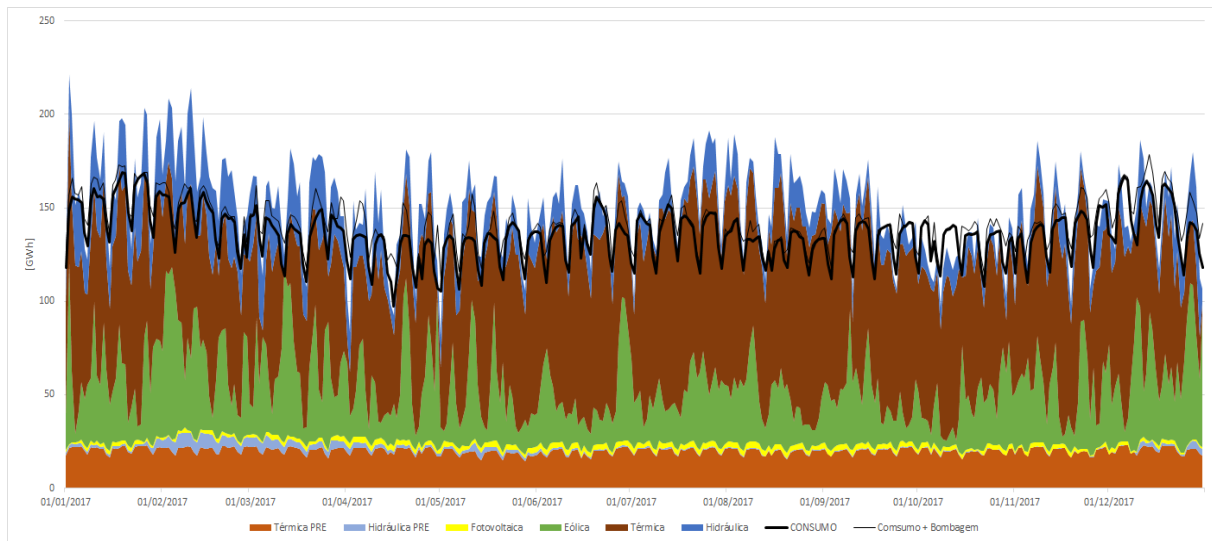


Figura 29: Diagrama de produção de 2017 [Dados REN]

Isto faz do ano de 2017 um ano cujas características podem dar uma perspetiva do comportamento do setor electroprodutor, tendo em conta a estratégia assumida no PNEC para a capacidade instalada das diferentes tecnologias de produção de eletricidade no ano 2030 e o consumo com o pressuposto de ter um aumento em linha com a média observada nos últimos anos. Tudo isto associado a um cenário extremo de seca meteorológica, que se perspetiva que possa ocorrer com maior frequência no que resta do século. No fundo será uma avaliação do quão exposto poderá ficar o sector electroprodutor às AC, assumindo a implementação do PNEC.

3.3.1. Metodologia da Análise

A análise baseia-se na recolha de dados a partir do sistema de informação da REN do pico de produção diário do diagrama de produção de 2017, o qual será adaptado assumindo a distribuição da capacidade instalada por tecnologia renovável, como a eólica, solar fotovoltaica e hídrica assumida pelo PNEC em 2030. Esta análise terá duas componentes temporais, uma mais longa, anual, e depois uma mais curta, semanal. A análise semanal tem o intuito de ter uma perspetiva inter diária através dos dados da potência média horária de produção. Finalizando com a avaliação da disponibilidade das FER do setor electroprodutor versus consumo numa perspetiva pós 2030.

3.3.2. Produção Eólica

Os dados da produção de eletricidade mostram que a produção com origem na geração eólica (tabela 8) tem acompanhado o crescimento da potência instalada, com exceção do ano de 2017 e 2015 onde houve uma ligeira quebra da produção. Esta quebra de produção associada aos anos mais secos é notória analisando a produção por kW instalado.

Tabela 8: Produção Anual 2013-2019 [Dados: REN]

| Eólica | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Potência Instalada [MW] | 4368 | 4541 | 4826 | 5070 | 5090 | 5145 | 5208 |
| Produção de Eletricidade [GWh] | 11750 | 11813 | 11336 | 12190 | 11972 | 12353 | 13423 |
| Produção por kW instalado [KWh] | 2690 | 2601 | 2349 | 2404 | 2352 | 2401 | 2577 |

Analisando o Diagrama de Produção diária (figura 30), é perceptível uma quebra durante os meses de Verão. No entanto essa redução não é uniforme durante todo o verão, dependendo fortemente das condições meteorológicas que mesmo durante os meses de Verão proporcionam fortes variações na disponibilidade eólica.

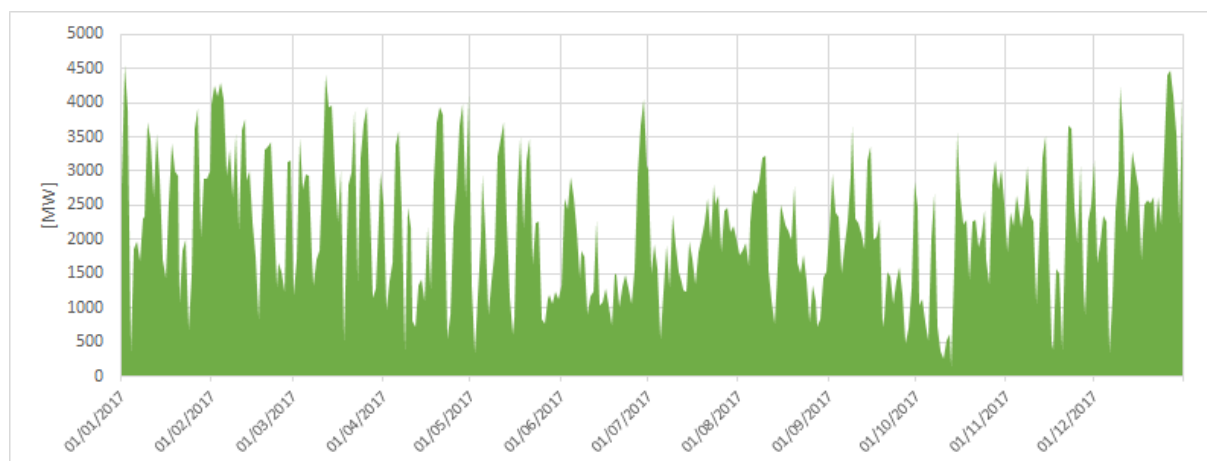


Figura 30: Diagrama de produção diária Eólica - 2017 [Dados: REN]

Numa observação mais fina (figura 31), é visível a intermitência diária e mesmo horária. O pico de produção máximo durante o período analisado foi de 3902 MW.

