

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

Henrique Schmidt dos Reis Lacerda

SISTEMAS DE REGULAÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS:
UMA COMPARAÇÃO INTERNACIONAL

Rio de Janeiro

2019

Henrique Schmidt dos Reis Lacerda

SISTEMAS DE REGULAÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS:
UMA COMPARAÇÃO INTERNACIONAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia da Indústria e da Tecnologia.

Orientador: Professor Dr. Edmar Luiz Fagundes de Almeida

Coorientador: Professor Dr. Helder Queiroz Pinto Jr.

Rio de Janeiro

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

- L131 Lacerda, Henrique Schmidt dos Reis
Sistema de regulação do armazenamento de energia em baterias: uma comparação internacional / Henrique Schmidt dos Reis Lacerda. - 2019.
160 f.; 31 cm.
Orientador: Edmar Luiz Fagundes de Almeida.
Coorientador: Helder Queiroz Pinto Jr.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Faculdade de Administração e Ciências Contábeis, Programa de Pós-Graduação em Ciências Contábeis, 2019.
Bibliografia: f. 153 – 160.
1. Armazenamento de energia. 2. Energia - Regulação. 3. Transição energética. I. Almeida, Edmar Luiz Fagundes de, orient. II. Pinto Jr., Helder Queiroz, coorient. III. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Faculdade de Administração e Ciências Contábeis. IV. Título.

CDD 531.6

FOLHA DE APROVAÇÃO

Henrique Schmidt dos Reis Lacerda

**SISTEMAS DE REGULAÇÃO DO ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS:
UMA COMPARAÇÃO INTERNACIONAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia da Indústria e da Tecnologia.

Aprovado em 25 de outubro de 2019



Prof. Dr. Edmar Luiz Fagundes de Almeida (Orientador – UFRJ)



Prof. Dr. Helder Queiroz Pinto Jr. (Coorientador – UFRJ)



Prof.ª Dra. Clarice Campelo de Melo Ferraz (UFRJ)



Prof. Dr. Luciano Dias Losekann (UFF)

AGRADECIMENTO

Agradeço, inicialmente, à minha família, pelo apoio incondicional que sempre me deram durante toda a minha trajetória acadêmica. Alcançar o título de mestre sempre foi um dos meus objetivos e graças ao suporte de minha mãe e meu pai consegui chegar até aqui. Meus irmãos e companheiros de vida, que ao longo dos últimos anos, se fizeram presentes no convívio dentro do Instituto de Economia e no dia a dia dentro de casa.

À minha namorada Beatriz, companheira de todas as horas, fiel revisora e um dos meus principais suportes nos momentos difíceis e alegres desta jornada, passando pela graduação, pela ANPEC e agora pelo mestrado.

Aos meus orientadores prof. Edmar de Almeida e prof. Helder Queiroz pela sugestão do tema, pela confiança depositada em minha capacidade e pelo compartilhamento de conhecimentos que foram decisivos na elaboração desta dissertação.

Ao Grupo de Indústria e Competitividade (GIC) por incentivar a prática da pesquisa, por me desenvolver como pesquisador e pelo ambiente de trabalho alegre e cooperativo. Agradeço, em especial, os professores David Kupfer e Julia Torraca pela parceria nos projetos e pelo conhecimento que me foi passado ao longo dos quase dois anos de GIC.

Ao Grupo de Conjuntura por acreditar no meu trabalho e me proporcionar reflexões diárias em relação ao país e a importância do debate econômico na vida da sociedade brasileira. Agradeço, em especial, os professores Francisco Pires e Margarida Gutierrez que muito contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus companheiros de mestrado que garantiram momentos inesquecíveis no Instituto de Economia e que serão sempre lembrados como a melhor turma que o PPGE já teve.

Agradeço, ainda, à CAPES e, indiretamente, à sociedade brasileira, por acreditarem na Educação como um caminho para um país melhor e possibilitarem a realização da minha pós-graduação.

São tantas as pessoas que gostaria de agradecer que não haveria maneira de fazê-lo de forma completa, assim deixo meus mais sinceros agradecimentos a todos que fizeram parte de toda essa trajetória.

RESUMO

LACERDA, H. S. R. Sistemas de regulação do armazenamento de energia em baterias: uma comparação internacional. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019

Esta dissertação analisa os sistemas regulatórios existentes para a tecnologia de armazenamento de energia em baterias. Para isso, foi analisado o processo de transição energética atual e seus principais alicerces, como a introdução das fontes renováveis na estrutura de geração de eletricidade, a difusão de novas tecnologias voltadas para o setor elétrico e a relação entre o sistema de regulação e o processo inovativo. Nesse contexto, foram selecionados cinco países europeus (Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido), visando identificar suas semelhanças e diferenças em termos de estratégia de transição energética, arcabouço regulatório e oportunidades e barreiras à utilização de baterias no mercado de energia. A conclusão geral do trabalho é que, apesar dos sistemas de armazenamento de energia em baterias não possuírem uma regulação específica, é possível identificar um processo de alinhamento institucional e regulatório em curso nos cinco países estudados.

Palavras chave: Transição energética, Energia renovável, Armazenamento de energia, Baterias, Regulação, Comparação internacional

ABSTRACT

LACERDA, H. S. R. Sistemas de regulação do armazenamento de energia em baterias: uma comparação internacional. Rio de Janeiro, 2019. Dissertação (Mestrado em Ciência Econômicas) – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019

This dissertation aimed to analyze the existing regulatory systems for battery energy storage technology. To this end, the current energy transition process and its main foundations were analyzed, such as the introduction of renewable sources in the electricity generation structure, the diffusion of new technologies for the electricity sector and the relationship between the regulation system and the process of innovation. In this context, five European countries (Germany, Spain, France, Italy and the United Kingdom) were selected to identify their similarities and differences in terms of energy transition strategy, regulatory framework and opportunities and barriers to the use of batteries in the energy market. The overall conclusion of this paper is that although battery energy storage systems do not have specific regulation, it is possible to identify an ongoing institutional and regulatory alignment process in the five countries studied.

Keywords: Energy transition, Renewable energy, Energy storage, Batteries, Regulation, International comparison

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1 – Participação aproximada do consumo global de energia entre 1.000 a.C. e 2000 d.C.	18
Gráfico 1.2 – Geração de eletricidade por fontes renováveis no mundo entre 1990 e 2016.....	24
Gráfico 1.3 – Evolução global da geração de eletricidade via energia eólica entre 1990 e 2016.....	25
Gráfico 1.4 – Evolução global da geração de eletricidade via energia solar PV entre 1990 e 2016.....	27
Gráfico 1.5 – Participação das fontes renováveis no total de eletricidade limpa gerada em 2016.....	28
Gráfico 1.6 – Estágios do processo inovativo de tecnologias.....	31
Gráfico 1.7 – Emissões globais de dióxido de carbono por fonte energética entre 1990 e 2018.....	33
Gráfico 2.1 – Disposição dos <i>drivers</i> relacionados ao armazenamento de energia a capacidade elétrica e ao tempo de descarga.....	54
Gráfico 2.2 – Capacidade adicionada de sistemas de armazenamento de energia em baterias entre 2013 e 2018.....	55
Gráfico 2.3 – Capacidade instalada global de armazenamento eletroquímico entre 1996 e 2016.....	60
Gráfico 2.4 – Tempo de descarga e capacidade de potência (MW) das tecnologias de armazenamento de energia.....	64
Gráfico 2.5 – Curva de maturidade tecnológica dos sistemas de armazenamento de energia.....	65
Gráfico 3.1 – Produto interno bruto dos países da União Europeia em 2017.....	71
Gráfico 3.2 - Evolução da geração de energia elétrica na Alemanha entre 1990 e 2016.....	74
Gráfico 3.3 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na Alemanha em 2017.....	75
Gráfico 3.4 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na Alemanha entre 1990 e 2016.....	77
Gráfico 3.5 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na Alemanha em 2016.....	77

Gráfico 3.6 - Evolução da geração de energia elétrica na Espanha entre 1990 e 2016.....	86
Gráfico 3.7 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na Espanha em 2016.....	86
Gráfico 3.8 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na Espanha entre 1990 e 2016.....	88
Gráfico 3.9 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na Espanha em 2016.....	89
Gráfico 3.10 - Evolução da geração de energia elétrica na França entre 1990 e 2016.....	94
Gráfico 3.11 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na França em 2016.....	95
Gráfico 3.12 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na França entre 1990 e 2016.....	97
Gráfico 3.13 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na França em 2016.....	198
Gráfico 3.14 - Evolução da geração de energia elétrica na Itália entre 1990 e 2016.....	104
Gráfico 3.15 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na Itália em 2016.....	105
Gráfico 3.16 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na Itália entre 1990 e 2016.....	107
Gráfico 3.17 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na Itália em 2016.....	108
Gráfico 3.18 - Evolução da geração de energia elétrica no Reino Unido entre 1990 e 2016.....	114
Gráfico 3.19 – Participação das fontes energéticas na geração de eletricidade no Reino Unido em 2016.....	115
Gráfico 3.20 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade no Reino Unido em 1990 e 2016.....	117
Gráfico 3.21 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa no Reino Unido em 2016.....	118
Gráfico 4.1 – Evolução da participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica por país entre 1990 e 2016.....	130

Gráfico 4.2 – Participação das fontes renováveis na estrutura de produção de energia elétrica limpa em 2016.....	131
Gráfico 4.3 – Participação das fontes energéticas na estrutura de produção de energia elétrica em 2016.....	132
Gráfico 4.4 – Evolução da emissão de CO ₂ (Milhões de toneladas) entre 1990 e 2016.....	133
Gráfico 4.5 – Taxa de variação do volume de CO ₂ emitido entre períodos.....	134
Gráfico 4.6 – Evolução do consumo de eletricidade (MWh) per capita entre 1990 e 2016.....	135
Gráfico 4.7 – Taxa de variação do volume per capita de eletricidade consumida entre períodos.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Cronologia das principais eras de energia, clusters inovadores e ciclos financeiros entre os anos de 1775 e 1990.....	19
Figura 1.2 – Tipificação de temáticas das ciências sociais que lidam com o subtema “Transição energética”.....	20
Figura 1.3 – Fases do sistema de integração, desafios de transição e medidas para flexibilidade.....	30
Figura 1.4 – Principais marcos na Agenda Internacional da Sustentabilidade e do Clima.....	35
Figura 2.1 – Tipos de regulação e suas variações.....	40
Figura 2.2 – Classificação dos instrumentos de política.....	47
Figura 2.3 – Mercados, aplicações e <i>drivers</i> da tecnologia de armazenamento de energia.....	50
Figura 2.4 – Classificação dos sistemas de armazenamento de energia.....	56
Figura 2.5 – Barreiras à implantação dos sistemas de armazenamento de energia (SAES).....	66
Figura 4.1 – Estratégias de transição energética nacionais.....	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Principais metas e objetivos do Energiewende.....	76
--	----

Tabela 3.2 – Principais metas e objetivos do <i>Plan Nacional Integrado de Energía y Clima</i>	87
Tabela 3.3 – Principais metas e objetivos da <i>Stratégie Nationale Bas-Carbone</i> e da <i>Stratégie Française pour L'Énergie et Le Climat</i>	96
Tabela 3.4 – Principais metas e objetivos da <i>Strategia Energetica Nazionale</i>	106
Tabela 3.5 – Principais metas e objetivos do <i>The UK Low Carbon Transition Plan</i> e <i>The Clean Growth Strategy</i> para 2020, 2030 e 2050.....	116
Tabela 4.1 – Principais estratégias debatidas nos planos nacionais de transição energética.....	127
Tabela 4.2 – Órgãos reguladores dos países selecionados e área de abrangência da regulação.....	141
Tabela 4.3 – Instrumentos financeiros para estímulo as fontes de energia renovável.....	143
Tabela 4.4 – Principais oportunidades e barreiras a difusão dos sistemas de armazenamento de energia em baterias.....	145

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 1 – O PROCESSO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E A DIFUSÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NO SISTEMA ELÉTRICO	17
1.1 – O processo de transição energética.....	17
1.2 – O papel das fontes renováveis no processo de difusão da tecnologia de armazenamento de energia.....	23
CAPÍTULO 2 – A RELAÇÃO DOS SISTEMA DE REGULAÇÃO E DAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	38
2.1 – A relação entre o processo inovativo e o sistema regulatório.....	38
2.1.1 – Inovações disruptivas e a demanda por energia	42
2.1.2 - Inovações disruptivas e oferta de energia	43
2.1.3 – O processo de inovação e o sistema regulatório no setor energético	44
2.2 – A tecnologia de armazenamento de energia elétrica: a evolução das baterias ..	49
CAPÍTULO 3 – POLÍTICAS E QUADRO LEGAL PARA O ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA	70
3.1 – Metodologia.....	70
3.1.1 – Seleção de países.....	70
3.1.2 – Seleção dos documentos e legislações	71
3.1.3 – Estrutura para comparação dos modelos	72
3.2 – Alemanha.....	73
3.2.1 – Processo de transição energética	73
3.2.2 – Arcabouço regulatório.....	78
3.2.3 – Oportunidades e barreiras.....	81
3.3 – Espanha.....	84
3.3.1 – Processo de transição energética	85
3.3.2 – Arcabouço regulatório.....	90
3.3.3 – Oportunidades e barreiras.....	92
3.4 – França.....	93
3.4.1 – Processo de transição energética	93
3.4.2 – Arcabouço regulatório.....	98
3.4.3 - Oportunidades e barreiras	101
3.5 - Itália.....	102
3.5.1 - Processo de transição energética.....	103

3.5.2 - Arcabouço regulatório	109
3.5.3 - Oportunidades e barreiras	111
3.6 - Reino Unido.....	113
3.6.1 - Processo de transição energética.....	113
3.6.2 - Arcabouço regulatório	119
3.6.3 - Oportunidades e barreiras	122
CAPÍTULO 4 – COMPARAÇÃO DE POLÍTICAS, DO QUADRO LEGAL E DAS OPORTUNIDADES E BARREIRAS.....	126
4.1 - Comparação dos processos de transição energética	126
4.2 - Comparação do arcabouço regulatório	136
4.3 - Comparação das oportunidades e barreiras	144
CONCLUSÃO.....	148
BIBLIOGRAFIA	151

INTRODUÇÃO

O debate realizado em torno da transição energética e das fontes renováveis já foi estabelecido, em outros momentos, para discutir a eficiência dos combustíveis fósseis. Como coloca Smill (2004), *“Os combustíveis fósseis e a eletricidade ajudaram a criar o mundo moderno, aumentando a produtividade agrícola e, portanto, reduzindo drasticamente as populações agrícolas, mecanizando a produção industrial e permitindo que a força de trabalho se movesse para o setor de serviços, tornando realidade as megacidades e as conurbações, globalizando o comércio e a cultura, e impondo muitas uniformidades estruturais ao mundo diverso”*.

O atual movimento de transição energética ganhou força e notoriedade, segundo Araújo (2014), nos anos 1980 e 1990, com o surgimento do debate relacionado à sustentabilidade e ao clima. Cabe notar que a delimitação da literatura realizada por Tavares (2019) insere a transição energética como a interseção de duas outras linhas de pesquisa: sustentabilidade / mudanças climáticas e transformações sócio-técnicas.

Assim, o processo de transformação do setor energético apresenta características não lineares, não determinísticas e de elevada incerteza, como indica Sovacool e Geels (2016). Diferentemente das transições já ocorridas, o desafio colocado para todos os produtores e consumidores de energia concerne a necessidade de substituir as fontes tradicionais por fontes renováveis que, atualmente, ainda são menos eficientes e mais caras.

Desse modo, o processo de transição energética, segundo Grunewald et al (2011), requer mudanças na forma como se gera, se distribui e se utiliza a energia elétrica. Hoje, a sociedade entende que os padrões de consumo de eletricidade e a forma como se gera energia precisa mudar. Sovacool (2014) critica o debate pautado apenas em questões técnicas e econômicas pelo lado da oferta, pois enxerga que a forma como os agentes demandam energia também deve ser discutido no âmbito da transição energética.

No caso particular da eletricidade, um dos principais pilares das transformações do setor elétrico são as fontes de geração renováveis que, segundo WEC (2004), são fontes que não se esgotam com o passar do tempo, podendo ser renovadas no curto prazo, sem criar ônus para as gerações futuras. Nesse contexto, a atual transição energética visa aumentar a presença das energias renováveis no sistema elétrico, reduzindo a emissão de poluentes oriundos das fontes tradicionais de produção de energia.

Segundo a IEA (2018), apesar da evolução tecnológica dos últimos anos, as fontes renováveis ainda enfrentam desafios no setor elétrico. A presença de fontes alternativas na estrutura de geração de energia elétrica impõe alguns desafios à rede. A intermitência, a previsibilidade parcial e as restrições de localização da planta geradora são fatores que dificultam a difusão das fontes renováveis no sistema elétrico.

É a partir do debate sobre as dificuldades técnicas geradas pelas fontes alternativas na produção e gestão da eletricidade que Ibrahim et al (2008) discutem os sistemas de armazenamento de energia. Segundo os autores, a inserção de unidades que armazenam a eletricidade na rede elétrica permite que os operadores do sistema gerenciem a intermitência e a não previsibilidade da geração das fontes renováveis. IRENA (2015) debate as vantagens técnicas e de performance dos sistemas de armazenamento de energia em baterias. Já AECOM (2015) analisa os possíveis mercados que as unidades podem ser utilizadas, as principais aplicações e os *drivers* para o desenvolvimento da tecnologia.