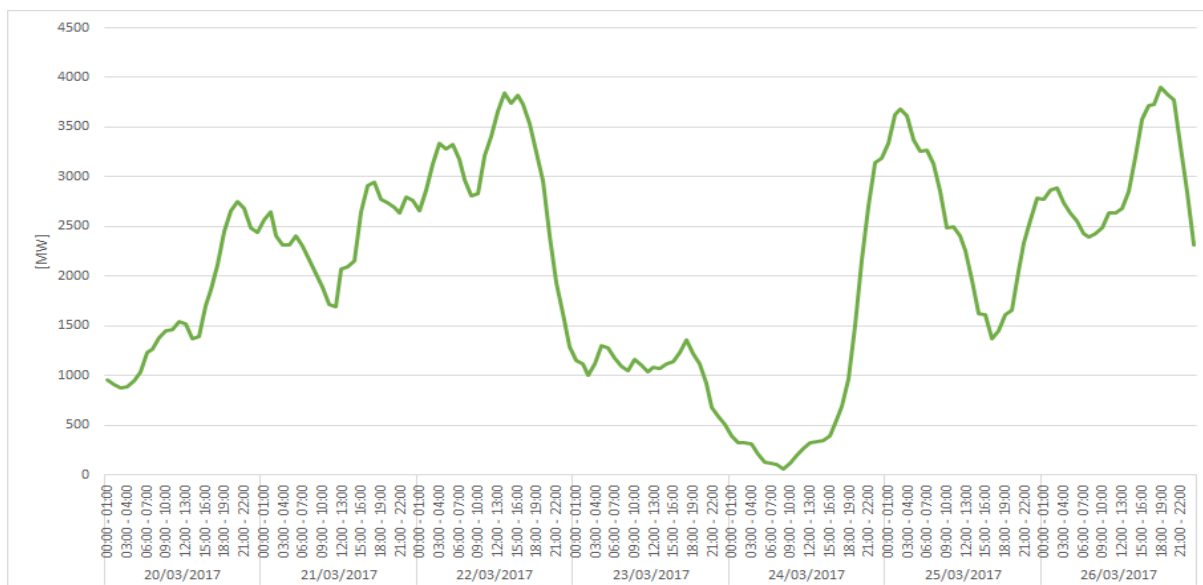


Figura 31: Potência Média Horária de Produção Eólica 20-26 de Março [Dados: ENTSO-E]

3.3.3. Produção Fotovoltaica

Os dados representados (tabela 9), mostram o forte crescimento tanto na produção anual como na potência instalada da geração fotovoltaica, sendo em 2019 o aumento da produção e da potência instalada de aproximadamente 140% e 176% respetivamente, face aos valores de 2013. Contudo ainda são valores muito aquém das expectativas, para o reconhecido potencial existente em Portugal Continental.

Observando os dados da produção por kWp, é possível associar uma maior disponibilidade de produção em anos mais secos. Obviamente influenciado pela redução da nebulosidade durante o ano.

Tabela 9: Produção Anual 2013-2019 [Dados: REN]

| Fotovoltaica | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Potência Instalada [MW] | 282 | 396 | 429 | 459 | 490 | 569 | 730 |
| Produção de Eletricidade [GWh] | 442 | 596 | 760 | 786 | 853 | 829 | 1062 |
| Produção por kWp [kWh] | 1567 | 1505 | 1772 | 1712 | 1741 | 1457 | 1455 |

Analisando a produção anual (figura 32), é evidente o aumento de produção durante os meses com mais horas de exposição solar e menor nebulosidade, ou seja, desde o final da Primavera até ao início do Outono.

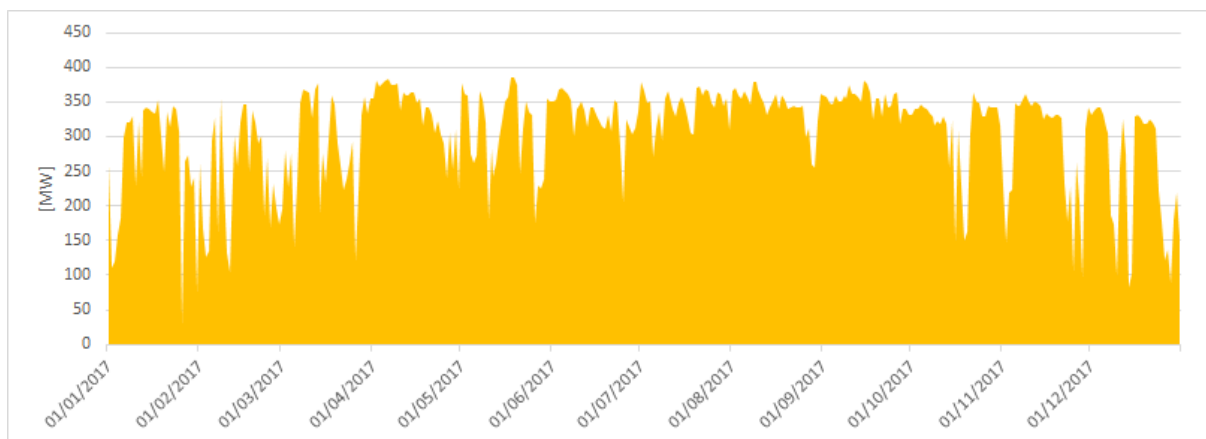


Figura 32: Diagrama de produção diária Fotovoltaica - 2017 [Dados: REN]

Na malha temporal horária (figura 33), a produção está associada à fase diurna. O pico de produção máximo durante o período analisado foi de 352 MW.

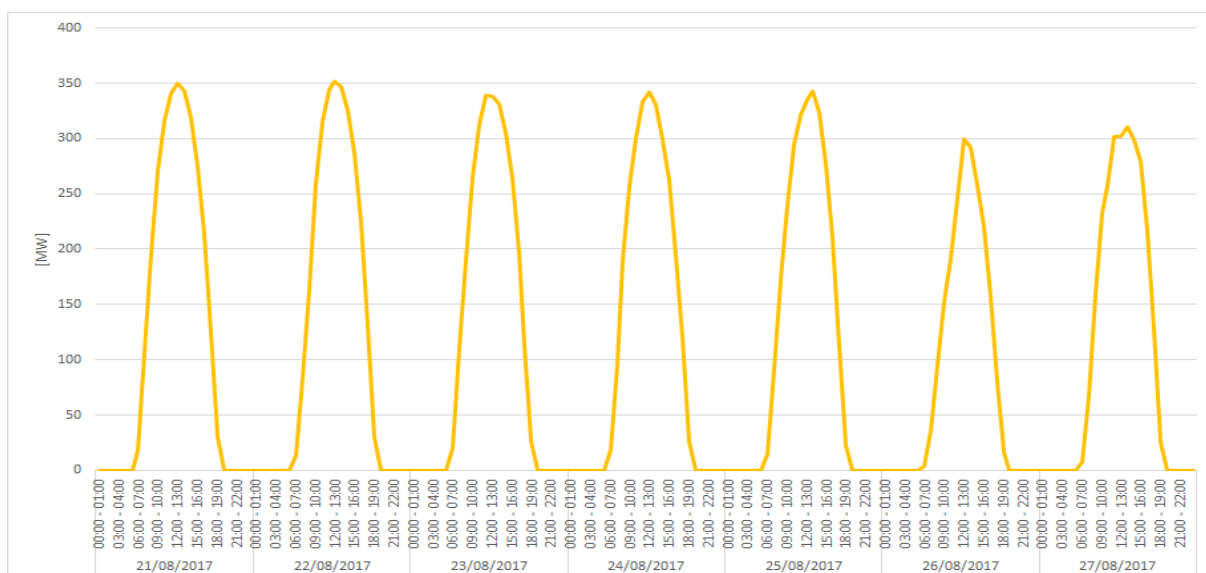


Figura 33: Potência Média Horária de Produção Fotovoltaica 21-27 de Agosto [Dados: ENTSO-E]

3.3.4. Produção Hidroelétrica

Os valores referentes à hídrica (tabela 10), observa-se um crescimento da potência instalada, principalmente de 2015 para 2016, com 799 MW. Quanto à produção anual, a relação com a variação dos valores de precipitação anual, contribui para uma grande inconsistência dos valores entre diferentes anos.