No entanto, o desenvolvimento técnico das unidades de armazenamento elétrico e a utilização das baterias no mercado de energia precisam ser integrados ao arcabouço regulatório do setor elétrico. A regulação, então, serve como plataforma para o processo de difusão dos sistemas de armazenamento de energia em baterias.

Entre o final da década de 1970 e início dos anos 1980, o papel do Estado na economia começou a ser questionado. Segundo Borges (2004), o Estado deixou de ser o responsável direto pelo desenvolvimento da infraestrutura e passou a exercer a função de promotor e regulador desse desenvolvimento. Majone (1994) analisa como o processo de privatização e desregulamentação, nas últimas décadas do século XX, criaram condições para o crescimento de um Estado regulador na Europa. O autor também ressalta que, já na década de 1990, a regulação administrativa, econômica e social por meio de agências independentes tinha se tornado a nova fronteira de políticas e administração pública nos países industrializados.

É nesse contexto que o presente trabalho busca investigar a seguinte questão central: de que modo o desenvolvimento da tecnologia de armazenamento de energia em baterias pode ser influenciado, de forma favorável ou não, pelos instrumentos de regulação da indústria de eletricidade?

Nesta perspectiva de análise, vale sublinhar que Blind (2012) discute a relação entre o arcabouço regulatório e o processo inovativo. Segundo o autor, recentemente, a regulação

passou a ser vista como um importante instrumento para políticas de incentivo à inovação. Além disso, o estudo analisa que a relação entre o arcabouço regulatório e o processo inovativo depende de diversas características, como: o setor econômico, o tamanho da firma e o grau de flexibilidade da empresa.

No sentido inverso, Hoppe et al (2018) discutem o impacto das inovações disruptivas do setor elétrico no sistema de regulação europeu. O estudo analisa como inovações, tanto pelo lado da demanda, quanto pelo lado da oferta de energia, podem impactar o sistema regulatório, como o exemplo as *guarantees of origin* (GOs), debatido por Huffen (2016), e a penetração de novas fontes de energia renováveis no mercado de energia europeu, discutido por Scholten e Kunneke (2016).

Hoppe et al (2018) também discutem como a regulação pode, de forma efetiva, cumprir seu papel em relação à inovação no mercado de energia na Europa. Para isso, analisam os conceitos de alinhamento regulatório e inovação regulatória. Além disso, os autores debatem os instrumentos e regras de políticas, o problema dos múltiplos níveis de governança e a complexa relação entre os múltiplos agentes envolvidos no processo regulatório.

Nesse sentido, a presente dissertação visa contribuir para a discussão sobre a relação entre a estrutura regulatória e o desenvolvimento dos sistemas de armazenamento de energia em baterias. Para tal, será feita uma comparação internacional entre cinco países europeus: Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido. Os países citados acima foram selecionados por serem membros da comunidade europeia e por possuírem características homogêneas se tratando de produção e gestão do sistema elétrico. A ideia é identificar como as autoridades em cada um dos países têm se movimentado para os novos desafios do setor.

A dissertação está dividida em quatro capítulos, além desta introdução e da conclusão. O primeiro capítulo contém uma revisão teórica da transição energética e o papel das fontes renováveis no processo de transformação do setor elétrico. Serão discutidas as razões para o surgimento do processo de transição energética e como essas estão alinhadas às preocupações ambientais, à segurança energética e à inserção das fontes renováveis na estrutura de geração de eletricidade.

O segundo capítulo examina, a relação entre o sistema regulatório e o processo inovativo; além disso, faz uma revisão da literatura sobre os sistemas de armazenamento de energia. Este capítulo também discutirá, em maior detalhe, as possíveis aplicações dos sistemas

de armazenamento de energia em baterias no setor elétrico e como as novas tecnologias podem ser utilizadas na rede.

O terceiro capítulo apresenta as estratégias de transição energética, o arcabouço regulatório e as oportunidades e barreiras à difusão das baterias no setor elétrico de cada um dos países selecionados. O objetivo deste capítulo é preparar o leitor para a comparação realizada no capítulo 4.

O quarto capítulo realiza a comparação entre os países selecionados, em termos do processo de transição energética, do quadro regulatório, e, por fim, em relação às oportunidades e barreiras. Com relação aos planos nacionais de energia em geral e aos programas visando, em particular, incentivar o uso de soluções de armazenamento de energia, identificou-se diferenças, devido aos desafios específicos, mas também justificativas comuns às estratégias e trajetórias de evolução do setor elétrico nos últimos anos.

A partir do quadro comparativo de análise, foi possível estabelecer uma visão geral das particularidades de cada país nas estratégias de incentivo à transição energética e à estruturação do arcabouço regulatório. Também se constatou que os países convergem para uma política energética semelhante, com instrumentos e metas parecidas, o que indica um processo de convergência na elaboração dos planos nacionais e estruturas regulatórias. Por fim, será apresentada a conclusão do trabalho.

CAPÍTULO 1 – O PROCESSO DE TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E A DIFUSÃO DAS FONTES RENOVÁVEIS NO SISTEMA ELÉTRICO

Nas últimas décadas, o mundo iniciou um processo de transição energética. A introdução de fontes de energia renováveis mudou as perspectivas dos agentes em relação ao futuro do setor de energia e inseriu no debate novas questões e desafios para os agentes econômicos envolvidos.

O processo de transição energética que substitui as fontes de energia tradicionais pelas fontes renováveis requer mudanças na forma como a sociedade e os agentes econômicos se relacionam com a energia. De acordo com Grunewald et al (2011), a transição depende do desenvolvimento em larga escala de tecnologias de baixo carbono, fontes renováveis e de novas tecnologias, como o armazenamento de energia. Este capítulo debaterá o processo de transição energética em curso, o papel e os desafios relacionados às fontes de energias renováveis, a importância do armazenamento de energia elétrica e a relação existente entre o sistema regulatório e as inovações.

O capítulo está dividido em duas seções que buscam analisar o debate referente à transição energética e como as fontes renováveis se destacam neste processo de transformação da indústria de energia.

Na primeira seção serão examinados os principais aspectos do processo de transição energética, a partir da análise da literatura especializada em mudanças do padrão do uso das fontes de energia ao longo da história e como o debate relacionado às mudanças climáticas e impactos ambientais influenciaram o surgimento da discussão em torno da transição energética.

A segunda seção se propõe a debater o papel das fontes renováveis no processo de transformação do setor elétrico e como a introdução dessas fontes pode impactar o sistema elétrico como um todo.

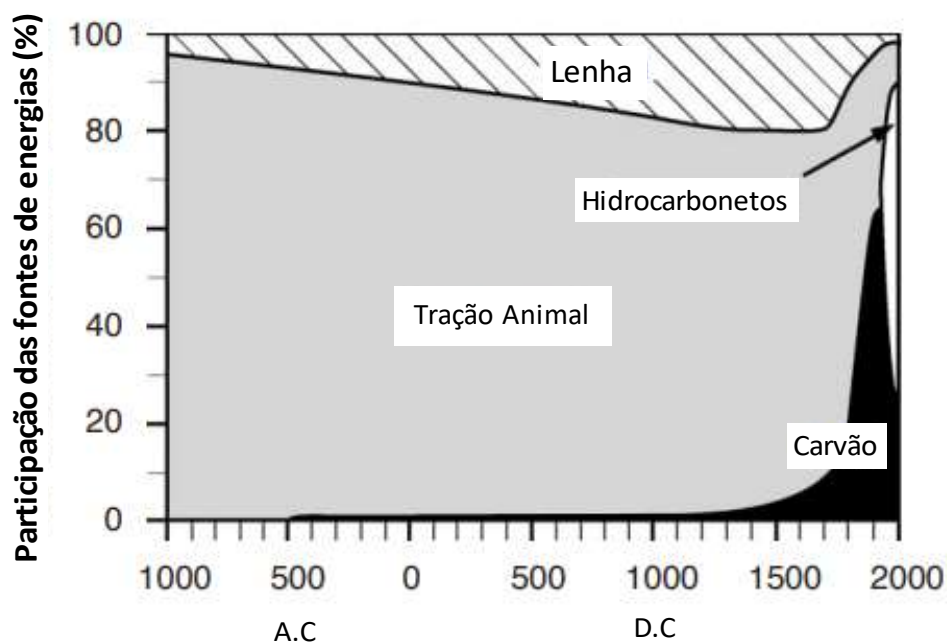
1.1 – O processo de transição energética

Nas últimas décadas, o termo “transição energética” se popularizou no debate em torno do processo de transformação da estrutura de produção de energia. Segundo Tavares (2019), o termo “transição energética” ganhou notoriedade a partir dos anos 1970, após o primeiro choque e crise do petróleo. Entretanto, a sociedade já enfrentou outros processos de “transição energética” ao longo da história.

Kander et al (2013) discutem como a história da energia na Europa se desenvolveu nos últimos cinco séculos. Os autores organizaram a trajetória europeia de acordo com as revoluções industriais e como as inovações tecnológicas no setor energético produziram transformações socioeconômicas no continente.

Smil (2004) organiza a evolução da espécie humana de acordo com a estrutura energética existente em cada período e ressalta a importância dos processos de transição energética ao longo da história. Segundo o autor, as evoluções na produção de energia introduziram ao longo do tempo mecanismos mais poderosos, flexíveis e eficientes de conversão de energia. O estudo discute a velocidade com que os padrões energéticos se modificam e observa um encurtamento nos ciclos e transições da maneira como a sociedade utiliza a energia. O Gráfico 1.1, retirado de Smil (2004), mostra a participação das fontes energéticas no consumo global nos últimos três mil anos.

Gráfico 1.1 – Participação aproximada do consumo global de energia entre 1.000 a.C. e 2000 d.C.



Fonte: Traduzido de Smil (2004)

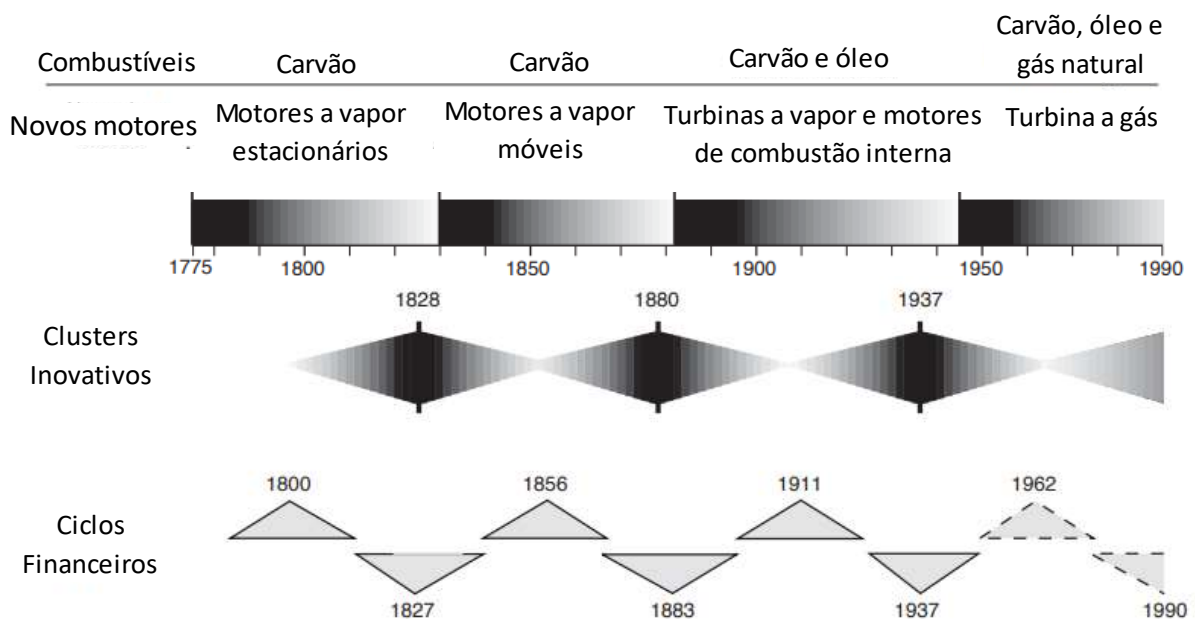
Smil (2004) também debate a relação entre o processo de transição, as inovações e o desenvolvimento econômico. Segundo o autor, como as novas fontes de energia e o processo de inovação demandam investimentos substanciais, é possível correlacionar as transições energéticas aos ciclos financeiros da economia.

Smill (2004) também documentou três grandes movimentos nos últimos quatro séculos. O primeiro se deu entre 1787 e 1814, com a crescente extração de carvão e a introdução de motores a vapor estacionários. O segundo ocorreu entre 1843 e 1869 e foi estimulado pela utilização de ferrovias, navios a vapor e metalurgia. O terceiro movimento se deu entre 1898 e 1924, sendo estimulado pelo aumento da geração de eletricidade e pela substituição de máquinas a vapor por motores elétricos.

O autor considera que o processo de transição energética é positivamente correlacionado com ondas de inovação no setor. Além disso, o processo inovativo geralmente é desencadeado por crises econômicas. O primeiro cluster de inovação datado de 1828 deu origem aos motores a vapor móveis. O segundo ocorreu em 1880 e foi associado à introdução do processo de geração de eletricidade e motores de combustão interna. Já o terceiro cluster se deu em 1937 e incluiu turbinas a gás, luzes fluorescentes e a energia nuclear.

Recentemente, após o choque do petróleo em 1973, ocorreu mais uma onda de substituição, trocando os hidrocarbonetos por carvão. A Figura 1.1, retirada de Smil (2004), mostra a relação entre as transições energéticas, os *clusters* inovativos e os ciclos financeiros.

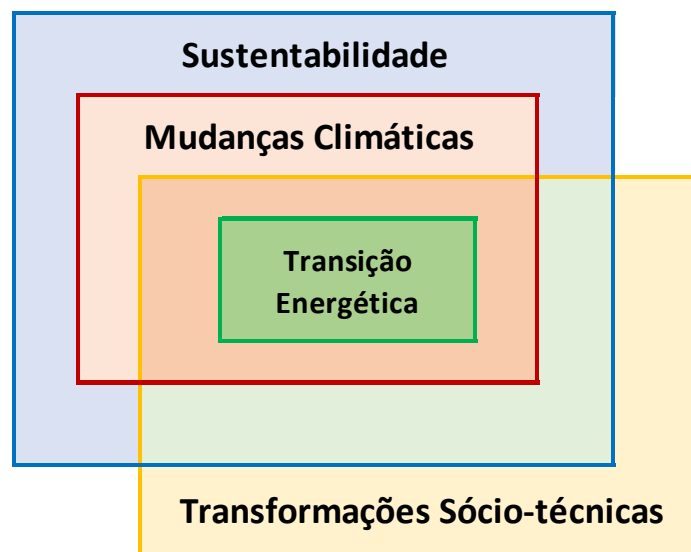
Figura 1.1 - Cronologia das principais eras de energia, clusters inovadores e ciclos financeiros entre os anos de 1775 e 1990



Fonte: Traduzido de Smil (2004)

Tavares (2019) analisa como a pesquisa em torno do processo de transição energética se organiza. Segundo o autor, é possível dividir a literatura em dois grandes grupos: sustentabilidade / mudanças climáticas e transformações sociotécnicas. O debate sobre a transição energética fica na interseção das duas literaturas citadas. A Figura 1.2 apresenta a tipificação para os conjuntos temáticos citados acima.

Figura 1.2 – Tipificação de temáticas das ciências sociais que lidam com o subtema “Transição energética”



Fonte: Tavares (2019)

Segundo o autor, a linha de pesquisa voltada para sustentabilidade discute as questões ambientais e os impactos que as mudanças climáticas podem ocasionar na sociedade e na economia mundial. A literatura relacionada à economia ambiental começou a ser desenvolvida nas décadas de 1980 e 1990.

O relatório Stern (2007) foi encomendado pelo governo britânico e ganhou importância pela mensuração dos custos econômicos necessários para se evitar os efeitos das mudanças climáticas. O estudo propôs que o aquecimento do planeta fosse combatido como uma emergência global e estimou perdas de 5% do produto interno bruto mundial, caso nada seja feito. Segundo o relatório, o custo para estabilizar as mudanças climáticas é significativo, mas ainda administrável. Entretanto, a falta de planejamento imediato para combater o aquecimento global pode ser perigoso e muito mais custoso para os países.

A outra linha de pesquisa que debate o processo de transição energética é a de transformações sociotécnicas. Segundo Tavares (2019), a literatura discute a relação entre os avanços tecnológicos e as estruturas políticas, sociais e institucionais. Sovacool e Geels (2016) debatem em seu trabalho como o processo de transição energética envolve transformações em três dimensões.

- **Elementos tangíveis da indústria de energia:** tecnologia, infraestrutura, mercado, equipamentos de produção, padrões de consumo e redes de distribuição.
- **Agentes econômicos e conduta:** novas estratégias de mercado, novos modelos de investimento e mudança no comportamento dos agentes (capacidades e organização).
- **Regime Sóciotécnico:** aumento do arcabouço regulatório, das políticas públicas e instituições, além da mudança da maneira que os agentes enxergam o sistema (discurso, crenças e práticas).