Tabela 10: Produção Anual 2013-2019 [Dados: REN]

| Hidroelétrica | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---------------------------------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|
| Potência Instalada [MW] | 5652 | 5693 | 6146 | 6945 | 7193 | 7215 | 7216 |
| Produção de Eletricidade [GWh] | 13304 | 14663 | 8794 | 15296 | 6725 | 12268 | 8983 |
| Produção por kW instalado [KWh] | 2354 | 2576 | 1431 | 2202 | 935 | 1700 | 1245 |

Analisando o diagrama de produção diária ao longo do ano (figura 34), é visível a quebra da produção nos meses de Verão, coincidente com a redução da pluviosidade durante esse período.

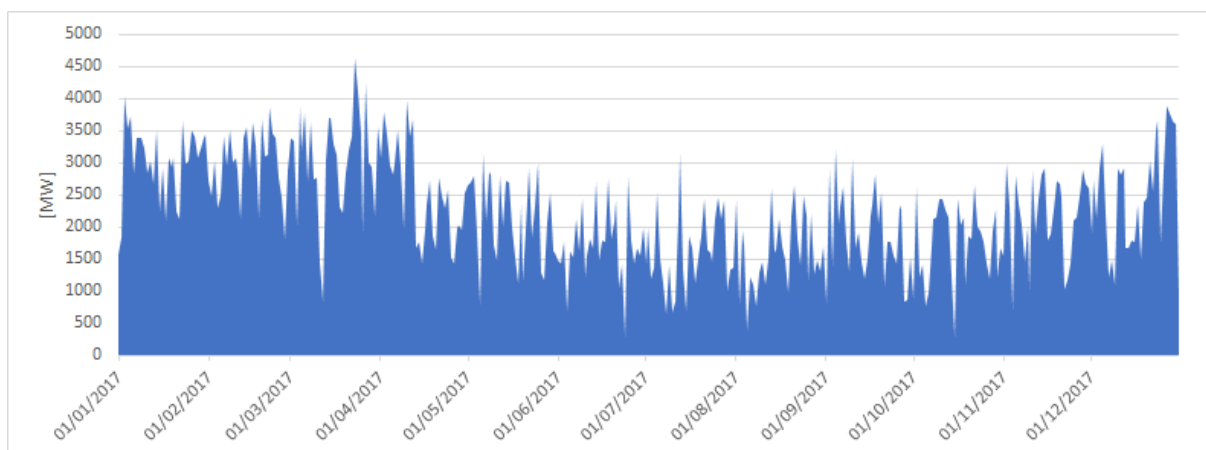


Figura 34: Diagrama de produção diária Hidroelétrica - 2017 [Dados: REN]

Quanto à potência média horária de produção (figura 35), é perceptível o facto de a geração hídrica ser despachável e por isso a distribuição horária da produção está mais relacionada com a intermitência da geração eólica e a variação da procura. É observável a resposta aos picos de consumo do período da manhã e do início da noite. Para além disso outros fatores podem ter grande influência, como a gestão do armazenamento de água nas albufeiras, controlo do caudal dos rios e a bombagem.

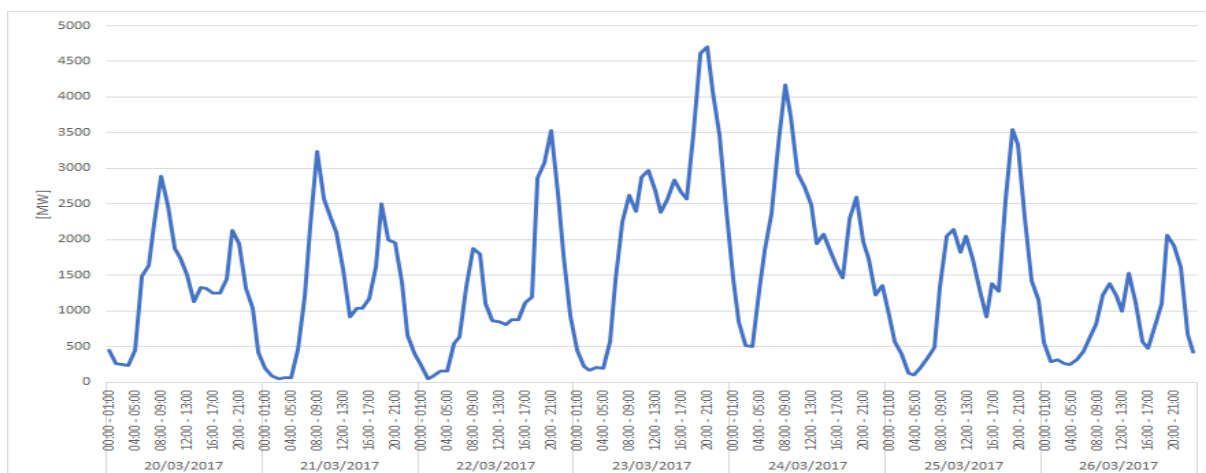


Figura 35: Potência Média Horária de Produção Hidroelétrica 20-26 de Março [Dados: ENTSO-E]

3.3.5. Consumo

Analisando o consumo (tabela 11) verifica-se que em média o consumo de eletricidade tem aumentado, seja por fatores como recuperação/crescimento económico, início da eletrificação de alguns setores. O crescimento médio entre 2013-2019 ronda os 200 GWh por ano. A potência máxima do consumo

também segue a mesma tendência de crescimento, sendo o crescimento médio de 54.7 MW por ano. O fator de carga manteve-se estável ao longo dos anos analisados.

Tabela 11: Consumo Anual de Eletricidade 2013-2017[Dados: REN]

| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Consumo [GWh] | 49151 | 48825 | 48958 | 49272 | 49638 | 50905 | 50346 |
| Potência Máxima de Consumo [MW] | 8322 | 8313 | 8618 | 8142 | 8771 | 8794 | 8650 |
| Fator de carga | 0,67 | 0,67 | 0,65 | 0,69 | 0,65 | 0,66 | 0,66 |

No que representa a ponta diária de consumo (figura 36), observa-se o típico padrão dos picos de consumo durante os meses de Inverno, a sua redução durante os meses de Primavera, depois volta a recuperar durante o pico do Verão, ligeira redução durante o Outono e volta a aumentar nos meses de Inverno.