A transição energética estará sujeita à velocidade das mudanças citadas acima e como os agentes econômicos irão se comportar frente a tamanha reorganização do sistema. Sovacool e Hess (2017) discutem quais as teorias e conceitos são mais úteis para explicar as mudanças sociotécnicas. Os autores definem categorias onde as teorias podem ser alocadas.

- **Agência:** Estratégias utilizadas por indivíduos, organizações e grupos. É a unidade principal de análise e discussão das transformações.
- **Estrutura:** Ambiente social, urbano, de infraestrutura ou político. Pode ser analisado como uma estrutura institucional ou como a relação entre sistemas tecnológicos e o ambiente natural de convivência.
- **Significado:** Concentra-se na linguagem, simbolismo, narrativas, visões retóricas e em como as tecnologias podem construir e moldar algum significado para seres humanos.
- **Relações:** Enfatizam as relações as interações sociais, mas também destacam as redes de estrutura e significado social de que os agentes fazem parte.
- **Normas:** Debate se as inovações tecnológicas têm impacto positivo ou negativo na sociedade e nos indivíduos. Baseiam-se em critérios de avaliação estabelecidos como ética, estudos morais, justiça social ou política ecológica.

Na interseção entre a literatura voltada para a sustentabilidade e para as transformações sociotécnicas encontra-se o programa destinado a discutir o processo de transição energética. Tavares (2019) discute o amplo conjunto de publicações voltadas para o debate da transição

atual. As discussões passam pela difusão das energias renováveis no setor elétrico, até questões comportamentais da forma como a sociedade se relaciona com as transformações e a necessidade de ganhos de eficiência no uso da energia elétrica. Segundo o autor, o volume de livros e relatórios de organizações públicas e privadas que tratam do tema, também aumentou nas últimas décadas. A discussão muitas vezes é voltada para a ciência do clima e debate os desafios atuais e futuros que a sociedade deve enfrentar.

Sovacool (2014) critica a discussão focada apenas pelo lado da oferta de energia. Segundo o autor, é necessário integrar as pesquisas aplicadas às ciências sociais. O debate relacionado ao processo de transição energética não pode ficar restrito a oferta de energia, mas também deve debater a demanda. O estudo mostra que um relatório publicado em 2011 pelo departamento de energia dos Estados Unidos analisou que a oferta e a demanda de energia são igualmente afetadas pela escolha individual, preferências, comportamento dos agentes e performance técnica.

Araújo (2014) discute o crescimento da literatura voltada para o processo de transição energética nas últimas décadas. A autora analisa a popularização da expressão “transição energética”, ocorrida na década de 1970, mas ressalta que o tema ganhou maior evidência com o surgimento do debate em relação à sustentabilidade e clima. O estudo mostra como o tema se difundiu em diversas áreas de estudo, como controle de emissões, inovação, tecnologia, energias renováveis, entre outros.

As fontes de energias renováveis se tornaram um dos pilares do processo de transição energética atual. Publicações e relatórios de diversas instituições se propuseram a debater e identificar como o desenvolvimento de determinadas fontes poderia ser afetado pelas novas tecnologias nascentes.

O *Oxford Institute for Energy Studies* (2018) identificou que o processo de transição energética provocará mudanças estruturais no setor energético e argumentou que as principais transformações ocorrerão entre um modelo tradicional já pré-estabelecido e um novo paradigma organizacional e tecnológico. Dessa maneira, a identificação das transformações nos padrões de demanda de energia cumpre um papel central.

Recentemente, o relatório elaborado pela British Petroleum (2018) enfatizou a rápida transição das fontes tradicionais para fontes renováveis. As fontes de energia renovável apresentam as maiores taxas de crescimento entre as demais fontes energéticas e espera-se que,

no ano de 2040, sejam responsáveis por 14% da energia ofertada no mundo. A expectativa em relação à energia eólica e solar pode superar as previsões, devido ao crescimento que ambas as fontes apresentaram nos últimos anos.

Assim, o crescimento da participação das fontes renováveis no mix energético global é uma consequência do planejamento em torno da sustentabilidade, do desenvolvimento tecnológico e da preocupação com os efeitos das emissões de poluentes no clima e na saúde em geral. Apesar de se apresentar como uma solução para importantes questões do setor energético, as fontes renováveis trazem novos desafios à indústria de energia. A partir desse debate, a seção seguinte analisará e discutirá o papel das fontes renováveis na estrutura de geração de eletricidade.

1.2 – O papel das fontes renováveis no processo de difusão da tecnologia de armazenamento de energia

A economia global passou por um processo de eletrificação nas últimas décadas, exigindo das indústrias de energia um aumento da oferta de eletricidade.

No início do século XXI, o estudo da *World Energy Council* (2002) apontava que os combustíveis fósseis se manteriam por décadas como a principal fonte de energia do planeta, mas que a necessidade de fontes energéticas mais sustentáveis levaria a energia renovável para uma rota de crescimento exponencial e duradouro. A mesma instituição traduziu no ano 2000 os desafios que as fontes renováveis teriam no mercado de energia mundial em três pilares no:

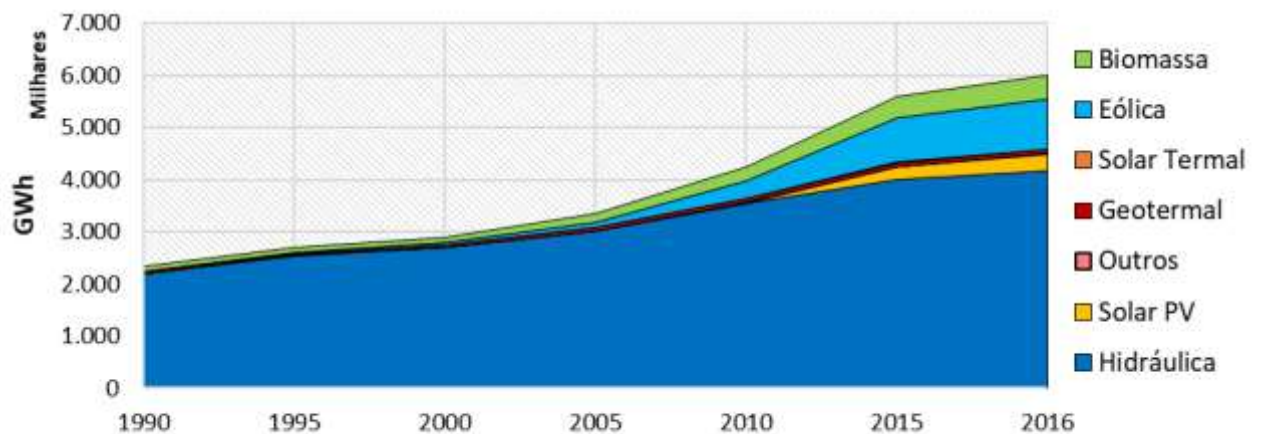
1. **Acessibilidade:** requer o fornecimento de serviços de energia confiáveis e acessíveis para toda a sociedade.
2. **Disponibilidade:** aborda a qualidade e confiabilidade do serviço, enfatizando sua sustentabilidade no longo prazo e como as autoridades mesclam as fontes renováveis.
3. **Aceitabilidade:** analisa as metas ambientais e a opinião pública sobre as fontes renováveis de energia.

Os desafios a serem enfrentados, segundo o estudo, serão a diversificação da oferta energética, a redução das emissões (poluição) e os processos sustentáveis para obtenção de energia no longo prazo. O relatório do WEC (2004) debate o grande potencial que as fontes renováveis possuem, teoricamente, em garantir uma oferta ilimitada de energia limpa e em sua grande parte gerada localmente. O relatório também discute os tipos de fontes renováveis que

as indústrias de energia enxergam como economicamente viáveis. Essas fontes podem ser divididas de acordo com suas origens: natural (eólica, geotermal, solar, hidráulica etc.) e resultante da atividade humana (biomassa).

O Gráfico 1.2 apresenta a geração de eletricidade, por fonte renovável, nas últimas três décadas no planeta. A produção de energia elétrica via hidroelétricas continua sendo a principal fonte renovável utilizada no mundo, mas é possível identificar o crescimento de outras fontes como eólica, solar e biomassa na última década.

Gráfico 1.2 – Geração de eletricidade por fontes renováveis no mundo entre 1990 e 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

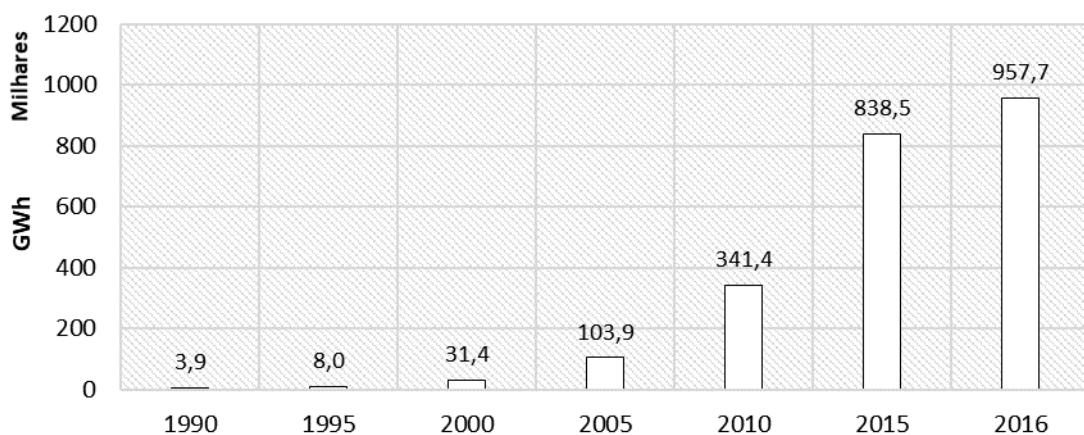
A publicação pontua que, por definição, a energia renovável deveria prover uma contínua e ilimitada oferta de energia. Contudo, existem dificuldades técnicas que ainda precisam ser solucionadas, como a intermitência na geração. Abaixo, segue um resumo das principais fontes primárias de energia renováveis disponíveis, com foco nas fontes eólica e solar, que são as duas tecnologias que mais se desenvolveram nos últimos anos.

- **Biomassa:** Os recursos de biomassa adequados para a produção de energia variam desde a madeira natural até as culturas agrícolas e florestais cultivadas para fins de produção de energia. Pode-se incluir resíduos de processamento de madeira, resíduos sólidos urbanos e esgotos. Com isso, pode-se dividir a biomassa em quatro categorias: madeira / resíduos agrícolas, estrume animal, resíduos sólidos industriais e aterro de biogás.

Eólica: O vento é uma fonte de energia distribuída ao redor do planeta, mas que apresenta variações de acordo com a região. Uma característica da energia eólica é a

variação sazonal, em que o potencial de geração de energia pode ser significativamente maior ou menor do que a média anual da velocidade do vento indicaria nas projeções. Não se deve analisar apenas a velocidade, mas também outros fatores como a distribuição de frequência dos ventos. Essas características são essenciais para estimar a quantidade de energia que as turbinas eólicas podem produzir, em média, em determinada região. Variações diárias na velocidade dos ventos também são importantes para programar que as fontes tradicionais de energia possam suprir a queda na produção das turbinas eólicas. Para melhorar a integração da energia eólica, os sistemas elétricos se tornaram mais flexíveis para acomodar a intermitência dos ventos com a necessidade de geração de eletricidade. De acordo com o relatório da *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* (2019), a queda dos custos por kWh nos últimos anos e os incentivos públicos ao uso da tecnologia permitiram que a energia eólica se tornasse uma alternativa de geração de energia elétrica limpa. O Gráfico 1.3 mostra a evolução da geração de eletricidade através da energia eólica. A tecnologia que utiliza os ventos para produção de energia elétrica se tornou uma das principais fontes renováveis de energia no mundo nas últimas décadas. É possível identificar que a geração de eletricidade via energia eólica cresceu em todos os períodos analisados, mas foi a partir da segunda metade dos anos 2000 que a tecnologia se firmou como uma importante fonte de eletricidade.

Gráfico 1.3 – Evolução global da geração de eletricidade via energia eólica entre 1990 e 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

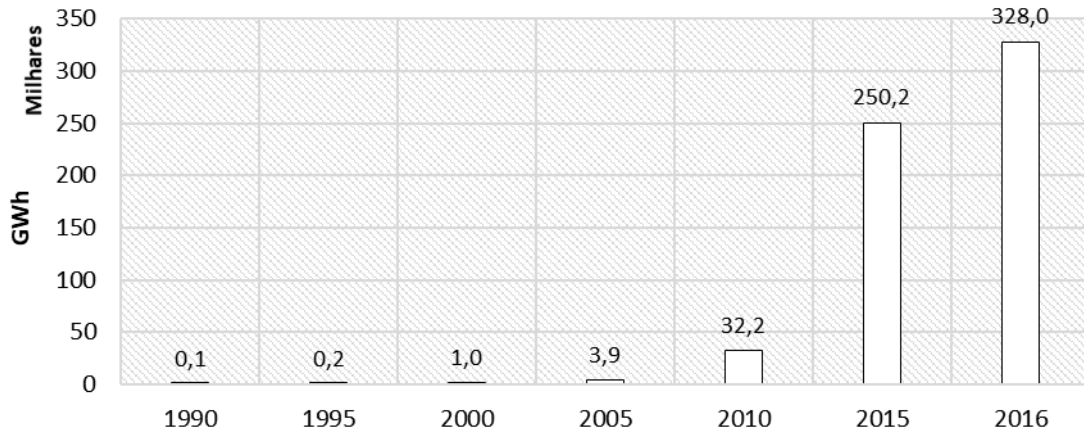
- **Geotérmica:** A energia geotermal utiliza o calor gerado pelo interior da terra. É considerada uma fonte de energia renovável, pois o calor é continuamente produzido.

O uso dessa fonte energética é concentrado em regiões associadas às placas tectônicas na crosta terrestre. A utilização da energia geotermal depende de um sistema de extração de calor. O potencial das fontes geotermiais depende de estudos que possam confirmar a localização de reservatórios. Esses sítios exploratórios também devem ser economicamente viáveis de acordo com a temperatura, o volume e a acessibilidade. As fontes geotermiais são conhecidas como estáveis e garantem uma ininterrupta produção de calor e energia.

Solar: A radiação solar, assim como o vento, está disponível em todas as localidades da terra. A energia total disponível na superfície terrestre em forma de radiação solar é 15.000 vezes maior do que toda a energia consumida pelo planeta atualmente. Características como a baixa densidade, as variações geográficas e de tempo impõem desafios à eficiência da energia solar. Assim como as demais fontes renováveis, o investimento em energia solar depende de uma gama de estudos técnicos que comprovem o real potencial de determinada área. Algumas características desejáveis são: a forte radiação solar (céu aberto e temporada prolongada de exposição ao sol), infraestrutura energética e análise do terreno para instalação dos painéis solares. Nas últimas décadas, a indústria desenvolveu variadas opções de tecnologias para conversão da radiação solar em energia elétrica e em aquecimento.

Segundo o relatório da *International Renewable Energy Agency* (2017), a tecnologia que mais avançou nos últimos anos é a de painéis fotovoltaicos (PV), que realizam uma conversão direta da luz do sol em eletricidade. A constante redução dos custos dos painéis, o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para captação da luz solar e os significativos incentivos públicos permitiram que a energia solar competisse com as outras fontes convencionais e renováveis. O Gráfico 1.4 mostra a evolução da geração de eletricidade via energia solar no mundo. É possível identificar uma trajetória de crescimento desde a década de 1990, mas foi a partir da segunda metade dos anos 2000 que a tecnologia se firmou como uma das principais fontes de produção de energia elétrica limpa.

Gráfico 1.4 – Evolução global da geração de eletricidade via energia solar PV entre 1990 e 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

- **Hidráulica:** As centrais hidroelétricas são as maiores fontes de energia renovável utilizadas no mundo. Aproximadamente 20% de toda a energia gerada no planeta é oriunda de centrais hidroelétricas instaladas no curso de rios. A produção, geralmente, está associada à construção de barragens (grandes, médias e pequenas) que criam reservatórios na parte alta do rio e geram energia através da passagem do volume de água pelas turbinas.

Questões ambientais têm sido levantadas em relação às áreas inundadas pelos grandes reservatórios. Por isso, as novas plantas possuem estruturas menos agressivas ao meio ambiente, muitas vezes utilizando o curso natural do rio para gerar energia. Esse modelo reduz os impactos ambientais, mas aumenta a dependência da produção de energia ao regime de chuvas.

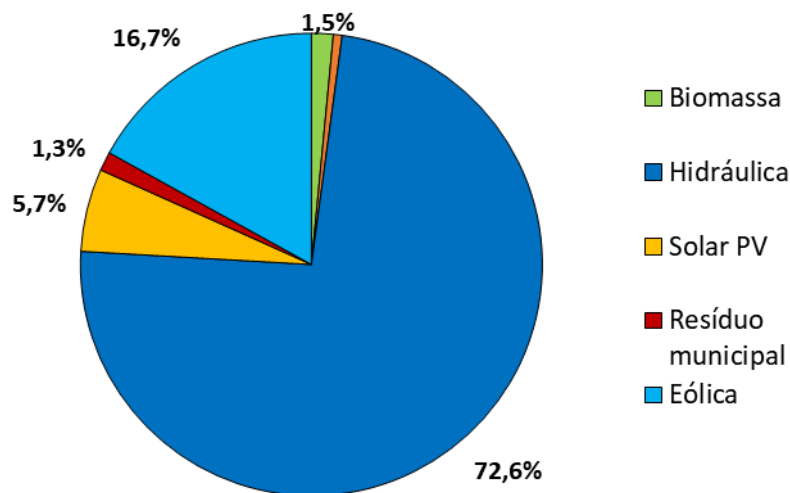
Apesar da evolução tecnológica dos últimos anos, as fontes de energia renováveis ainda enfrentam grandes desafios dentro do setor elétrico. De acordo com a *International Energy Agency* (2018a), diversos países observaram uma desaceleração na implantação de Energias Renováveis Variáveis (VRE¹).