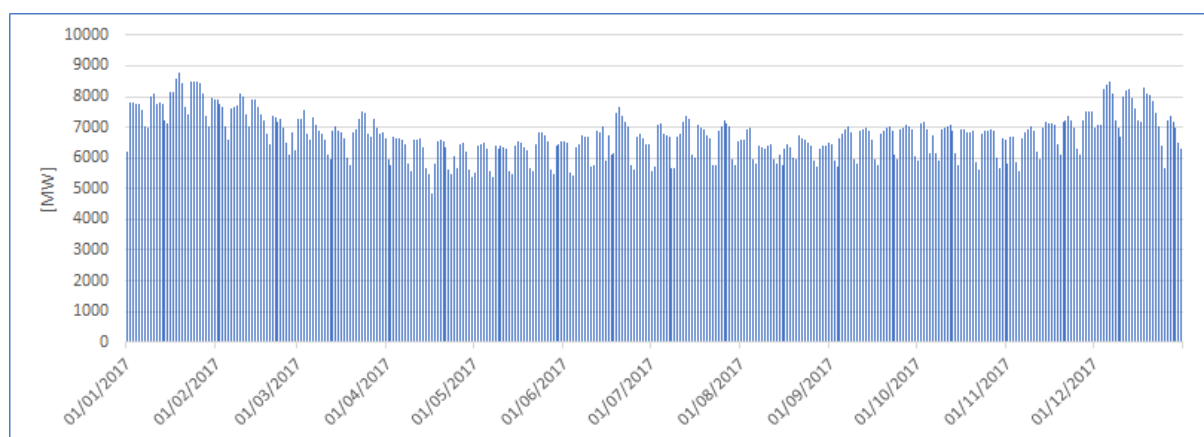


Figura 36: Diagrama de Carga - 2017 [Dados: REN]

Na carga horária de consumo durante uma semana (figura 37), são identificáveis os padrões inter diários com dois picos de consumo, um durante a manhã e outro maior no princípio da noite, a diferença entre os dois picos é menor nos meses de Verão, as variações diárias são mais notórias na redução do consumo durante o fim-de-semana.

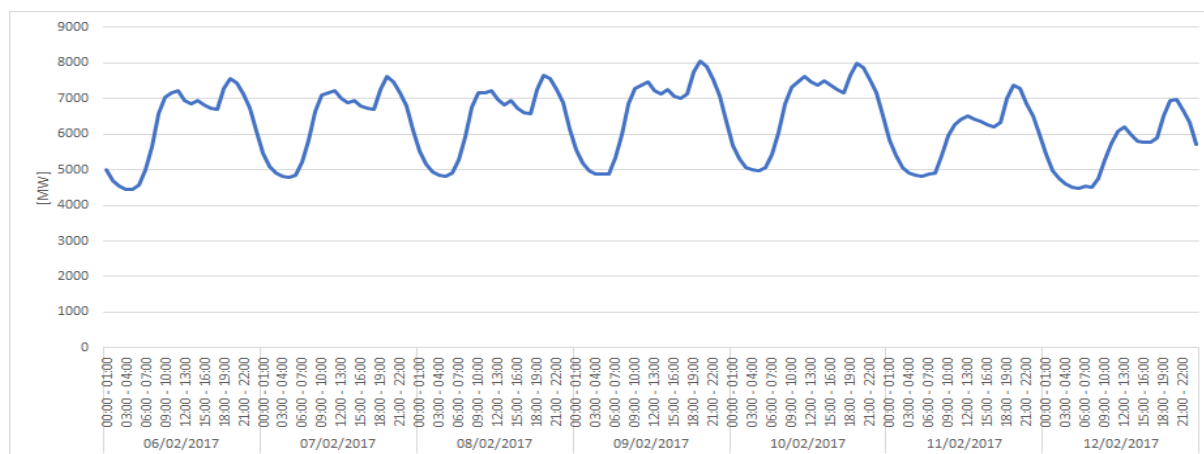


Figura 37: Diagrama de Carga 06-12 de Fevereiro [Dados: ENTSO-E]

3.3.6. Estimativa do Diagrama de Disponibilidade 2030

Para estimar o diagrama de disponibilidade em 2030 em condições de seca meteorológica foram usados o perfil de produção do ano de 2017 com os valores de capacidade instalada previsto no PNEC para 2030. O digrama de disponibilidade tem principal ênfase nas FER, eólica onshore, solar e hídrica.

Para perceber quais as potenciais implicações na segurança de abastecimento é necessário contrapor o diagrama de disponibilidade com uma perspectiva do consumo em 2030, para tal será usado um cenário em que a ponta da potência do consumo continua a aumentar com o mesmo ritmo de crescimento que o observado entre 2013 e 2019, 54,7 MW por ano.

O que representa um crescimento linear de 54,7 MW por ano, que em 2030 representa um aumento de 601,7 MW.

3.4. Resultados

Ajustando os diagramas à potência instalada prevista pelo PNEC 2030, e contrapondo a carga tendo em consideração o cenário previsto para 2030 com o somatório da produção renovável (Hídrica, eólica e solar), é possível conjetar sobre a disponibilidade da geração de energia elétrica baseada nas FER em condições menos favoráveis, nomeadamente numa situação de seca meteorológica. Esta análise permitirá perceber as circunstâncias onde existem falhas de disponibilidade de produção renovável ou caso contrário onde poderá ocorrer um excedente de produção.

Observando o diagrama (figura 38) para um cenário do ano de 2030 em seca meteorológica igual a 2017, verifica-se algum excedente ao longo do ano, mais expressivo no final do Inverno e início da Primavera. No entanto a falta de disponibilidade da produção renovável para a carga prevista é por demais evidente ao longo de todo ano, sendo mais marcada a partir do final do Verão. Esta falta de disponibilidade, apesar do conjunto da potência instalada renovável ser 26.200 MW e o pico de carga do cenário considerado ser de 9.482 MW, deve-se, como se irá verificar mais à frente, à indisponibilidade da geração hídrica, fortemente afetada pelo período de seca muito prolongado e à grande intermitência da geração eólica e solar fotovoltaica.

Analisando os diagramas (figura 39), A, B C e D é possível fazer uma análise mais minuciosa. Por exemplo, é evidente a relação entre os períodos de excedente de produção renovável e o pico de produção da geração fotovoltaica. Com um aumento da capacidade instalada de 490 MW em 2017 para 9000 MW em 2030 a produção fotovoltaica passará a ter um lugar de destaque na produção de eletricidade, contudo, a inflexibilidade da disponibilidade associada ao período diurno, a intermitência e um pico de produção desfasado dos picos da procura levam ao aparecimento deste excedente a meio do dia. Ora caso não seja possível exportar, uma das soluções pode ser o *curtailment*, é uma solução a evitar pois pode ter impactos consideráveis na sua rentabilidade. Outras soluções a encorajar serão

o armazenamento ou estratégias de gestão da procura, duas soluções que permitem a possibilidade de ter um maior aproveitamento do potencial da geração solar fotovoltaica, entre outras soluções.

Da geração eólica, retém-se dos diagramas a enorme variabilidade da disponibilidade. E isso nem sempre permite a melhor conjugação com a geração fotovoltaica para responder à variação da procura, levando a situações em que tanto pode complementar durante o período noturno a indisponibilidade da geração fotovoltaica, como pode agravar o excedente de produção durante o período diurno. Assim, é necessária a implementação de soluções como as referidas anteriormente em caso de impossibilidade de exportação, *curtailment*, armazenamento ou gestão da procura.

Falta então a geração hídrica, é aqui que reside, em parte, a chave para a quebra da disponibilidade da produção renovável, principalmente durante o período noturno. O cenário de produção hidroelétrica a analisar é extremo, para uma capacidade instalada de 8 200 MW o pico máximo de produção durante o ano é de 5 395 MW, que representa apenas 66%. Pelos diagramas é visível que a disponibilidade é reservada apenas para responder aos picos de consumo, e mesmo essa capacidade de resposta vai-se reduzindo à medida que o ano avança. Isto põe totalmente em causa uma das principais características e vantagens que tem em relações às outras tecnologias renováveis, ser despachável. Sem isso não existe a complementaridade entre as diferentes tecnologias renováveis tornando assim toda a geração renovável muito mais intermitente. Para minimizar este impacto, mais uma vez é necessário recorrer a algumas das soluções referidas anteriormente, principalmente o armazenamento e para além disso ao invés da exportação no caso excedentário, a importação pode ser uma grande solução complementar.