O Gráfico 1.5 mostra a participação de cada fonte energética na geração total de eletricidade limpa no mundo em 2016. A energia hidráulica continua sendo a principal fonte

¹ Variable Renewable Energy (VRE) é uma fonte de energia renovável que não pode ser despachada devido a sua natureza intermitente, como energia eólica e energia solar. Também existem as fontes de energia renovável controlável, como hidroeletricidade represada ou biomassa.

renovável, com 72,6% da produção de energia elétrica, seguida pela energia eólica (16,7%). Em terceiro lugar fica a energia solar, que atualmente representa 5,7%.

Gráfico 1.5 – Participação das fontes renováveis no total de eletricidade limpa gerada em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

As tecnologias de geração de eletricidade eólica e solar são tecnicamente diferentes das fontes convencionais de geração de energia elétrica. A produção depende da quantidade de vento e de luz do sol disponíveis, o que torna sua geração variável e apenas parcialmente previsível.

A inserção de tecnologias como o armazenamento de energia pode permitir que os sistemas gerenciem o problema da intermitência e da não previsibilidade da produção. Com isso, o excedente pode ser armazenado durante os períodos em que a geração intermitente excede a demanda e usado para cobrir períodos em que a demanda por energia elétrica é maior que a geração.

O relatório IEA (2018a) indica que a intermitência das fontes renováveis pode ser minimizada pelo desenvolvimento de tecnologias de armazenamento de energia. Dessa forma, é possível integrar ao sistema elétrico novas fontes de energia, mesmo que estas possuam geração intermitente ou sazonal.

O mesmo relatório IEA (2018a) discute como as fontes de energia renovável apresentam estruturas dispares. As VREs podem ser implantadas em escalas diferentes, de grandes parques eólicos e solares *offshores* a pequenos sistemas domésticos. A localização da

unidade geradora de energia elétrica também é um complicador, pois os locais com abundância de recursos eólicos e solares podem não estar onde a eletricidade é necessária. Outra característica analisada no relatório é a resposta técnica que cada tecnologia possui dentro do sistema elétrico.

A variabilidade, a previsibilidade parcial e as restrições de localização são fatores que dificultam o aumento da participação das fontes renováveis na estrutura do setor elétrico. Segundo os autores, a flexibilidade do sistema de energia é a peça chave para a integração dos sistemas. A manutenção de um suprimento confiável de eletricidade exige que a oferta e a demanda sejam equilibradas.

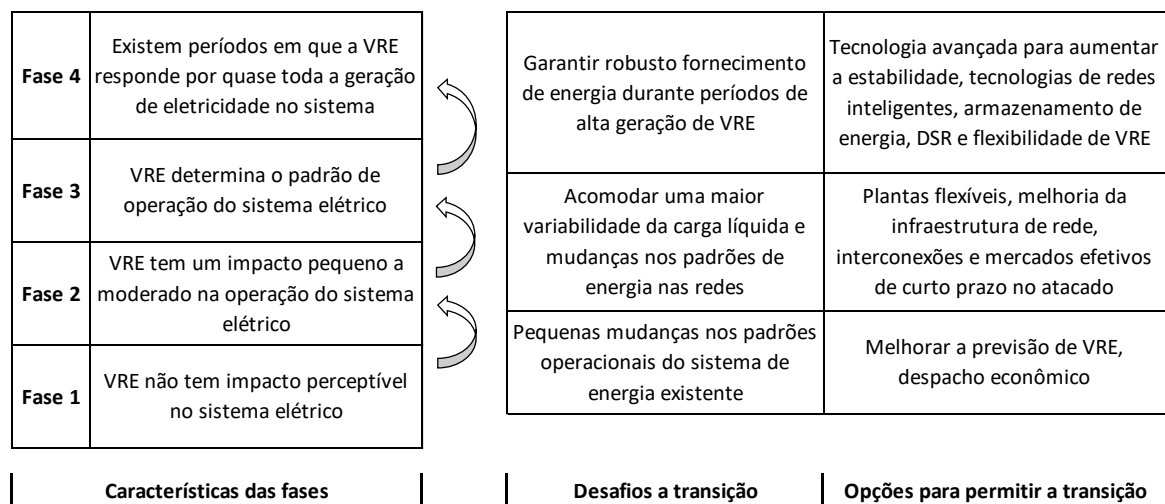
A IEA (2008) identificou que a integração não se dá apenas por um nível de penetração, mas pelas principais questões e desafios de integração, abrangendo aspectos técnicos, regulatórios, mercadológicos e institucionais. Importante destacar como diversos fatores influenciam o quanto um acréscimo de VRE afetará a flexibilidade do setor elétrico. Para uma análise mais detalhada segue abaixo uma descrição de cada uma das fases de integração:

- **Fase 1:** O primeiro conjunto de plantas VRE é implantado, mas elas são insignificantes no nível do sistema.
- **Fase 2:** A diferença entre “*load and net load*”² tornam-se perceptíveis, mas o sistema existente é flexível o suficiente para alcançar a integração do sistema.
- **Fase 3:** Maiores oscilações no equilíbrio entre oferta e demanda estimulam a necessidade de um aumento na flexibilidade do sistema elétrico além do que pode ser fornecido com relativa facilidade pelas plantas e práticas operacionais existentes.
- **Fase 4:** VRE fornece a maior parte da eletricidade em determinados períodos, exigindo modificações operacionais e regulatórias. As mudanças operacionais envolvem a estabilidade do sistema, determinando a maneira como a rede responde após as interrupções de oferta e demanda, enquanto as mudanças regulatórias podem incluir novas regras para o sistema elétrico.

²Net load é a demanda total de eletricidade no sistema, menos a geração de energia elétrica eólica e solar. Dessa forma, representa a demanda que o sistema deve atender através das demais fontes energéticas.

Já em 2008 a IEA discutia como a transição de uma fase para a próxima exige que as medidas se tornem cada vez mais inter-relacionadas e complexas. Para que esse movimento ocorra, é necessária uma transformação do sistema elétrico, como exemplificado na Figura 1.3.

Figura 1.3 – Fases do sistema de integração, desafios de transição e medidas para flexibilidade



Fonte: Traduzido de IEA (2008)

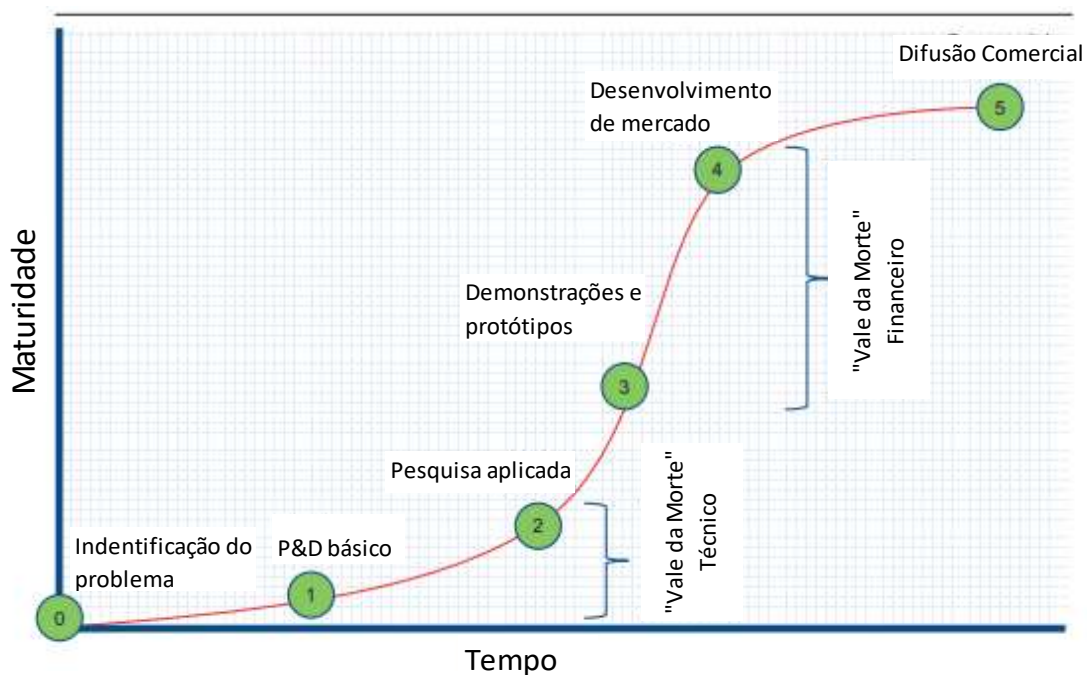
Chen et al (2009) analisam a importância do armazenamento de energia elétrica em sistemas que utilizam fontes como a energia solar e eólica. O estudo debate como a intermitência na geração de energia elétrica é uma característica de sistemas que utilizam energia renovável. Essa desvantagem em relação às fontes tradicionais se tornou um obstáculo para novos investimentos em projetos relacionados às fontes renováveis e à indústria de energia limpa.

Segundo OIES (2018), o processo de transição energética será mais forte nas próximas décadas, não apenas pela demanda por novas políticas públicas voltadas para o setor elétrico, mas também pelo desenvolvimento de novas tecnologias. O estudo discute o processo de inovação e difusão das inovações, analisando a curva de performance em formato de S. A curva S, também conhecida como curva da difusão da inovação, se popularizou em 1962 após a publicação do livro *Diffusion of Innovations*, escrito pelo sociólogo Everett Rogers. De acordo com Rogers (1983), a difusão de uma tecnologia é o processo pelo qual o produto passa a ser conhecido ao longo do tempo dentro da sociedade. A comunicação é um processo no qual os

agentes criam e compartilham informações uns com os outros para alcançar um entendimento mútuo, criando um processo de convergência.

O Gráfico 1.6, apresentado no relatório *World Economic Forum* (2019), mostra os estágios do processo de inovação, desde a concepção da ideia ou produto até a difusão comercial do projeto.

Gráfico 1.6 – Estágios do processo inovativo de tecnologias



Nota: "Vale da Morte" se refere as barreiras que as inovações enfrentam antes da entrada do produto no mercado

Fonte: Traduzido e adaptado de Gallagher et al (2006)

Rogers (1983) define em seu trabalho o processo de desenvolvimento da inovação. Segundo o autor, o processo consiste nas etapas descritas abaixo:

- **Identificação do problema:** Reconhecimento de um problema ou uma demanda que estimule o desenvolvimento de atividades ligadas a pesquisa que possam solucionar o problema ou suprir a necessidade identificada.
- **Pesquisa básica e aplicada:** A base do conhecimento de uma tecnologia deriva de pesquisas básicas, definidas como o processo original para o avanço do conhecimento científico, que não tem como objetivo aplicar esse conhecimento a problemas práticos. Já a pesquisa aplicada consiste em pesquisas destinadas a resolver problemas práticos. O conhecimento científico é utilizado para projetar uma inovação que resolva uma necessidade ou um problema.

- **Desenvolvimento:** O desenvolvimento da inovação é o processo de moldar a tecnologia de uma forma que se espera que atenda às necessidades de um público alvo.
- **Comercialização:** A comercialização da inovação é o processo de produção, *marketing* e distribuição da tecnologia desenvolvida pelos processos listados anteriormente.

Gallagher et al (2006) debatem o processo de inovação de tecnologias relacionadas à energia. O estudo mostra que os avanços tecnológicos no setor são mudanças que permitem a redução do custo de produção, aumentam a qualidade do serviço e reduzem os impactos ambientais ou políticos causados pelo setor elétrico. O processo de inovação de tecnologias pode assumir a forma de aprimoramentos de tecnologias existentes anteriormente ou a substituição por tecnologias diferentes.

No último século, as tecnologias aplicadas ao setor elétrico permitiram avanços na qualidade dos serviços energéticos, redução da quantidade de energia primária necessária para produzir eletricidade, diminuição dos custos de geração de energia elétrica e, mais recentemente, significativa redução das emissões e impactos ambientais. Gallagher et al (2006) analisaram que o debate energético contemporâneo possui como característica o enfrentamento de desafios comuns, como a redução de custos dos consumidores, redução das emissões / impactos ambientais e redução da vulnerabilidade do sistema.

O relatório IRENA (2019) debate os fatores-chave para explicar o crescimento das fontes renováveis no mercado de energia. O estudo analisa a redução dos custos das tecnologias, a preocupação com o aquecimento global, as metas para energia renovável, a inovação tecnológica, os investimentos privados e a opinião pública.

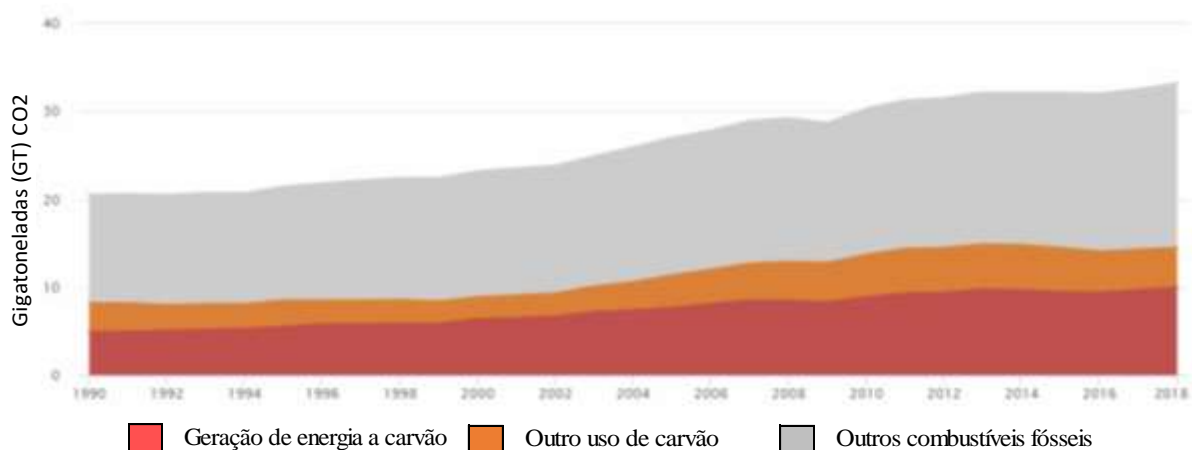
- **Redução dos custos:** A redução dos custos das tecnologias relacionadas à energia renovável garantiu a inserção dessas novas fontes ao mercado. Segundo o *Bloomberg New Energy Finance* (2018), os custos decrescentes permitiram que as tecnologias se tornassem competitivas. Competitividade que as energias hidráulica e geotermal já tinham alcançado anteriormente. Motyka et al (2018) analisam a evolução da energia eólica e solar. Segundo os autores, foram os avanços tecnológicos e o crescente investimento que garantiram o ganho de competitividade de ambas as fontes. IRENA (2016) estima que em 2025 o custo médio da eletricidade gerada pelas plantas *onshore* e *offshore* podem diminuir 26% e 35%, respectivamente. Para a energia solar, estima-se uma redução de 37% no custo médio da eletricidade produzida por usinas solares

(CSP)³ e uma queda de 59% no custo da eletricidade gerada pelos painéis fotovoltaicos (PV)⁴.

- **Poluição e Aquecimento global:** Os efeitos nocivos dos combustíveis fósseis se tornaram fatores influenciadores para o debate sobre fontes renováveis. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (2018) e o *UN Environment Programme* (2018) alertam para as consequências do aquecimento global, além de debaterem as estratégias que devem ser adotadas para a pavimentação de uma economia de baixo carbono. Os pilares dessa transformação, segundo o estudo, seriam o ganho de eficiência energética e o desenvolvimento de infraestrutura para as energias renováveis. IRENA (2018) analisa que o aumento da eficiência energética e o uso de fontes renováveis podem reduzir em 90% a poluição relacionada à produção de energia.

Dados da IEA mostram que as emissões globais de CO₂ relacionadas à energia aumentaram 1,7% no ano de 2018, em comparação com 2017. O setor de energia foi responsável por quase dois terços do crescimento das emissões. O Gráfico 1.7, retirado do relatório IEA (2018b), mostra o volume de emissões globais de CO₂ nas últimas três décadas.

Gráfico 1.7 – Emissões globais de dióxido de carbono por fonte energética entre 1990 e 2018



Fonte: Traduzido de IEA - Global Energy & CO₂ Status Report

³ Concentrated Solar Power (CSP) são sistemas de energia solar concentrada que geram energia solar usando espelhos ou lentes para concentrar uma grande área de luz solar em uma pequena área. A eletricidade é gerada quando a luz concentrada é convertida em calor, que aciona um motor de calor conectado a um gerador de energia elétrica ou alimenta uma reação termoquímica.

⁴ Painéis solares fotovoltaicos (PV) são dispositivos utilizados para converter a energia da luz do sol em energia elétrica. Os painéis solares fotovoltaicos são compostos por células solares, assim designadas já que captam, em geral, a luz do Sol.

O NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration – U.S. Department of Commerce*) publicou recentemente o relatório *State of the Climate*, que fornece uma atualização detalhada sobre os indicadores climáticos globais, eventos climáticos notáveis e outros dados coletados por estações e instrumentos de monitoramento ambiental. O relatório aponta que a média de dióxido de carbono na atmosfera, em 2017, atingiu 405 partes por milhão (ppm).

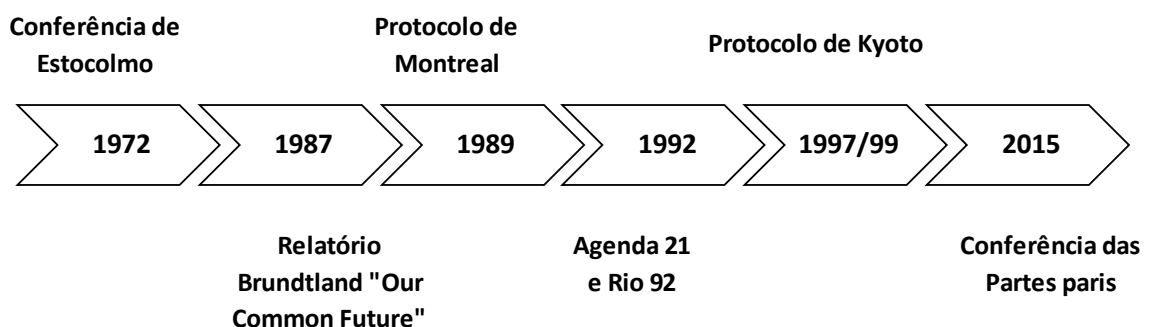
Os níveis atuais de dióxido de carbono são maiores do que em qualquer momento, pelo menos nos últimos 800 mil anos. O aumento da concentração de CO₂ se dá principalmente por causa dos combustíveis fósseis, como carvão e petróleo. De acordo com Lindsey (2009), o dióxido de carbono (CO₂) é um gás de efeito estufa, ou seja, um gás que absorve calor. Aquecidas pela luz solar, as superfícies terrestre e oceânica da terra irradiam continuamente energia térmica infravermelha (calor). Os gases de efeito estufa absorvem esse calor e o liberam gradualmente ao longo do tempo. Sem esse efeito estufa natural, a temperatura média anual do planeta estaria abaixo do ponto de congelamento, mas o aumento dos gases de efeito estufa desequilibrou a energia do planeta, capturando calor adicional e elevando a temperatura média da terra. A crescente preocupação com os níveis de emissões de poluentes conduziu o debate para a discussão ambiental e da sustentabilidade, que serão tratados no tópico seguinte.

- **Metas Ambientais e energia renovável:** Incentivados pela redução dos custos das novas fontes de energia e pela nova agenda de preservação ambiental, diversos países iniciaram projetos de energia renovável. Tavares (2019) analisa os marcos das agendas de sustentabilidade e do clima nos últimos 50 anos:
 - **Conferência de Estocolmo (1972):** Primeira grande conferência internacional sobre o tema. Teve como resultado uma Declaração de 26 princípios e um Plano de ação com 109 recomendações, como prevenção de derramamentos de petróleo no mar e relatório sobre o uso da energia. A Declaração de Estocolmo e seus princípios formaram o primeiro conjunto de leis internacionais de cunho apenas intencionais, sem aplicação obrigatória.
 - **Relatório Brundtland “Our Common Future” (1987):** O relatório foi produzido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU e criticou o modelo de desenvolvimento adotado pelos países

industrializados. Identificou os riscos do uso excessivo dos recursos naturais e deu origem ao conceito de desenvolvimento sustentável.

- **Protocolo de Montreal (1989):** Foi um tratado internacional em que os países signatários se comprometeram a reduzir o uso de substâncias danosas a camada de ozônio na atmosfera. Este protocolo passou a ser utilizado como referência para diversas negociações e soluções propostas posteriormente.
- **Rio 92 (1992):** Criação da Agenda 21, assinada por 179 países que estiverem presentes na conferência e que serviu de guia para a implementação de políticas e instrumentos econômicos que integram o crescimento da economia, a justiça social e o respeito ao meio ambiente.
- **Protocolo de Kyoto (1997 – 1999):** Foi um marco para a política ambiental, pois resultou na formulação de metas rígidas de redução de emissões de gases de efeito estufa e criação de mecanismos de flexibilização para as metas previstas. O protocolo foi assinado somente em 2005, mas os Estados Unidos, maior emissor até aquele momento, se recusou a assinar.
- **Conferência das Partes Paris (2015):** Realizada em Paris, a conferência ficou marcada pelo Acordo de Paris, que se tratava do primeiro instrumento com vias à cooperação das partes de forma ampla em torno da questão climática. O objetivo do acordo é limitar o aumento da temperatura média do planeta e reforçar a capacidade dos países de responder ao desenvolvimento sustentável.

Figura 1.4 – Principais marcos na Agenda Internacional da Sustentabilidade e do Clima



Fonte: Tavares (2019)

A agenda ambiental e sustentável posta desde os anos 70 acelerou sua participação nas políticas públicas voltadas para o setor energético. Segundo a REN21 (2018), atualmente, 57 países desenvolvem projetos voltados à descarbonização completa do setor elétrico, enquanto outros 179 já trabalham com metas nacionais para a introdução

de fontes renováveis. De acordo com IRENA (2017b), o setor público, inicialmente, incentivou projetos de geração de energia renovável via subsídios, mas, nos últimos anos, os investimentos já se mostram competitivos e garantem participação em leilões de energia. Além disso, a IEA (2018c) analisou em seu relatório que alguns países utilizam o movimento de transição energética e inserção de fontes renováveis como uma oportunidade para se tornarem menos dependentes das importações de energia.

- **Inovação tecnológica:** Novas tecnologias como painéis fotovoltaicos (PV) mais eficientes e turbinas eólicas maiores, são fatores importantes para explicar o crescimento da participação dos renováveis no setor elétrico. De acordo com IRENA (2019), é a introdução dessas novas tecnologias que elevará a eficiência e acelerará o uso das fontes renováveis na geração de energia elétrica. Inovações como *smart grids*, internet das coisas, *big data*, inteligência artificial e armazenamento de energia sugerem novas fronteiras.
- **Investidores e corporações:** Pelo lado da demanda de energia, grandes corporações têm buscado utilizar energia elétrica oriunda de fontes renováveis em seus estabelecimentos. Segundo IRENA (2018b), algumas empresas também encorajam suas cadeias produtivas a utilizarem energia limpa. Apple e Microsoft anunciaram recentemente que utilizam energia 100% renovável em suas atividades, enquanto outras empresas como IKEA, Walmart e Tata Motors se comprometeram em atingir 100% de uso de energia renovável nos próximos anos. IRENA (2019) afirma que o fundo soberano norueguês e grandes bancos de desenvolvimento já não financiam projetos relacionados à energia tradicional, como o carvão.
- **Opinião Pública:** A opinião do público é uma força para mudanças. Segundo IRENA (2019), os consumidores têm preferido comprar produtos e serviços que possuem baixa emissão de carbono e histórico sustentável. Esse movimento da sociedade pressiona governos e empresas na busca de ações e estruturas que reduzem os danos ambientais.

As fontes renováveis se tornaram um dos pilares para o processo de transição energética em curso no planeta. A produção de energia elétrica com mínimo impacto no meio ambiente e o ganho de eficiência que as tecnologias conseguiram garantir nos últimos anos, pavimentam a trajetória das fontes alternativas dentro da estrutura elétrica internacional. Apesar disso, a crescente participação de renováveis no mix energético gera desafios que, por sua vez, podem ser mitigados através do uso intensivo de tecnologias.

O capítulo seguinte debaterá a relação entre as novas tecnologias e os sistemas de regulação. A análise busca identificar como as mudanças regulatórias impactam o processo inovativo e como o desenvolvimento de novas tecnologias se relaciona com a transformação do arcabouço regulatório. Além disso, o segundo capítulo também visa discutir como a tecnologia de armazenamento de energia elétrica, em especial as baterias, pode mitigar os desafios da intermitência e da imprevisibilidade na geração de eletricidade via fontes renováveis.

CAPÍTULO 2 – A RELAÇÃO DOS SISTEMA DE REGULAÇÃO E DAS TECNOLOGIAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

O setor de energia passa por um processo de transição energética. As mudanças tecnológicas debatidas no capítulo anterior impactaram toda a cadeia de valor da energia elétrica, desde a produção, até a distribuição e consumo da eletricidade.

Segundo Hoppe et al (2018), o setor energético tem grande importância econômica, além de também ser altamente regulado. A inovação nesse setor se caracterizava como um processo incremental, mas o desenvolvimento e a introdução das tecnologias de fontes renováveis de energia transformaram o setor. Os autores discutem como a velocidade no processo de inovação tecnológica, a mudança na dinâmica do mercado de energia, as estratégias nacionais de transição energética e os novos formatos de inovação disruptivas impactam no sistema regulatório.

O capítulo está dividido em duas seções. A primeira seção busca entender se a regulação existente permite o processo de inovação e se o arcabouço regulatório garante a continuidade do processo inovativo no desenvolvimento de novas tecnologias para o setor energético. Na segunda seção, discute-se as principais aplicações e tecnologias relacionadas aos sistemas de armazenamento de energia, com foco nas baterias. Além disso, também são apresentadas as principais barreiras à difusão da tecnologia no mercado de energia.

2.1 – A relação entre o processo inovativo e o sistema regulatório

Majone (1994) analisa como o processo de privatização e desregulamentação das últimas décadas do século passado criaram as condições para o crescimento de um estado regulador na Europa. Essa nova configuração substituiu o dirigismo estatal existente no passado e redefiniu os limites de atuação do estado na economia.

O autor identificou, já na década de 1990, que a regulação administrativa, econômica e social por meio de agências independentes tinha se tornado a nova fronteira de políticas e administração pública nos países industrializados. A ausência de um arcabouço regulatório eficiente se tornou uma barreira à modernização da economia e do Estado europeu.

De acordo com Hoppe et al (2018), no século XX, o mercado europeu de eletricidade era dominado por grandes empresas nacionais verticalmente integradas (VIUs)⁵, que mantinham um significativo poder de mercado. Essas empresas geralmente possuíam departamentos internos de P&D e adotavam um paradigma fechado de inovação⁶. O ritmo e a frequência das mudanças tecnológicas no setor eram baixos e se caracterizavam como um processo de inovação incremental de componentes.

Aghion e Howitt (2009) analisam que o começo do século XXI foi marcado por um processo de liberalização e abertura dos mercados energéticos da União Europeia à concorrência. As empresas verticalmente integradas que dominavam o setor foram desmembradas, a produção de energia elétrica foi separada da estrutura de transmissão e distribuição, com cada atividade sendo encaminhada para uma empresa diferente.

Segundo os autores, esse processo de modernização foi importante para a Europa, visto que, seguindo a visão dominante na literatura de direito e economia, a competição é mais propícia à inovação em comparação ao monopólio. O estudo debate as características de um mercado competitivo, onde as empresas precisam disputar uma fatia do mercado. Dessa forma, as empresas têm um incentivo para introduzir novos produtos e serviços (inovação de produto), além de se tornarem mais eficientes e reduzirem seus custos de produção (inovação de processo).

Blind (2012), recentemente, discutiu como o quadro regulatório passou a ser enxergado como um possível instrumento para políticas de incentivo à inovação. Isso ocorre devido à pequena margem que os governos possuem para gastar em P&D e outras atividades relacionadas à inovação. Dessa forma, o autor indica que o aperfeiçoamento do quadro regulatório ou a implementação de regulações com o objetivo explícito de promover a inovação se tornaram importantes nos últimos anos. O autor classifica a regulação em três tipos:

1. Regulação imediatamente dedicada à promoção da inovação (Direitos de propriedade intelectual)

⁵ VIUs é a definição tradicional de um *utility* “verticalmente integrado”. Uma empresa que possui todos os níveis da cadeia de suprimentos: geração, transmissão e distribuição. Historicamente, todas as concessionárias eram verticalmente integradas e tinham o monopólio da produção e venda de energia.

⁶ Paradigma fechado de inovação é baseado na visão de que as inovações são desenvolvidas internamente. Da geração de ideias ao desenvolvimento e marketing, o processo ocorre exclusivamente dentro da empresa.

2. Regulação voltada para objetivos específicos, mas não diretamente relacionada à promoção de inovações.
3. Outras regulações que influenciam as estratégias e atividades das empresas, mas não necessariamente tem efeito positivo na estrutura de inovação.

Blind (2012) também analisa as diferentes relações entre as regulações e o processo inovativo das empresas. Para o autor, o impacto de novas regulamentações depende das especificidades do setor econômico, do tamanho, idade da empresa, do grau de flexibilidade da firma e de como a regulação impactará a empresa no curto e no longo prazo. A Figura 2.1 apresenta alguns exemplos que envolvem a regulação econômica, social e institucional.

Figura 2.1 – Tipos de regulação e suas variações

Regulação Econômica	Regulação Social	Regulação Institucional
Aperfeiçoar e garantir a concorrência	Proteção ambiental	Lei de responsabilidade
Antitruste	Proteção da saúde e segurança dos trabalhadores	Lei de proteção do emprego
Fusões e Aquisições	Segurança do produto e do consumidor	Lei de imigração
Abertura do mercado		Lei de falências
Preços		Direito de propriedade intelectual
Monopólios naturais e empresas públicas		

Fonte: Traduzido de Blind (2012)

Blind (2012) afirma que o impacto final da regulação no processo inovativo depende do custo de conformidade e do efeito do incentivo. Se os custos de conformidade forem baixos e os incentivos forem positivos, a nova regulação tem impacto positivo na inovação. Caso contrário, o impacto é negativo.

Em relação à regulação econômica, Blind (2012) analisa que o marco regulatório proposto nas décadas de 1960 e 1970 não incentivava as empresas públicas e monopolistas a inovar. Na década de 1980, o EUA iniciou a implementação de regulamentações que motivassem essas empresas a aumentar a produtividade via inovações. Serviços baseados em rede, como telecomunicações, fornecimento de água e energia, eram regulados sob os antigos

princípios de taxa de retorno⁷ ou precificação a custos marginais⁸. Segundo Averch e Johnson (1962), esses esquemas regulatórios foram responsáveis pelo baixo progresso técnico e resultaram em pouca inovação em alguns setores regulamentados, como telecomunicações e energia. A implementação de regulamentações no estilo *price cap*⁹ permitiu que as empresas reguladas pudessem obter lucros adicionais por ganhos de produtividade, criando incentivos à inovação.

De acordo com Kemp (1998), a maior parte da literatura existente sobre regulação social e seus impactos no processo inovativo se concentra na análise do impacto da regulamentação ambiental, causada pela crescente importância das questões ambientais. Além disso, o processo de aperfeiçoamento da regulação ambiental permitiu que novos entrantes introduzissem novas técnicas de produção. Para Blind (2012), as regulamentações ambientais estimularam o surgimento da “indústria ambiental” e de novos produtos com menos ou quase nenhum impacto negativo no meio ambiente. Consequentemente, as regulamentações ambientais direcionam explicitamente o setor para o desenvolvimento e implementação de tecnologias inovadoras que protejam o meio ambiente ou que reduzam os danos ambientais.

Blind (2012) também analisa como a regulação institucional é essencial para a análise de impacto sobre as inovações. O autor utiliza como exemplo a legislação de segurança de produtos em determinado setor. Se as regras de qualidade são demasiadamente rigorosas, as empresas não introduzem produtos e serviços novos no mercado, especialmente inovações disruptivas, que possuem riscos mais altos do que a média.

Stewart (2010) distingue as regulações em inovação de conformidade (*compliance*) e inovação contornada. A primeira ocorre quando o quadro regulatório é amplo e as inovações permanecem dentro do quadro regulatório. A segunda acontece quando o arcabouço regulatório é restrito e o processo inovativo permite que as empresas escapem da regulação.

Crafts (2006), Carlin e Soskice (2006) e Stewart (2010) discutem como o custo de implementação de novas regulamentações pode reduzir os recursos disponíveis para investimento em P&D. Dessa forma, a empresa tem menor intensidade de capital e um menor

⁷ O modelo baseado na taxa de retorno baseia-se essencialmente na remuneração do capital garantida através de uma taxa de retorno estabelecida;

⁸ O modelo custo marginal determina a remuneração do capital inicialmente empregado corrigido por um coeficiente atrelado ao custo de prestação de serviço para um consumidor adicional;

⁹ O modelo price-cap estabelece um preço limite a ser cobrado pela prestação do serviço descontado de um ganho produtivo esperado

nível de progresso técnico e inovação. Esse impacto negativo é provável no curto prazo. No entanto, a longo prazo, a regulação “inteligente” pode reduzir os custos regulatórios e liberar mais recursos para P&D. Alguns tipos de regulação, como o de proteção de patentes, podem criar incentivos adicionais ao processo inovativo, enquanto outros podem reduzir esses incentivos.

2.1.1 – Inovações disruptivas e a demanda por energia

Hoppe et al (2018) discutem os impactos das inovações disruptivas pelo lado da demanda e analisam que o processo de integração das fontes de energia renováveis ao setor elétrico foi alimentado pela urgente necessidade de diminuir as emissões de poluentes. Além disso, os autores também citam as preocupações relacionadas à segurança do fornecimento de energia e a mudança nas preferências sociais dos agentes econômicos, que se conscientizaram em relação aos impactos ambientais e climáticos gerados pela queima de combustíveis fósseis.