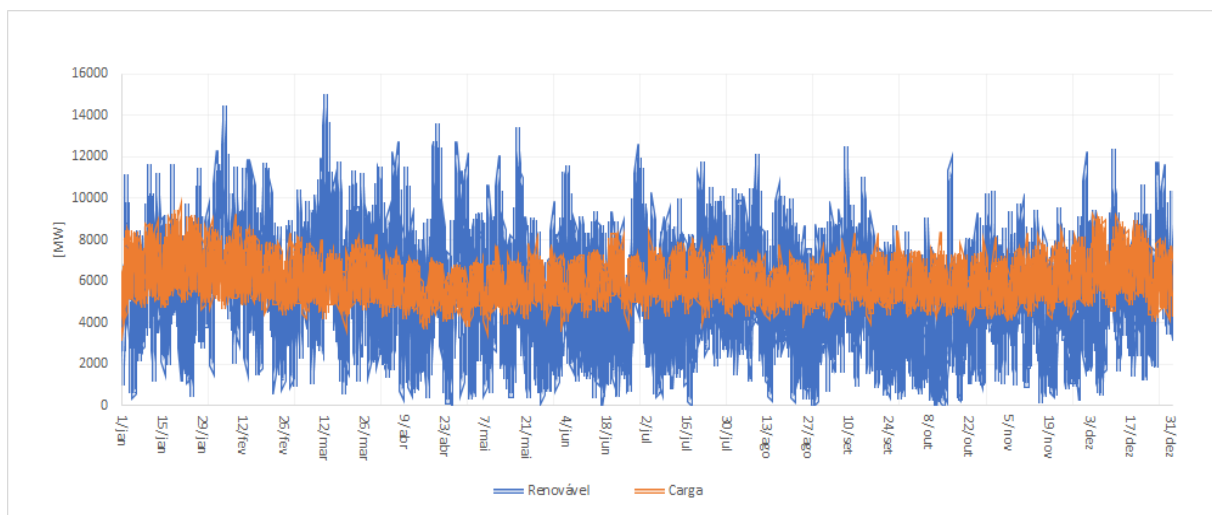


Figura 38: Disponibilidade Renovável versus Carga - 2030

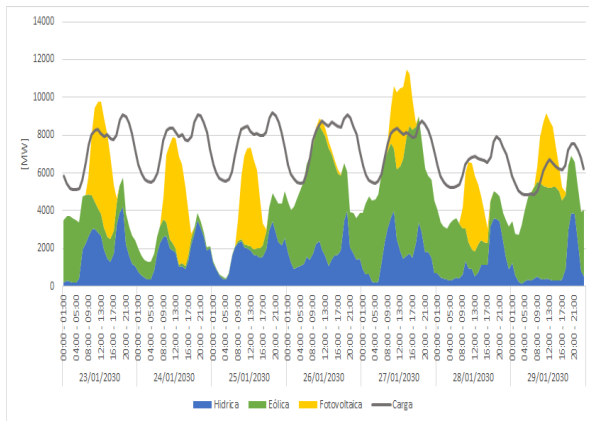


Diagrama A: Janeiro

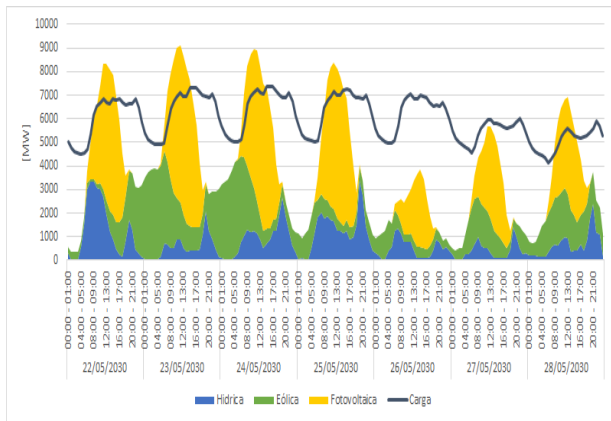


Diagrama B: Maio

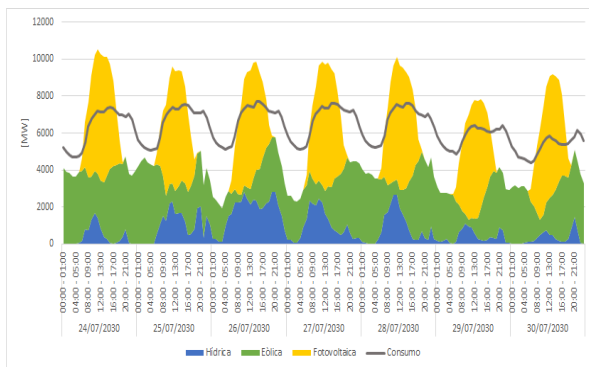


Diagrama C: Julho

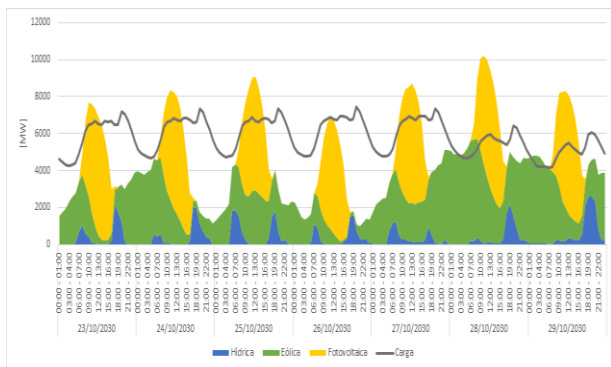


Diagrama D: Outubro

Figura 39: Disponibilidade da Geração Renovável versus Carga

3.5. Conclusões do caso de Estudo

Os resultados obtidos mostram de forma clara, não só a intermitência e a inflexibilidade de despacho associada à produção renovável eólica e solar, como também a dependência na geração hidroelétrica para que seja possível no conjunto ter uma geração renovável cuja disponibilidade é mais estável, e que consiga acompanhar o melhor possível a procura, tornando realizável concretizar os objetivos de reduzir ao máximo as emissões de GEE do setor electroprodutor.

Contudo, apesar de em condições normais a geração hídrica apresentar uma grande disponibilidade despachável, nem sempre assim é. Como foi analisado no caso de estudo existem circunstâncias, como a seca meteorológica de 2017, em que a disponibilidade é de tal forma afetada que também põe em causa o seu despacho.

Como aconteceu em 2017 e atualmente, situações semelhantes levam a um aumento do recurso à geração térmica em substituição da geração hídrica, é nestas circunstâncias que o dilema se manifesta. A descarbonização é necessária para reduzir as emissões de GEE e parar o AG, no entanto a mesma descarbonização pode estar a expor o setor electroprodutor aos impactos das AC, sejam as secas meteorológicas mais severas e prolongadas com impacto principal na produção hidroelétrica ou as ondas de calor também elas mais severas e prolongadas cujo maior impacto será o aumento procura durante os meses mais quentes.

Assim, torna-se necessário encontrar soluções de baixa intensidade carbónica, para que em condições normais seja possível cumprir os objetivos de redução de emissões de GEE e ao mesmo tempo mitiguem o impacto das AC na produção de energia elétrica. Terão de ser soluções que permitam aproveitar os excedentes de produção, nos períodos de quebra da disponibilidade da geração renovável, permitindo a atenuação da diferença entre a disponibilidade renovável e a procura.

4. Soluções e Estratégias

Em termos de soluções existem várias, umas são implementadas do lado da geração, outras do lado da procura e outras na rede de transporte. Apesar de estar patente no PNEC 2030 a necessidade da implementação destas soluções, nunca é demais reforçar a importância das mesmas para o sucesso da estratégia, principalmente em condições menos favoráveis.

4.1. Armazenamento

O armazenamento de energia tem mostrado ser fundamental para a integração das FER na produção de eletricidade. A grande variabilidade em curtos espaços de tempo da geração renovável, eólica e solar fotovoltaica desde cedo indicou que para tirar o maior proveito possível seria necessário a introdução do armazenamento de energia elétrica.

O Armazenamento de energia permite um melhor ajustamento entre a produção renovável intermitente e a procura, ou seja, o aproveitamento dos períodos de excedente de produção para depois ser injetada na rede quando a procura aumenta ou a disponibilidade da produção diminui. Além disso, pode fornecer os serviços de sistema que a geração renovável mais intermitente não consegue. O Processo de armazenamento de energia tem a grande vantagem de não ter uma contribuição direta nas emissões de GEE caso a energia armazenada seja proveniente de FER. No entanto, uma desvantagem é a perda de energia nos processos de conversão, cuja eficiência pode variar entre os 75–80%.

Existem várias tecnologias de armazenamento com diferentes características, dependendo do tipo de energia em que é convertida e armazenada a energia elétrica. No armazenamento direto de energia elétrica destacam-se os supercondensadores, no armazenamento em energia química destacam-se as baterias, das quais existem diferentes tipos, sendo as baterias de iões de lítio que melhor se posicionam como alternativa dentro desta forma de armazenamento, o armazenamento térmico, pouco explorado. O armazenamento mecânico, onde se destaca o ar comprimido e a bombagem nas centrais hidroelétricas, esta última é a tecnologia de armazenamento de energia elétrica em grande escala mais usada nos dias de hoje. Por fim o Hidrogénio, esta é sem dúvida a forma de armazenamento mais debatida nos tempos que correm, baseia-se na utilização de célula de combustível para o setor elétrico, mas também pode ser usado noutros sectores da economia de forma direta ou como fonte de energia (Kasper T. Møller, [et al.], 2017).

Das tecnologias referidas anteriormente destacam-se três, as baterias de iões de lítio, a bombagem hidroelétrica e no hidrogénio através da célula de combustível. Todas estas tecnologias tem uma intensidade carbónica muito baixa, desde que a fonte de energia elétrica seja renovável, complementam-se no posicionamento do sistema elétrico e nos serviços que podem fornecer (Figura 40). Isto faz com que as três tecnologias em conjunto criem um sistema de armazenamento transversal e de grande disponibilidade.

Neste momento em Portugal a geração hidroelétrica com bombagem é uma das principais soluções para a integração dos excedentes de produção da geração eólica.

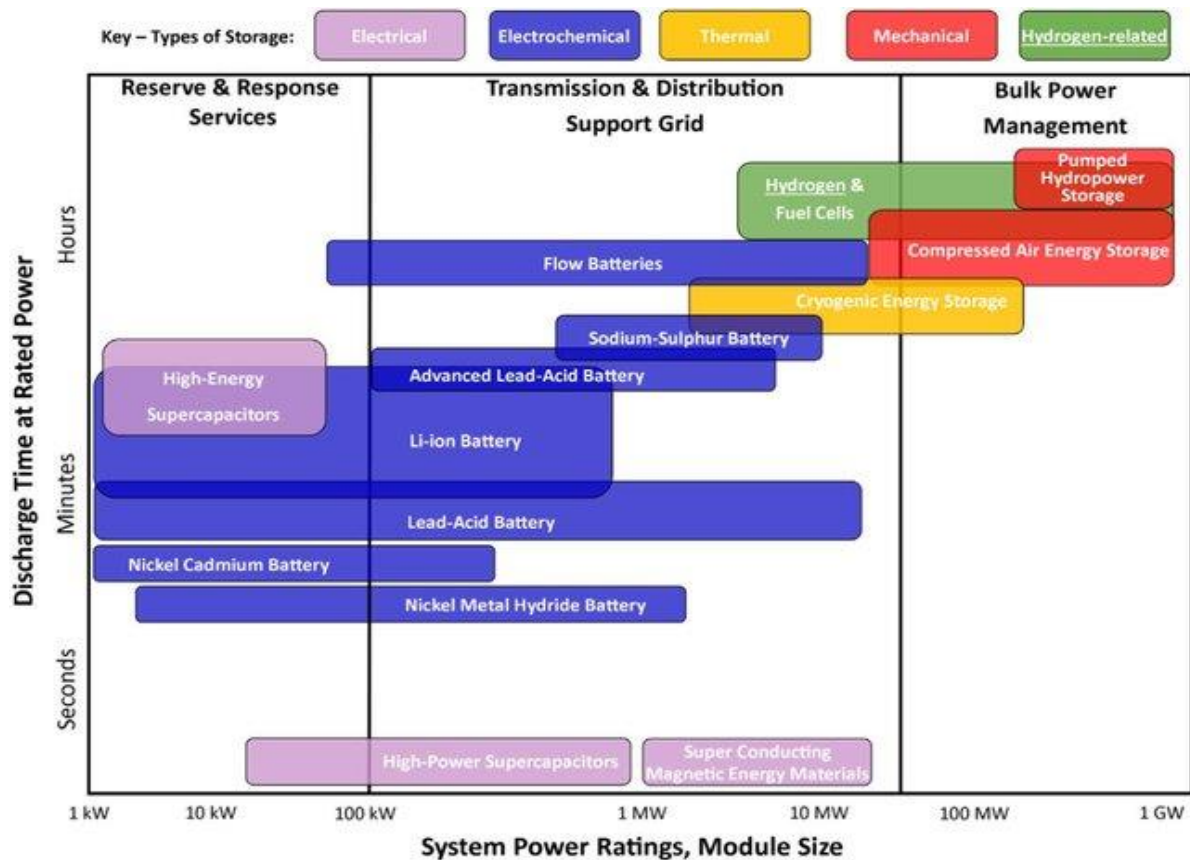


Figura 40: Comparação de diferentes tecnologias de armazenamento em capacidade de armazenamento e tempo de descarga à potência nominal

Estas tecnologias de armazenamento também têm desvantagens, começando pela bombagem, uma das principais desvantagens é estar vulnerável às variações provocadas por diferentes condições meteorológicas, no caso de seca meteorológica ou de cheias a capacidade de bombagem é limitada, outra desvantagem é o facto de ser o grupo de geradores que faz a bombagem, limitando a disponibilidade. As baterias atualmente a principal desvantagem é o custo, apesar de uma redução continuada nos últimos anos, ainda é um fator preponderante, além disso o tempo de vida ronda os 10 anos. O caso da célula de combustível, a sua utilização como armazenamento de energia elétrica ainda é questionável, a eficiência na reconversão do hidrogénio em energia elétrica é muito baixa o que vai aumentar as perdas no conjunto dos processos de conversão, isto para além da energia necessária para o processo de armazenagem.