De acordo com os autores, o processo de transição energética não seria possível se as inovações tecnológicas não fossem capazes de permitir a captura da energia produzida pelas fontes renováveis. As novas tecnologias como turbinas eólicas e painéis fotovoltaicos foram inseridos no setor elétrico pelas novas empresas participantes do mercado. A produção de energia via fontes renováveis era mais cara, quando comparada com as fontes tradicionais energia. O desenvolvimento tecnológico possibilitou a transição energética europeia via inovações disruptivas.

O trabalho de Hufen (2016) observa que o processo inovativo não ficou restrito à tecnologia de fontes renováveis, mas também existe uma trajetória de inovações sociais e de mercado. O autor utiliza como exemplo os consumidores holandeses, que priorizam a compra de eletricidade “verde”, pois esse ato contribui na mitigação dos efeitos climáticos. Para os consumidores na Holanda, a eletricidade gerada através de combustíveis fósseis não substitui a eletricidade “verde”, mesmo que ambas sejam fisicamente indistinguíveis em termos de qualidade. Dessa forma, era necessário um sistema de certificação para rotular a eletricidade “verde” e permitir que os consumidores pudessem exercer o direito de escolha em relação ao fornecedor de energia elétrica.

O resultado prático dessa mudança comportamental do mercado consumidor de eletricidade foi a introdução das chamadas *guarantee of origin (GO)*¹⁰, introduzidas pela Comissão Europeia. Por isso, as GOs não representam uma inovação técnica, mas uma inovação de produto ou mercadológica. Mesmo que as características físicas da eletricidade sejam as mesmas para as fontes renováveis e tradicionais, cada uma delas possui um público-alvo diferente.

2.1.2 - Inovações disruptivas e oferta de energia

Scholten e Kunneke (2016) analisam que a penetração das novas fontes de energia renováveis causou mudanças no *design* do mercado europeu de energia. Essas transformações ocorreram tanto em relação à infraestrutura (operação do sistema elétrico), quanto às funções e responsabilidades dos agentes de mercado (organização do setor). Os autores descrevem a estrutura energética como sistemas sociotécnicos adaptativos e complexos. Além disso, caracterizam a cadeia de valor do mercado de energia em três partes:

1. **Upstream:** Exploração e comércio de energia elétrica
2. **Midstream:** Transporte, refinamento e armazenamento
3. **Downstream:** Distribuição, medição, varejo e consumo

De acordo com Hoppe et al (2018), as novas tecnologias de produção de energia renovável permitiram que o setor elétrico se tornasse mais descentralizado. Atualmente, a energia produzida não percorre apenas o caminho entre produtor, fornecedor e consumidor, mas também poderia ser produzida pelo próprio consumidor. Isso levou os clientes a saírem da posição passiva de receptor do produto, pois além de gerar sua própria energia elétrica, também podem comercializá-la.

Na visão dos autores, os consumidores europeus passaram a se engajar na utilização das novas tecnologias geradoras de eletricidade e não mais dependem dos fornecedores para inserir processos inovativos no sistema. Essa nova configuração resultou na inovação disruptiva do mercado europeu de energia.

¹⁰*Guarantee of origin (GO)* é um documento eletrônico que tem como única função fornecer prova a um cliente final que uma determinada quantidade de energia foi produzida a partir de fontes renováveis.

2.1.3 – O processo de inovação e o sistema regulatório no setor energético

Segundo Khemani e Shapiro (1993), a regulação é amplamente definida como a imposição de regras pelo governo, apoiada pelo uso de penalidades destinadas especificamente a modificar o comportamento econômico de agentes econômicos com indivíduos e empresas privadas. Para Black (2005) a regulação é definida em seu sentido mais amplo, como a tentativa de alterar o comportamento de outras pessoas de acordo com padrões e metas, com a intenção de produzir um resultado ou conjunto amplamente identificado de resultados. Essa ampla definição de regulamentação inclui leis rígidas e flexíveis, bem como governança, e não se limita à intervenção do Estado.

Para Meyers (2010) o processo de inovação não é um fenômeno homogêneo. O surgimento de uma nova tecnologia ocorre como resultado de pesquisas e desenvolvimento, ou como resultado de um acaso. Segundo Butenko e Larouche (2015), o papel da regulação em relação à invenção é diferente do seu papel em relação à inovação. O objetivo da regulação em torno da invenção é garantir um ambiente propício às invenções, por exemplo, o mercado concorrencial e os direitos de proteção intelectual.

Além disso, o sistema regulatório se destina à filtrar as invenções que são socialmente indesejáveis, seja na esfera econômica, moral ou ética, como a tentativa de clonar o ser humano. Já o papel da regulação em relação à inovação tem como objetivo mitigar os riscos e maximizar os benefícios, de acordo com Bennet (2013).

A questão colocada por Hoppe et al (2018) é como a regulação pode efetivamente cumprir seu papel em relação à inovação no mercado de energia europeu. Para isso, os autores discutem os conceitos de alinhamento regulatório e inovação regulatória.

2.1.3.1 – Alinhamento regulatório no setor elétrico

Inicialmente, os autores discutiram que alinhamento regulatório pode ser segmentado em cinco partes. O primeiro tipo de alinhamento é o normativo, que está relacionado à consistência e coerência entre os níveis institucionais. Baseado no modelo de níveis institucionais de Williamson (1979), Scholten e Kunneke (2016) definiram quatro pilares que são importantes para abordar o processo inovativo.

- **Instituições informais:** compreendem as tradições costumes, normas e valores de uma sociedade.

- **Instituições formais:** são as leis e regulamentos existentes.
- **“Jogo do jogo”:** compreende os acordos contratuais entre os agentes, isto é, os modos de organização que acomodam as transações ocorridas no mercado.
- **Atividades de mercado de curto prazo:** se refere aos processos internos das empresas, como a definição de preços, quantidades, investimento, modelo de negócio e otimização das operações.

O segundo segmento é o alinhamento institucional, que se refere à congruência entre a inovação e o cenário institucional. Uma relação vertical, pois se refere à coerência entre os diferentes níveis de governança dentro do estado. A definição do alinhamento institucional tem diferentes visões dentro da literatura. Scholten e Kunneke (2018) analisam que o alinhamento institucional pode se concentrar no alinhamento de sistemas sóciotécnicos. O mercado de energia e a estrutura de geração energética são sistemas sóciotécnicos adaptativos complexos, cujo desempenho depende da interação contínua entre a operação, a dinâmica do mercado de energia e os arranjos institucionais. Além disso, os autores concluem que o alinhamento perfeito não é desejável, pois um certo grau de desalinhamento pode ser importante para estimular a inovação técnica ou a reforma das instituições.

O terceiro segmento discutido é conhecido como alinhamento do instrumento, definido como o processo de adequação do instrumento regulatório para a tarefa em questão. Os trabalhos de Grotenbreg e Van Buuren (2017) e Warbroek e Hoppe (2017) discutem o conceito de meta-governança. Esse conceito refere-se à necessidade de organizações públicas exercerem algum tipo de controle sobre as organizações descentralizadas. Nessa perspectiva, o governo é visto como um meta-governador que mobiliza os agentes públicos e privados, governamentais e não governamentais, em torno de um determinado problema público. Os autores diferenciam dois modos de meta-governança: permissão e autoridade. O primeiro modo envolve coordenação e atividades facilitadoras, enquanto o segundo envolve atividades derivativas e reguladoras.

A governança envolve a transferência de autoridade e tomada de decisão para outros agentes que não o próprio governo. Dessa forma, o processo implica no menor envolvimento dos agentes públicos. Grotenbreg e Van Buuren (2017) observam que esse novo arranjo de governança funciona quando os agentes externos ao governo trazem recursos que o governo não possui, como *know-how* e investimento financeiro. Além disso, segundo os autores é necessário que os agentes externos estejam dispostos a assumir responsabilidades. Caso

contrário, é melhor deixar a governança nas mãos do governo. Saintier (2017) relaciona o surgimento dos “prosumidores¹¹” de energia no Reino Unido com o processo de transferência de autoridade do governo para agentes privados. O autor identifica que os atuais modelos regulatórios e de governança do setor energético deixam os consumidores desprotegidos e não empoderam os “prosumidores”.

O quarto segmento do alinhamento regulatório é o alinhamento organizacional. Este pode ser definido como alinhamento interno, porque se refere ao alinhamento da estrutura interna de uma organização com seus objetivos e tarefas. O quinto e último segmento é o alinhamento cultural. Hoppe et al (2018) analisam que o alinhamento cultural é importante para associar normas e valores às inovações e instituições.

Segundo De Jong et al (2017), alguns países não europeus buscam aprender como a regulação europeia responde ao processo de inovação. Os autores discutem o lançamento de grandes programas sino-europeus, para aprender como os países da Europa desenvolvem estratégias relacionadas a sustentabilidade.

2.1.3.2 – Inovação regulatória no setor elétrico

Hoppe et al (2018) analisam alguns padrões de respostas do sistema regulatório europeu em relação às inovações no setor energético. Existe a necessidade de trazer novos mecanismos e instrumentos para acompanhar as mudanças tecnológicas e organizacionais do setor energético.

- **Política “top down¹²”:** Padrão de respostas “de cima para baixo” da União Europeia em direção aos países do bloco. Nesse padrão, as mudanças regulatórias são decididas nas instituições europeias e depois direcionadas e aplicadas em cada um dos países membros. Um exemplo de política *top down* foi a implementação das *Guarantees of origin* (GO), debatidas no trabalho de Hufen (2016).

¹¹ Prosumidores são consumidores de energia que também se envolvem na produção de energia para satisfazer sua demanda. Atualmente, já existem alguns tipos de prosumidores: residenciais que produzem eletricidade nas suas casas, com forte participação dos painéis fotovoltaicos nos telhados. Produtores comerciais, cuja atividade principal não é a geração de eletricidade, mas possuem geração de energia elétrica que fornecem para a rede e consomem de forma direta.

¹² Top - down é um sistema de comando e controle bem definido do governo ao projeto em questão. O sistema apresenta as seguintes características: objetivos claros / consistentes, ambiente hierárquico, conhecimento de causas / efeitos pertinentes, regras estabelecidas no topo e recursos.

- **Política “bottom up”¹³**: Padrão de resposta “de baixo para cima” em relação ao processo inovativo. A regulação responde às inovações técnicas e sociais trazendo a comunidade para o debate e para a formulação de políticas. Para essa abordagem, a governança como conhecemos não fica restrita a governança pública, mas também permite modalidades de autogovernança social. Para os autores, essa abordagem acrescenta mais complexidade aos já complexos arranjos de governança existentes no setor de energia europeu.
- **Política de experimentação**: Aborda as falhas na legislação atual e apresenta as condições institucionais e legais sob as quais as experiências com inovações energéticas podem prosperar e demandar a adaptação de novas estruturas regulatórias.

Hoppe et al (2018) examinam se os sistemas regulatórios possuem novos instrumentos para a implantação de políticas. Segundo os autores, os instrumentos utilizados no setor de energia continuam sendo a regulação padrão e os incentivos econômicos tradicionais. Estes podem ser categorizados como “*sermon, carrot, stick*”¹⁴ de acordo com o trabalho de Bemelmans - Videc et al (1998).

Figura 2.2 – Classificação dos instrumentos de política

Estrutura das políticas					
Regulação "Sticks"		Intervenção no Mercado "Carrots"		Informação "Sermons"	
Planejamento Espacial	Regulação Direta	Direitos de Propriedade	Incentivos positivos e negativos	Acordos Voluntários	Medidas de Aviso
Planejamento Paisagístico	Normas de Gestão de Recursos Naturais	Certificados de Emissão	Impostos e Penalidades Ambientais	Processo de Negociação Baseados em Consenso	Educação Ambiental
Planejamento Regional	Avaliação de Impacto Ambiental	Licenças	Avaliação de Impacto Ambiental		Pedido de Tomada de Decisão Ética
Desenvolvimento Local	Preservação da Natureza		Isonções e Incentivos Fiscais		Sanções sociais não monetárias
Planejamento Setorial	Decretos e Proibições		Feed-in Tariffs		

Fonte: Traduzido de Claim (2010)

Hoppe et al (2018) discutem a regulação “Sticks” e concluem que as regulamentações e normas setoriais têm grande impacto na governança descentralizada, fazendo com que os

¹³ Bottom - up é um sistema que estabelece sua estratégia de implementação com os grupos-alvo e os prestadores de serviços, onde os grupos-alvo são os implementadores reais da política.

¹⁴ “Sermon, carrot e stick” é uma metáfora utilizada a combinação de recompensas, punições e regras que são criadas para induzir o comportamento dos agentes envolvidos. A tradução da expressão é “Sermão, cenoura e pau”.

agentes públicos se apeguem a uma interpretação estrita da legislação, dificultando a implementação de mudanças regulatórias, gerando um processo de inércia institucional e falta de capacidade de adaptação para lidar com as emergentes inovações ocorridas no setor elétrico. Os autores citam exemplos como a implementação de políticas (*top down*) via diretivas da União Europeia referentes às energias renováveis. Outros estudos citados no trabalho discutem as restrições presentes na regulação atual, que impedem o bom uso dos experimentos com relação à aprendizagem e adaptação institucional.

Em relação aos incentivos econômicos “Carrots” os autores analisam que apesar da literatura recente indicar o uso de novos instrumentos, grande parte das políticas atuais ainda são feitas por meio de incentivos fiscais, subsídios e *feed-in tariffs*. Por último, o instrumento da informação “Sermão”. Os autores utilizam como exemplo o trabalho de Grotenbreg e Van Buuren (2017) que analisou as maneiras pelas quais o agente público (governo) facilita projetos do setor privado por meio do enquadramento discursivo¹⁵ como uma maneira de gerenciar projetos complexos que envolvem múltiplos agentes.

Segundo Hoppe et al (2018), além dos instrumentos e regras de política, outros dois fatores são importantes na análise do quadro regulatório e inovações no setor elétrico europeu:

- **Vários níveis de governança:** Existe um movimento em direção a uma maior centralização das políticas do bloco, mas, por outro lado, há um impulso no sentido da descentralização no nível nacional.
- **Complexidade de agentes:** A processo de produção de energia elétrica no mercado europeu envolve cada vez mais agentes. No caso de fontes renováveis de menor escala o sistema envolve o produto, os agentes do mercado de eletricidade e os agentes públicos responsáveis.

A Europa passou as últimas duas décadas elaborando e desenvolvendo uma estrutura regulatória que conseguisse introduzir as fontes renováveis na estrutura de produção de eletricidade no continente. Atualmente, o bloco europeu ainda não possui regulação específica para os sistemas de armazenamento de energia elétrica em baterias, mas, como será apresentado

¹⁵ Enquadramento discursivo é o conjunto de pontos de vista culturais que informam as práticas de uma comunidade ou de organizações de movimentos sociais. Essa prática forma recursos culturais que moldam, motivam e dão sentido à ação coletiva em uma comunidade.

no terceiro capítulo, alguns países já discutem a presença das baterias e a aplicabilidade da tecnologia no setor elétrico.

A seção seguinte busca apresentar as principais características e aplicações das unidades de armazenamento de energia. As baterias podem fornecer uma variada gama de serviços valiosos para o sistema elétrico como um todo. O tamanho de cada serviço e a participação de mercado que acompanha as baterias dependerão, porém, muito das características específicas do sistema de energia disponível (variando de país para país) e da disponibilidade e custo das tecnologias concorrentes em relação ao custo das baterias.

2.2 – A tecnologia de armazenamento de energia elétrica: a evolução das baterias

A difusão dos sistemas de armazenamento de energia elétrica em baterias na União Europeia pode gerar impactos positivos na economia, no meio ambiente e na dimensão social. Segundo *European Commission* (2016), os impactos econômicos são esperados por meio da criação de empregos e venda de produtos relacionados ao mercado de energia. Em relação aos impactos ambientais, espera-se uma redução do uso de energia fóssil, resultando na diminuição de emissões de gases do efeito estufa. No que diz respeito à dimensão social, o armazenamento em baterias pode reduzir os custos dos consumidores como, por exemplo, as tarifas de energia elétrica via redução dos investimentos em infraestrutura tradicional e serviços auxiliares.

Segundo Chen et al (2009), o armazenamento de energia elétrica consiste no processo de conversão da eletricidade de uma rede de energia em uma forma que pode ser armazenada e, quando necessário, convertida de volta para energia elétrica. Esse processo permite que a eletricidade possa ser gerada em períodos de baixa demanda e com reduzido custo de geração ou através de fontes de energia intermitentes.

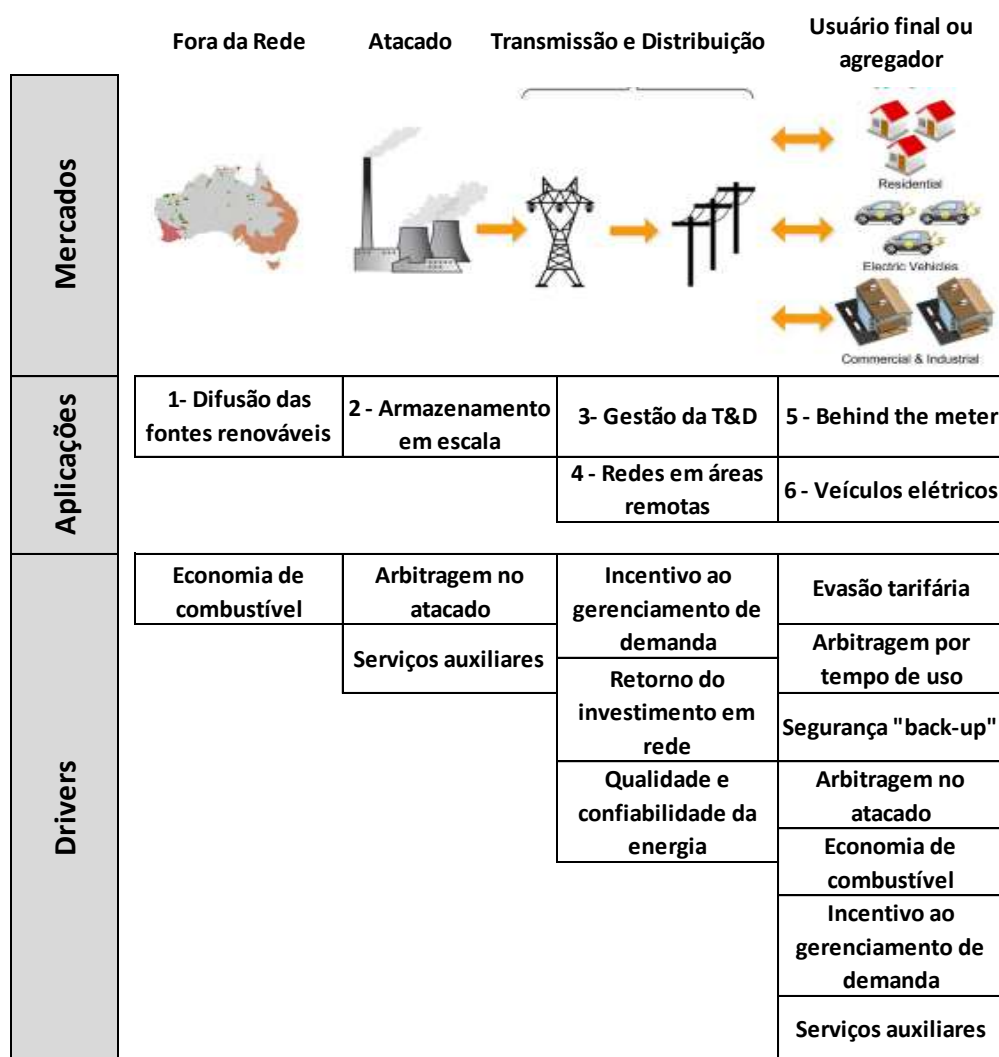
Silva e Bortoni (2016) analisam que o uso de sistemas de armazenamento de energia (SAEs) viabiliza a efetiva disseminação do uso das energias solar, eólica e outras renováveis de maneira sustentável. Os autores indicam que o uso dos sistemas de armazenamento de energia elétrica soluciona alguns gargalos como o congestionamento de redes, problemas de aleatoriedade da disponibilidade de energia, eficiência do sistema e redução dos impactos ambientais.

O estudo analisa como a indústria de energia evoluiu na direção da armazenagem de energia elétrica. Atualmente, esses sistemas de armazenamento fornecem grande variedade de

abordagens tecnológicas para gerir o fornecimento energético. O desenvolvimento e a implantação da infraestrutura necessária para o armazenamento de energia implicarão em transformações no setor elétrico.

A Figura 2.3, retirada do relatório AECOM¹⁶ (2015), identifica como as tecnologias de armazenagem de energia podem operar em diversos mercados, ter várias aplicações e se tornar parte de uma cadeia de valor.

Figura 2.3 – Mercados, aplicações e *drivers* da tecnologia de armazenamento de energia



Fonte: Traduzido de AECOM (2015)

O relatório destaca os quatro principais segmentos de mercado que a tecnologia de armazenamento de energia pode ser aplicada. Segue uma descrição detalhada de cada um dos

¹⁶ AECOM é uma empresa multinacional de engenharia sediada no Estados Unidos

mercados potenciais e das aplicações que os sistemas de armazenamento de energia elétrica podem ter em cada um deles.

- **Fora da rede (*off grid*):** Sistemas de eletricidade isolados que não estão conectados às principais redes elétricas.
 - **Difusão das fontes renováveis:** O armazenamento de energia pode ser útil no processo de suavização do sistema elétrico a curto prazo, permitindo uma maior penetração de fontes renováveis e geração intermitente de energia elétrica. O armazenamento de energia fornece *spinning reserve*¹⁷ para ajudar a gerenciar variações de carga ou geração de eletricidade.
- **Atacado (*Wholesale Market*):** O lado da oferta do setor elétrico. Abrange o mercado em que a eletricidade é gerada e vendida, além de fornecer serviços auxiliares de frequência necessários para a estabilidade da rede.
 - **Armazenamento em escala:** O armazenamento de energia pode fornecer qualidade, arbitragem de preços e confiabilidade ao mercado atacadista de eletricidade. Tecnologias como o armazenamento hidroelétrico bombeado são comumente utilizados para fornecer serviços de balanceamento de sistema de resposta rápida para permitir que fontes de geração com menor tempo de resposta operem com seu desempenho máximo.
- **Transmissão e distribuição:** A distribuição de eletricidade é fornecida por meio de mercados regulados de monopólio, que obtêm retornos e incentivos econômicos para o investimento e gerenciamento das redes. Este mercado também fornece serviços auxiliares de frequência necessários para a estabilidade da rede.
 - **Gestão da T&D:** O armazenamento de energia pode fornecer suporte de rede em regiões com alta participação de fontes renováveis. O investimento em sistemas de armazenamento de energia pode reduzir o congestionamento da capacidade de transmissão e distribuição e a sobrecarga em subestações, gerenciamento do fluxo de energia reverso frequentemente associado à concentração de sistemas de geração distribuída e fornecer serviços de estabilidade e qualidade da energia.
 - **Redes em áreas remotas:** A tecnologia de armazenamento de energia pode fornecer uma alternativa aos operadores de rede ou microredes que desejam

¹⁷Spinning reverse é a capacidade de geração extra disponível, aumentando a potência dos geradores que já estão conectados ao sistema de energia.

manter um fornecimento de eletricidade de alta qualidade e confiabilidade em regiões de difícil acesso ou remotas.

- **Usuário final ou agregador:** Inclui consumidores de eletricidade residenciais, comerciais e industriais. É o único segmento de mercado que pode obter valor econômico criado a partir de outros segmentos de mercado, tornando-o o mercado mais atraente para uma variedade de recursos energéticos distribuídos, como o armazenamento de energia.
 - ***Behind the meter (BTM)***¹⁸: O armazenamento de energia pode fornecer serviços de transferência de carga, *peak shaving*¹⁹ e *back-up*²⁰ para usuários finais. A utilização de energia solar fotovoltaica, como o armazenamento de energia, pode permitir instalações de PV maiores e aumentar a geração de energia elétrica intermitente *behind the meter*. A agregação de dispositivos de armazenamento de energia também pode permitir que a tecnologia seja aplicada a outros segmentos de mercado através do fornecimento de resposta à demanda, maior capacidade e serviços auxiliares.
 - **Veículos elétricos:** Utiliza dispositivos de armazenamento de energia transportáveis para fornecer eletricidade para os carros. É provável que as estações públicas de recarga rápida e troca de bateria também ajudem a facilitar a entrada da tecnologia no mercado.

Após a exposição dos mercados e aplicações dos sistemas de armazenamento de energia, o relatório AECOM (2015) discute os principais *drivers* que orientam o uso da nova tecnologia.

- **Economia de combustível:** O uso de dispositivos de armazenamento de energia nos setores automotivo ou fora da rede permite a mitigação de custos operacionais no uso de combustíveis para geração de energia elétrica.
- **Arbitragem no atacado:** A capacidade da geração de eletricidade corresponder à demanda do mercado. O armazenamento de energia pode mudar o processo de fornecimento de energia dos horários fora de pico para quando for necessário,

¹⁸Behind the meter é uma instalação de geração de energia renovável que produz energia destinada ao uso local em uma casa, prédio de escritórios ou outra instalação comercial. A localização do sistema é literalmente "Atrás do medidor", na propriedade do proprietário, não na lateral da rede elétrica / concessionária.

¹⁹Peak Shaving é o processo de redução da quantidade de energia comprada da empresa de serviços públicos durante o horário de pico da demanda.

²⁰Back-up é o sistema que garante o fornecimento ininterrupto de eletricidade

fornecendo um diferencial de preço. Consequentemente, o armazenamento de energia pode fornecer capacidade adicional em determinadas circunstâncias, reduzindo a necessidade de centrais elétricas que utilizam combustíveis fósseis para atender o pico da demanda.

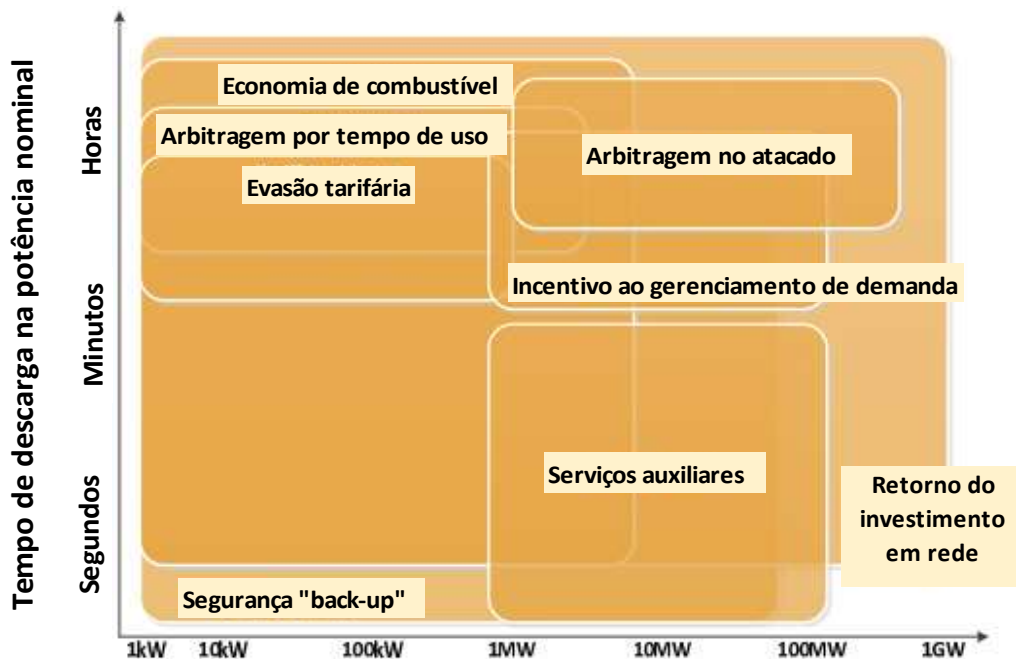
- **Serviços auxiliares:** As redes de eletricidade são um delicado equilíbrio de segundo a segundo entre geração e carga. O armazenamento de energia pode fornecer serviços auxiliares usados para manter as principais características técnicas do sistema, incluindo padrões para frequência, tensão, carregamento de rede e serviços de reinicialização do sistema.
- **Incentivo ao gerenciamento de demanda:** O objetivo é utilizar a tecnologia de armazenamento de energia para aliviar ou evitar a necessidade de gastos com infraestrutura necessários para gerenciar as restrições da rede.
- **Retorno do investimento em rede:** As empresas que atuam no setor elétrico obtêm uma taxa de retorno regulamentada que permite ao operador obter um retorno razoável pelo custo incorrido por meio de investimentos eficientes e operação de ativos de rede elétrica. À medida que o armazenamento de energia se torna mais maduro e competitivo em termos de custos, é provável que mais operadores de rede o incluam como parte de sua base de ativos.
- **Qualidade e confiabilidade da energia:** Os operadores de rede possuem confiabilidade do sistema e padrões de qualidade que devem ser mantidos. O armazenamento de energia pode ser usado para manter ou melhorar o desempenho do sistema, evitando multas por parte dos reguladores.
- **Evasão tarifária:** A combinação do armazenamento de energia com fontes de energia renováveis, como o PV, pode permitir que os usuários finais evitem o consumo da rede elétrica, consumindo mais energia renovável gerada atrás do medidor.
- **Arbitragem por tempo de uso:** A capacidade dos consumidores de usar o armazenamento de energia para evitar altas tarifas de eletricidade, transferindo a carga ou reduzindo a demanda de pico para tarifas mais baratas.
- **Segurança “back-up”:** O uso do armazenamento de energia como fonte de energia de reserva, fornecendo serviços de Uninterruptible Power Supply²¹, é uma aplicação óbvia do armazenamento de energia. Os custos e perdas de produtividade nos últimos anos

²¹Uninterruptible Power Supply (UPS) é um sistema elétrico que fornece energia de emergência quando a fonte de energia de entrada ou rede elétrica falha.

levaram um número de usuários finais que exigem alta confiabilidade para construir geradores de *back-up*.

Segundo o relatório, as tecnologias de armazenamento de energia têm uma gama diversificada de aplicações em cada uma das diferentes funções técnicas e comerciais do mercado de eletricidade, incluindo segmentos de mercado de transmissão, distribuição, usuário final, fora da rede, transporte e geração. Em cada um desses segmentos de mercado, as tecnologias de armazenamento podem desempenhar simultaneamente várias funções, desde a transferência de carga até a reserva rotativa e a manutenção da qualidade da energia. Cada uma dessas funções pode estar ligada a desafios impostos pela difusão de fontes renováveis. O Gráfico 2.1, retirado de AECOM (2015), mostra os *drivers* da tecnologia de armazenamento de energia de acordo com o tempo de descarga na potência nominal e sua capacidade total.

Gráfico 2.1 – Disposição dos *drivers* relacionados ao armazenamento de energia a capacidade elétrica e ao tempo de descarga



Fonte: Traduzido de AECOM (2015)

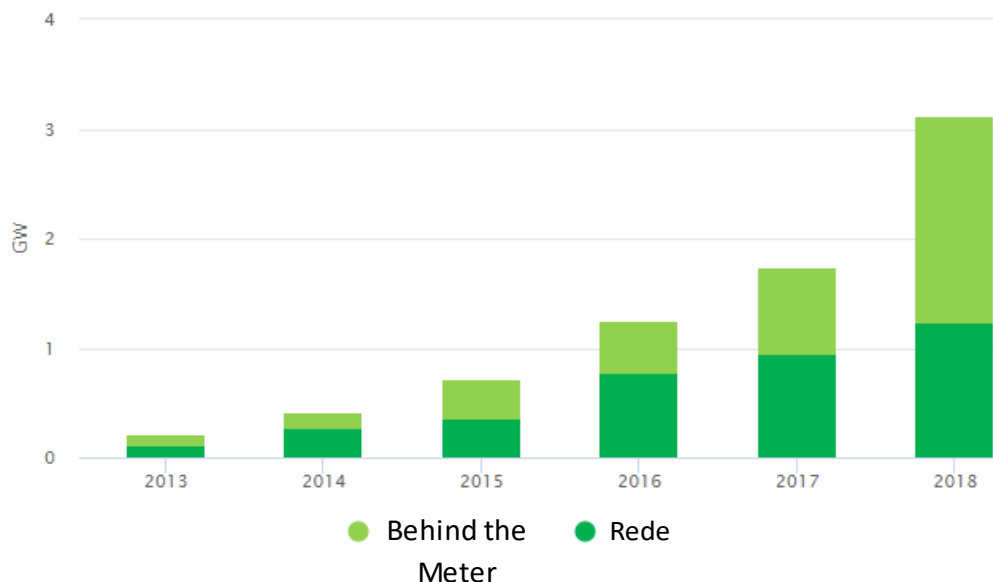
A armazenagem de energia elétrica se desenvolveu nas últimas décadas e, hoje, esse processo apresenta diferentes tecnologias disponíveis. Segundo Ibrahim et al (2008), é possível estocar energia nas formas: mecânica, química e termal. Diversos são os métodos de armazenamento de energia e cada tecnologia possui diferentes características e especificidades.

Os autores dividem as técnicas de armazenagem em quatro categorias, de acordo com suas aplicações:

- Aplicação de baixa potência em áreas isoladas, utilizada para alimentar terminais de emergência.
- Aplicação de média potência em áreas isoladas, utilizada em sistemas elétricos individuais ou abastecimento da cidade.
- Aplicação como conexão de rede e como nivelamento de pico de demanda.
- Aplicação como controlador da qualidade da energia elétrica.

O Gráfico 2.2, retirado de IEA (2019), mostra que a constante redução de custos das baterias e outras tecnologias garantiu o crescimento no número de sistemas de armazenamento de energia implantados no mundo. Em 2018, a capacidade de armazenamento quase dobrou, ultrapassando a marca de 8 GW instalados.

Gráfico 2.2 – Capacidade adicionada de sistemas de armazenamento de energia em baterias entre 2013 e 2018



Fonte: Traduzido de IEA (2019)

De acordo com AECOM (2015), a tecnologia de armazenamento de energia pode ser identificada como um sistema que armazena energia de alguma forma e libera posteriormente. As tecnologias de armazenamento podem ser agrupadas pelas semelhanças da forma de

armazenamento. A Figura 2.4, retirada do mesmo relatório, identifica os diferentes tipos de sistemas de armazenagem de energia.