4.2. Interligações

As interligações são uma forma importante de escoar o excedente da produção e importar em período de disponibilidade reduzida. Na Península Ibérica as interligações entre Portugal e Espanha permitiram atenuar os excedentes e as quebras de produção das FER, pois em várias situações em que existe excedente de produção em Portugal, Espanha pode absorver esse excedente, e o reverso também ocorre. No entanto, não é o suficiente para a integração do aumento da capacidade instalada da geração renovável, então é necessário aumentar as interligações com o resto da Europa para que seja possível aumentar os fluxos quando houver excedentes de produção.

4.3. Gestão da Procura

Uma das formas de aumentar o aproveitamento e a integração da geração renovável intermitente, é adaptar a procura ou parte dela à disponibilidade de produção renovável. Ao invés de ser apenas a geração a manter o balanço entre oferta e procura, é possível com estratégias de gestão da procura mudar esse paradigma. As estratégias vão desde redução da carga nos picos da procura, deslocação de cargas, fazendo-as coincidir com a disponibilidade da geração renovável ou então um aumento da carga em situações de elevado excedente de produção. Para Portugal a principal estratégia será a redução do consumo em geral com a implementação de medidas de eficiência energética. O setor doméstico carece de uma forte intervenção na eficiência energética das habitações, o que traria benefícios não só na redução do consumo, mas também na redução dos picos de consumo, pois iria facilitar o desvio de algumas cargas, como por exemplo a climatização dos edifícios.

Estas estratégias de gestão da procura poderão ser muito mais eficazes se forem integradas em conjunto com as *smart grids*. É essencial haver um fluxo de informação e um nível mais elevado de automação para que a implementação das estratégias de gestão sejam o mais eficiente possível.

4.4. Reserva Térmica

A reserva da geração térmica tem sido um dos pilares para a estabilidade SEN. Contudo essa dependência não se coaduna com os objetivos de descarbonização, pois a intensidade carbónica é muito elevada principalmente na geração térmica a carvão. Mesmo assim não é de descartar a necessidade de manter uma capacidade instalada de geração térmica a gás com centrais de ciclo combinado, cuja intensidade carbónica é muito inferior ao carvão, 490 gCO₂e/kWh e 820 gCO₂e/kWh respetivamente. Esta reserva de geração térmica terá um papel importante nas quebras de disponibilidade da geração renovável, principalmente em períodos menos favoráveis à produção hidroelétrica, como se afigura que venha a acontecer em períodos de seca meteorológica.

4.5. Hidrogénio

A produção de hidrogénio verde pode ser uma importante solução para o excedente de produção, o que permitiria sobre dimensionar a capacidade instalada da geração renovável e assim reduzir as quebras de disponibilidade. Para além disso, pode ser o vetor da descarbonização de outros setores da economia, como os transportes, e alguma indústria. Contudo, a conjuntura atual das tecnologias associadas ao hidrogénio ainda é muito instável no que diz respeito, à investigação, à sua implementação e a vários fatores económicos à sua volta. No entanto, não deixa de ter um enorme potencial para ser uma solução.

5. Conclusão

Os impactos das AC serão diferentes para as várias regiões do Planeta. No caso de Portugal é por demais evidente que os principais impactos no clima serão as ondas de calor e as secas meteorológicas. Mantendo os atuais níveis de emissões de GEE, vários cenários apontam para ondas de calor cada vez mais intensas e prolongadas no tempo e uma redução da precipitação anual, com a possibilidade de ocorrência de secas meteorológicas mais severas e prolongadas.

As AC terão forte impacto em vários setores da economia e o setor da eletricidade será um deles, tanto na oferta como na procura. No que diz respeito à oferta, a geração hidroelétrica poderá sofrer os efeitos mais nefastos em consequência da escassez de água durante os períodos mais prolongados de seca meteorológica. No caso da procura, poderá sofrer um deslocamento de carga do inverno para o verão devido ao aumento das necessidades de climatização durante as ondas de calor no verão, e uma redução durante os invernos mais amenos.

O combate às AC requer um grande empenho de todos os setores da sociedade e economia numa estratégia comum, a descarbonização. Para que a descarbonização seja possível é necessário o desenvolvimento de um plano.

No caso de Portugal foi desenvolvido o RNC 2050 no qual se veio depois incluir o PNEC 2030. O PNEC 2030 é um plano onde se inicia a transição energética com o horizonte da neutralidade carbónica em 2050. Para atingir os objetivos foram definidos 3 setores a intervir na sua descarbonização gradual com recurso a FER, Eletricidade, Aquecimento e Arrefecimento, e Transportes. Estes são também os setores que atualmente mais contribuem para as emissões de GEE.

Dentro destes setores o setor da eletricidade apresenta uma maior relevância pois parte da estratégia de descarbonização dos outros dois setores assenta na sua eletrificação. Portanto o sucesso desta estratégia está em parte dependente da descarbonização do setor da eletricidade, mais concretamente do setor electroprodutor.

Da estratégia para o setor electroprodutor do PNEC 2030, temos o descomissionamento das centrais a carvão, e um grande aumento da capacidade instalada da geração renovável. Com principal foco no solar e na eólica.

O estudo de caso apresentado serviu para perceber as implicações do conjunto descarbonização e AC no setor electroprodutor. Durante esta análise observou-se que o fator meteorológico tem um forte impacto na produção de eletricidade através de FER, no caso da geração não renovável os fatores económicos com o custo do combustível e das emissões tem maior preponderância, no entanto, indiretamente o fator da meteorologia também tem impacto, pois quando não há disponibilidade das FER e necessário recorrer à geração térmica.

Para se poder fazer um estudo mais aprofundado, usou-se o ano de 2017 como referência dos impactos das AC na disponibilidade da geração renovável eólica, solar fotovoltaica e hidroelétrica. Foi depois

conjugada com os objetivos do PNEC 2030 na capacidade instalada das referidas FER e uma projeção de aumento da potência do pico de consumo linear, culminando num eventual cenário do ano 2030.

Os resultados indicam que num cenário de seca a disponibilidade da geração renovável fica longe de conseguir acompanhar a procura, como principal fator está a quebra enorme da disponibilidade de produção hidroelétrica, que assim não pode cumprir o papel de estabilização e complementarização à intermitência da disponibilidade da geração eólica e solar fotovoltaica. A exceção está no pico de produção solar fotovoltaico onde pode ocorrer um excedente de produção devido ao grande aumento da capacidade instalada.

Assim percebe-se que a descarbonização aliada aos impactos das AC pode causar problemas à estabilidade do SEN. Para que tal não aconteça é necessário implementar soluções e estratégias que não só garantam a estabilidade do SEN, mas também não ponham em causa os objetivos de descarbonização.

Das soluções e estratégias analisadas, o armazenamento de energia é o que mais se destaca, pois seja com baterias ou bombagem as implicações na descarbonização são diminutas e tem a vantagem de se obter um maior aproveitamento dos excedentes de produção e utilizar essa energia em situações de quebra de disponibilidade da geração renovável. A estratégia de aumento de eficiência energética também é promissora, pois a redução da procura tem um impacto positivo em situações de quebra de disponibilidade. Contudo estas soluções e estratégias podem não ser suficientes e assim, poderá ser necessário uma reserva térmica para as circunstâncias mais extremas. Essa reserva de geração térmica deve ter a menor intensidade carbónica possível, por isso a aposta deve recair nas centrais a gás de ciclo combinado. Das outras soluções fica uma menção ao Hidrogénio cuja produção pode recair no aproveitamento dos excedentes de produção renovável e assim permitir sobre dimensionar a capacidade instalada e contribuir também para a descarbonização de outros setores da economia.

Concluindo, apesar de estar patente no PNEC 2030 a necessidade da implementação destas soluções, nunca é demais reforçar a importância das mesmas para o sucesso da estratégia, principalmente em condições menos favoráveis.

Numa visão de futuro para a transição energética, é de realçar a crescente necessidade de acautelar os impactos das AC nas estratégias e planos a implementar no combate ao AG. Existe a possibilidade de entrar num círculo vicioso em que as estratégias e planos para reduzir as emissões de GEE são postos em causa pelos impactos das AC.

A resposta tardia à evidência científica das causas e consequências do AG, são o principal fator para este cenário muito pouco favorável. É urgente uma ação concertada na redução das emissões de GEE para evitar que no futuro, o preço a pagar para mitigar os impactos das AC não seja ainda maior.

6. Referências Bibliográficas

(APA, 2013), Agência Portuguesa do Ambiente. (2013). ESTRATÉGIA SETORIAL DE ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS RELACIONADOS COM OS RECURSOS HÍDRICOS.

https://apambiente.pt/zdata/Politic/AlteracoesClimaticas/Adaptacao/ENAAAC/RelatDetalhados/Relt_Sector_ENAAAC_Recurros_Hidricos.pdf

(APA, 2017), Agência Portuguesa do Ambiente. (2017). Relatório do Estado do Ambiente 2017.

<https://rea.apambiente.pt/>

(APA, 2020), Agência Portuguesa do Ambiente. (2020). O Clima Em Portugal.

<https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=118&sub3ref=393>

(Bailey, 2020), Bailey, S. (2020). A Strategy for Long Term Energy Storage to meet Net Zero Emissions Targets, The Future of Pumped Storage, the Ultimate Integrator.

<https://www.ice.org.uk/eventarchive/strategy-for-long-term-energy-storage-webinar>

(Burillo, 2018), Burillo, Daniel. (2018). Effects of Climate Change in Electric Power Infrastructures. 10.5772/intechopen.82146.

(Crader, 2015), Crader, L., [et al.] (2015). Climate change impacts on renewable electricity generation. **Infrastructure Asset Management**. doi: 10.1680/iasma.14.00034

(Cronin, 2018), Cronin, J., Anandarajah, G., Dessens, O. (2018). Climate change impacts on the energy system: a review of trends and gaps. **Climatic Change** 151. doi: 10.1007/s10584-018-2265-4

(DGEG, 2019), DGEG. (2019). Relatório de Monitorização da Segurança de Abastecimento do Sistema Elétrico Nacional 2020-2040 (RMSA-E 2019). <https://www.dgeg.gov.pt/media/exen4koz/i017284.pdf>

(ENTSO-E, 2017), ENTSO-E Transparency Platform. Dados 2017, <https://transparency.entsoe.eu/>

(EU, 2015), European Union. (2015). EU ETS Handbook. https://ec.europa.eu/clima/sites/default/files/docs/ets_handbook_en.pdf

(Garrido, 2020), Garrido, J., [et al.] (2020). Regional surface temperature simulations over the Iberian Peninsula: evaluation and climate projections. **Clim Dyn** 55. doi: 10.1007/s00382-020-05456-3

(IPCC, 2018), IPCC. (2018). Special Report, Global Warming of 1.5 °C. <https://www.ipcc.ch/sr15/>

(IPMA, 2017), Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (2017). Boletim Climatológico Portugal Continental 2017.

https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im_publicacoes/edicoes.online/20180315/GLoWcBXPqGauRNYDpUAC/cli_20171201_20171231_pcl_aa_co_pt.pdf

(IPMA, 2019), Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P. (2019). Resumo Climático 2019.

https://www.ipma.pt/resources.www/docs/im_publicacoes/edicoes.online/20200124/duxzjqIIdrBxNidAOAXo/cli_20191201_20191231_pcl_aa_co_pt.pdf

(Kasper, 2017), Kasper T. Møller, [et al.] (2017). Hydrogen - A sustainable energy carrier. **Progress in Natural Science: Materials International**, Volume 27, Issue 1: 34-40. doi: 10.1016/j.pnsc.2016.12.014

(Khan, 2013), Khan, I., [et al.] (2013). The effect of climate change on power generation in Australia, 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. **Procedia Engineering** 56 (2013) 656 – 660. doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.174

(Mideksa, 2010), Mideksa, T., Kallbekken, S. (2010). The impact of climate change on the electricity market: A review. **Energy Policy** 38, Issue 7, 2010, 3579-3585. doi: 10.1016/j.enpol.2010.02.035

(Moura, 2016), Moura, P., Almeida, A. (2016). Large Scale Integration of Wind Power Generation

(Neves, 2019), Neves, L. (2019). O Sistema Elétrico português em 2030: Uma análise das implicações da descarbonização. INESC Coimbra

(NOAA,2020), NOAA National Centers for Environmental Information. (2020). State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2019. <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>.

(Parkpoom, 2014), Parkpoom, S., [et al.] (2004). Climate change impacts on electricity demand. 3. 1342 - 1346 vol. 2. doi: 10.1109/UPEC.2004.192393.

(Pasicko, 2011) Pasicko, R., Brankovi, C., Simi, Z. (2011). Assessment of climate change impacts on energy generation from renewable sources in Croatia. **Renewable Energy** 46 (2012) 224-231. doi: 10.1016/j.renene.2012.03.029

(PNEC 2030, 2019) Ministério do Ambiente e Transição Energética. (2019). PNEC 2030 - Plano Nacional de Energia e Clima, documento para consulta pública. <https://participa.pt/contents/consultationdocument/imported/2585/670002.pdf>

(REN, 2013), REN. (2013). Dados Técnicos 2013. <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/REN%20Dados%20T%C3%A9cnicos%202013.pdf>

(REN, 2015), REN. (2015). Dados Técnicos 2015. <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/REN%20Dados%20T%C3%A9cnicos%202015.pdf>

(REN, 2017), REN. (2017). Dados Técnicos 2017. <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/REN%20Dados%20T%C3%A9cnicos%20-%202017.pdf>

(REN, 2019), REN. (2019). Dados Técnicos 2019. <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoTecnica/DadosTecnicos/Dados%20T%C3%A9cnicos%202019.pdf>

(REN, 2020), Centro de Informação da REN (2020). Dados 2013-2019, <https://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/Paginas/CIHomePage.aspx>

(RNC 2050, 2019), Ministério do Ambiente e Transição Energética. (2019). Roteiro para a Neutralidade Carbónica (RNC2050), Estratégia de longo prazo para a neutralidade carbónica da economia portuguesa em 2050. <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=117&sub3ref=301>

(Soares, 2015), Soares, P.M.M., [et al.]. (2015). Climate change and the Portuguese precipitation: ENSEMBLES regional climate models results. **Climate Dynamics**. 45. 1771-1787. doi: 10.1007/s00382-014-2432-x.

(Turton, 2005), Turton, H., Barreto, L. (2005). Long-term security of energy supply and climate change. **Energy Policy** 34 (2006) 2232–2250. doi: 10.1016/j.enpol.2005.03.016

(Vaz, 2010), Vaz, D. (2010). Alterações climáticas, riscos ambientais e problemas de saúde: breves Considerações. VI Seminário Latino Americano de Geografia Física, II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, Universidade de Coimbra

(Vliet, 2012), van Vliet, [et al.] (2012). Vulnerability of US and European Electricity Supply to Climate Change. **Nature Climate Change**. 2. 676-681. doi: 10.1038/nclimate1546