Figura 2.4 – Classificação dos sistemas de armazenamento de energia

Mecânica	Elétrica
Central hidroelétrica reversível	Capacitores
Armazenamento de energia em ar comprimido	Supercondutores
Flywheel	Químico
Eletroquímica	Hidrogênio
Baterias convencionais (Chumbo ácida/NiCd/NiMh/Li)	Metano
Baterias de alta temperatura (NaS/NaNiCl)	Termal
Baterias de fluxo (Fluxo redox/fluxo híbrido)	Sal fundido
	Refrigeradores

Fonte: Traduzido de AECOM (2015)

O foco deste estudo está nas baterias, pois são o tipo mais versátil de armazenamento e possuem muitas aplicações relevantes. No entanto, existem muitos outros tipos de tecnologias de armazenamento de energia, alguns dos quais foram adotados em todo o mundo. O relatório AECOM (2015) descreve os principais sistemas de armazenagem de energia.

- **Flywheels:** São dispositivos mecânicos que giram em alta velocidade, armazenando eletricidade como energia rotacional. Essa energia é liberada posteriormente diminuindo a velocidade do rotor do volante, liberando rajadas de energia rápidas (ou seja, liberações de alta potência e curta duração). Os volantes têm baixa densidade energética, mas alta densidade de potência. Eles podem liberar grandes quantidades de energia por um curto período (normalmente minutos). Eles exigem manutenção mínima e geralmente têm uma vida útil mais longa que as baterias.
- **Central hidroelétrica reversível:** O armazenamento hidrelétrico bombeado utiliza dois reservatórios de água separados verticalmente. Ele usa eletricidade de baixo custo para bombear a água do reservatório mais baixo para o mais alto, usando uma bomba e uma turbina ou uma turbina de bomba reversível. Durante períodos de alta demanda, atua como uma usina hidrelétrica convencional, liberando água para acionar turbinas e,

assim, gerar eletricidade. A eficiência normalmente varia entre 70 e 85%. Em geral, as usinas hidrelétricas bombeadas podem atingir sua carga total de energia em alguns minutos, com tempo de reação de segundos. A hidroelétrica bombeada é historicamente a maneira mais barata de armazenar grandes quantidades de energia com alta eficiência por um longo tempo. É uma tecnologia madura que foi implementada em todo o mundo. Porém, requer grandes áreas de reservatório, não é adequado para a geração distribuída e atualmente, as regras ambientais dificultam as licenças para instalação do sistema.

- **Armazenamento de energia em ar comprimido:** Os sistemas de armazenamento de energia de ar comprimido (CAES) utilizam eletricidade fora do pico para comprimir o ar, armazenando-o em cavernas subterrâneas ou tanques de armazenamento. Este ar é posteriormente liberado para um combustor em uma turbina a gás natural para gerar eletricidade durante os períodos de pico. A eficiência normalmente varia entre 45 e 70%. O CAES é uma tecnologia relativamente madura e econômica; no entanto, requer grandes cavernas subterrâneas adequadas para armazenamento e geralmente é acoplado a geradores de gás natural não renováveis.
- **Capacitores:** Os supercapacitores armazenam energia em grandes campos eletrostáticos entre duas placas condutoras, que são separadas por uma pequena distância. A eletricidade pode ser rapidamente armazenada e liberada usando essa tecnologia, a fim de produzir pequenas explosões de energia. Supercapacitores são dispositivos de alta potência e baixo consumo de energia que podem reagir muito rapidamente. Devido à ausência de uma reação química (ao contrário das baterias), eles podem suportar um número muito alto de ciclos (até 100.000). Eles são altamente eficientes (80 – 95%), mas requerem sofisticados componentes eletrônicos para garantir estabilidade. As aplicações incluem estabilização de tensão e frequência da rede elétrica.
- **Supercondutores (SMES):** Os supercondutores armazenam energia em um campo magnético. Este campo é criado pelo fluxo de eletricidade de corrente contínua (CC) em uma bobina super-resfriada. Em materiais supercondutores de baixa temperatura, as correntes elétricas quase não apresentam resistência, para que possam percorrer a bobina do fio supercondutor por um longo tempo sem perder energia. Os SMES reagem quase instantaneamente e têm uma vida útil muito alta. Eles exigem manutenção limitada e podem alcançar altos níveis de eficiência, com perdas entre 2 e 3% resultantes dos conversores CA / CC. No entanto, existem altos requisitos de energia para

refrigeração para manter o sistema em temperaturas extremamente baixas, além da complexidade do sistema e do alto custo dos supercondutores. Atualmente, os SMES estão em fase inicial de demonstração e são adequadas apenas para armazenamento de curto prazo.

- **Célula de combustível de hidrogênio:** As tecnologias de armazenamento de energia de hidrogênio são baseadas na conversão química de eletricidade em hidrogênio. A eletrólise é usada para dividir a água (H_2O) em seus elementos constituintes, hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2). Devido à sua baixa massa atômica, possui uma energia específica incomparável. O processo de eletrólise pode ser revertido (isto é, hidrogênio e oxigênio geram eletricidade e água) para alimentar a eletricidade de volta à rede, usando uma célula de combustível. A eficiência desse processo é de 30 a 45%.
- **Combustão a hidrogênio:** O hidrogênio pode ser passado através de motores térmicos, de maneira semelhante ao gás natural, para produzir eletricidade. Algumas desvantagens incluem baixa eficiência (20 a 35%), alto custo de capital e preocupações com segurança, pois o hidrogênio é um gás extremamente volátil.
- **Sal fundido:** Os sais fundidos são sólidos à temperatura ambiente e pressão atmosférica, mas sofrem uma mudança de fase quando aquecidos. Esse sal líquido é frequentemente usado para armazenar calor em instalações de energia solar, para uso posterior na geração de eletricidade. O sal fundido é capaz de armazenar grandes quantidades de energia por até 15 horas e alcançar altos níveis de eficiência. O armazenamento de sal fundido é limitado às aplicações da tecnologia CSP.
- **Refrigeradores:** O armazenamento térmico também pode ser usado em aplicações de baixa temperatura, como sistemas de ar condicionado. A água pode ser resfriada ou congelada durante períodos de baixa tarifa fora do horário de pico e depois liberada como uma carga “resfriada” em períodos tarifários mais altos. Essa tecnologia atinge níveis de eficiência entre 75 – 90%.

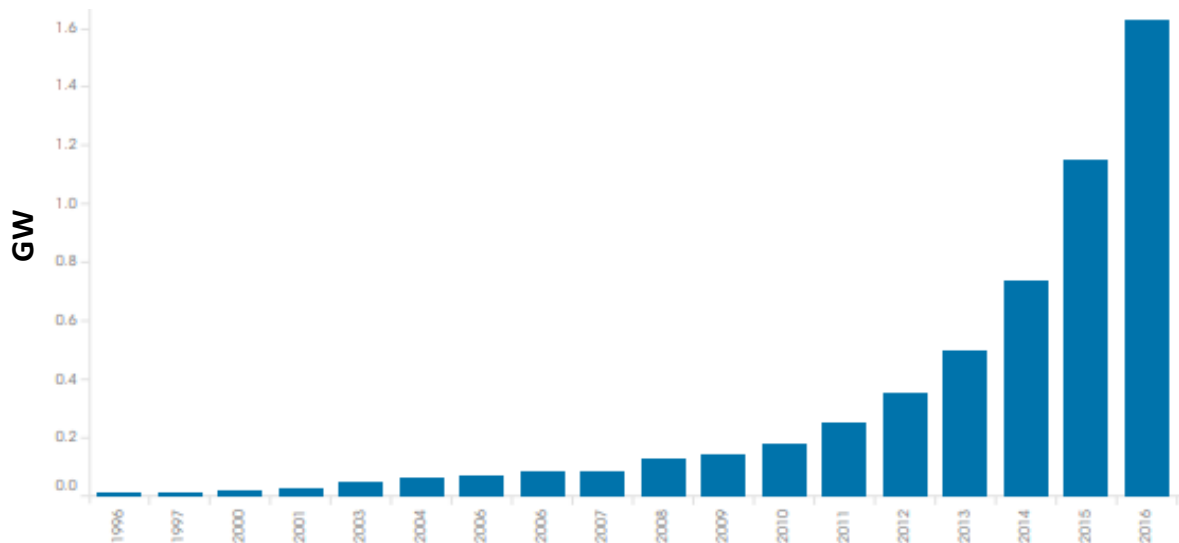
Segundo Zareipour (2015), a capacidade de armazenamento de energia instalada no mundo representa apenas 2% da capacidade elétrica global. Destes 2%, 99% se refere ao armazenamento por bombeamento hidráulico em centrais hidroelétricas reversíveis. Portanto, ainda existe um longo caminho a ser percorrido pelos demais sistemas de armazenamento de

energia. Como dito anteriormente, esse trabalho focará nas tecnologias eletroquímicas de armazenagem de energia.

Segundo Silva (2008), uma bateria é um acumulador químico que tem capacidade de transformar, através de reações, a energia química em energia elétrica. Essa transformação gera pouca emissão de poluentes prejudiciais ao meio ambiente, não produz ruídos e necessita de pouca manutenção para o funcionamento. O estudo da IRENA (2015) debate como as maneiras e as condições sob as quais as baterias são utilizadas afetam a performance, o custo e a vida útil das unidades. De acordo com o estudo, a capacidade de uma bateria é dada em potência e denotada em kW ou MW, e a quantidade da capacidade utilizada da bateria pode ser chamada de profundidade de descarga, característica que afeta a vida operacional do equipamento.

Silva e Bortoni (2016) discutem a vida operacional de uma bateria. A vida cíclica do equipamento é o número de ciclos em que poderá ser carregada e descarregada sem que isso afete sua performance. Os autores entendem que o armazenamento de energia através de baterias é uma tecnologia já estabelecida no mercado, mas que precisa evoluir para ganhar espaço na indústria de energia. Já IRENA (2015) cita as principais barreiras ainda existentes para que as baterias não sejam totalmente integradas no setor elétrico. Entraves relacionados à estética dos equipamentos, performance, segurança, barreiras regulatórias, competitividade nos custos e aceitação do mercado, ainda são pontos que precisam ser superados. Segundo IRENA (2017c), nos últimos vinte anos, o número de instalações que utilizam armazenamento eletroquímico de energia cresceu exponencialmente. O Gráfico 2.3 retirado do relatório US DOE (2017), mostra que a redução dos custos e o rápido ganho de eficiência das baterias permitiu o crescimento da capacidade instalada nas últimas duas décadas.

Gráfico 2.3 – Capacidade instalada global de armazenamento eletroquímico entre 1996 e 2016



Fonte: Traduzido de US DOES (2017)

De acordo com IRENA (2017), nos próximos anos, a indústria de armazenamento de energia em baterias ganhará escala e se expandirá com a ajuda das fontes renováveis. As inovações relacionadas à armazenagem, ao amadurecimento do arcabouço regulatório e à inserção das baterias no mercado do setor energético permitirão a difusão da tecnologia de armazenamento. As baterias utilizadas no processo de armazenagem são parte de um sistema maior.

Para Silva e Bortoni (2016), a unidade utilizada para armazenar energia contém diversos componentes primários, sistemas de monitoramento e controle, além de um sistema de conversão de potência. O primeiro sistema citado gerencia o armazenamento, garantindo a segurança do processo e maximizando a eficiência da unidade. As funções desse sistema de gerenciamento são a prevenção da sobrecarga e do controle de carga e descarga da bateria. O segundo sistema citado no estudo é o de conversão de potência que, por sua vez, consiste no fato de que as baterias geram energia em corrente contínua (CC), enquanto a maioria dos sistemas elétricos convencionais funcionam em corrente alternada (CA). Assim sendo, o sistema de conversão converte a energia CC em CA durante períodos de descarga.

O relatório IRENA (2015) apresenta a diversidade de baterias no mercado energético. As características técnicas e de performance se diferenciam por tipo de tecnologia utilizada, fabricante e fornecedor da bateria. Os modelos podem oferecer tempo de descarga de segundos

ou até dias, enquanto a capacidade pode variar de quilowatts até megawatts. Outras características das baterias, como o nível de tensão, profundidade da descarga e manutenção, também variam de acordo com a tecnologia e com a marca.

Para Silva e Bortoni (2016), não existe um tipo de bateria que sirva para uma única aplicação. São várias opções, dependendo da necessidade e dos critérios de uso, como: requisitos de performance, eficiência, limitações de espaço, infraestrutura de instalação da unidade, condições ambientais, segurança, disponibilidade e custo dos componentes, requisitos e custos de manutenção, ciclo de vida da tecnologia utilizada, profundidade da descarga, requisitos da rede, custo das baterias e confiabilidade do fabricante e do fornecedor.

O estudo de Faias et al (2009) divide as baterias em duas categorias: eletroquímicas e fluxo redox. Segundo os autores, as baterias eletroquímicas usam eletrodos, positivos e negativos, como parte do processo de transferência de elétrons em uma solução condutora, chamada de eletrólito. As principais baterias nessa categoria são: chumbo-ácido, níquel-cádmio (NiCd), sódio-enxofre (NaS) e íons de lítio.

- **Chumbo-Ácido:** Devido ao baixo custo e pronta disponibilidade, esse tipo de bateria eletroquímica é conhecido como a opção padrão para o armazenamento de energia em novas aplicações. De acordo com o IEC (2010), a bateria de chumbo-ácido é a mais difundida e comercializada no mundo. As aplicações mais comuns para esse tipo de bateria são: sistemas de oferta de energia emergenciais, *stand-alone power system*²² (*SAPS ou RAPS*), sistemas de baterias que mitigam flutuações na produção de eletricidade e baterias para carros. O tempo de vida da unidade varia entre 6 e 15 anos, com o ciclo de vida de 1.500 ciclos com 80% de profundidade de descarga e um nível de eficiência cíclica em torno de 80% - 90%. Segundo o Electric Power Research Institute (2003) e o Department of Energy (2003), esse tipo de bateria apresenta algumas deficiências, como: baixa energia específica, difícil manutenção e riscos ambientais devido aos componentes químicos chumbo e o ácido sulfúrico. A popularidade dessa opção, que contrasta com as deficiências, pode ser explicada pelo contínuo aprimoramento da tecnologia em relação aos componentes químicos, design, técnicas

²² Stand-alone power system são utilizados em localidades que não são atendidas pelo sistema de distribuição energética

operacionais e manufatura. Dessa forma, as inovações têm minimizado os problemas desse tipo de bateria, tornando-a muito utilizada.

- **Níquel-Cádmio (NiCd):** Essa bateria é comercializada desde o início do século passado. Quando comparada com a chumbo-ácido, conclui-se que a níquel-cádmio tem maior densidade energética e maior número de ciclos durante a vida útil. Segundo o IEC (2010), do ponto de vista técnico, as baterias de níquel-cádmio são um produto de sucesso no mercado. São as únicas unidades capazes de performar em temperaturas extremas como - 40°C. Um fator importante sobre esse tipo de bateria é a toxicidade do cádmio. Por esse motivo, a Europa só permite o uso em aplicações estacionárias.
- **Sódio-Enxofre (NAS):** São baterias que possuem vida útil com 4.500 ciclos e tempo de descarga entre 6h –7h. Segundo o IEC (2010), as baterias de sódio-enxofre são eficientes e possuem uma rápida resposta. De acordo com o relatório, as unidades NAS são economicamente viáveis e utilizadas em funções como qualidade da potência e time-shift²³ com alta densidade energética. São baterias que utilizam tecnologia de armazenamento de energia comercial. Possui aplicações de apoio às redes elétricas em empresas concessionárias, na integração de fontes de energia renovável como a eólica e a solar, de acordo com EPRI e DOE (2013). Um fator positivo desse tipo de bateria é a capacidade de resposta precisa na minimização de transtornos na qualidade da energia. Dessa forma, as baterias NAS possuem as características necessárias para atuarem como estabilizadoras da rede, tanto para utilidades, como para grandes consumidores.
- **Íons de lítio:** Esse tipo de bateria obteve um crescimento exponencial na última década. Inicialmente, eram utilizadas em pequenos produtos de consumo, mas, nos últimos anos, muitas empresas desenvolveram unidades em formatos maiores. Silva e Bortoni (2016) analisam que as aplicações das baterias de íons de lítio podem variar desde unidades que precisam de poucos kWh em sistemas residenciais até grandes baterias que utilizam MW, para suprir serviços auxiliares na rede elétrica. De acordo com Bhatnagar et al (2013), embora as baterias de íon de lítio estejam em processo de desenvolvimento e redução de custos, essa opção de armazenamento é ainda vista como um investimento de risco, devido à dificuldade de mensuração da performance, longevidade e custo benefício. Nesse sentido, os carros elétricos podem ser propulsores dessa tecnologia, já

²³ Time-Shift é a estratégia de armazenagem de energia elétrica quando seu valor e / ou preço são baixos ou utilizar a energia elétrica armazenada quando o valor e / ou preço estão altos.

que essa opção é muito utilizada pelo mercado automotivo (carros híbridos) e existem grandes investimentos no setor, através de empresas como a Tesla.

As baterias de fluxo redox armazenam energia por meio de reações entre duas soluções condutoras separadas por uma membrana semipermeável. Enquanto os íons fluem pela membrana, uma corrente elétrica é induzida nos condutores. As principais baterias nessa categoria são: zinco-bromo (ZnBr), redox de vanádio (VR), ferro-cromo (FeCr) e ferro-zinco (FeZn).

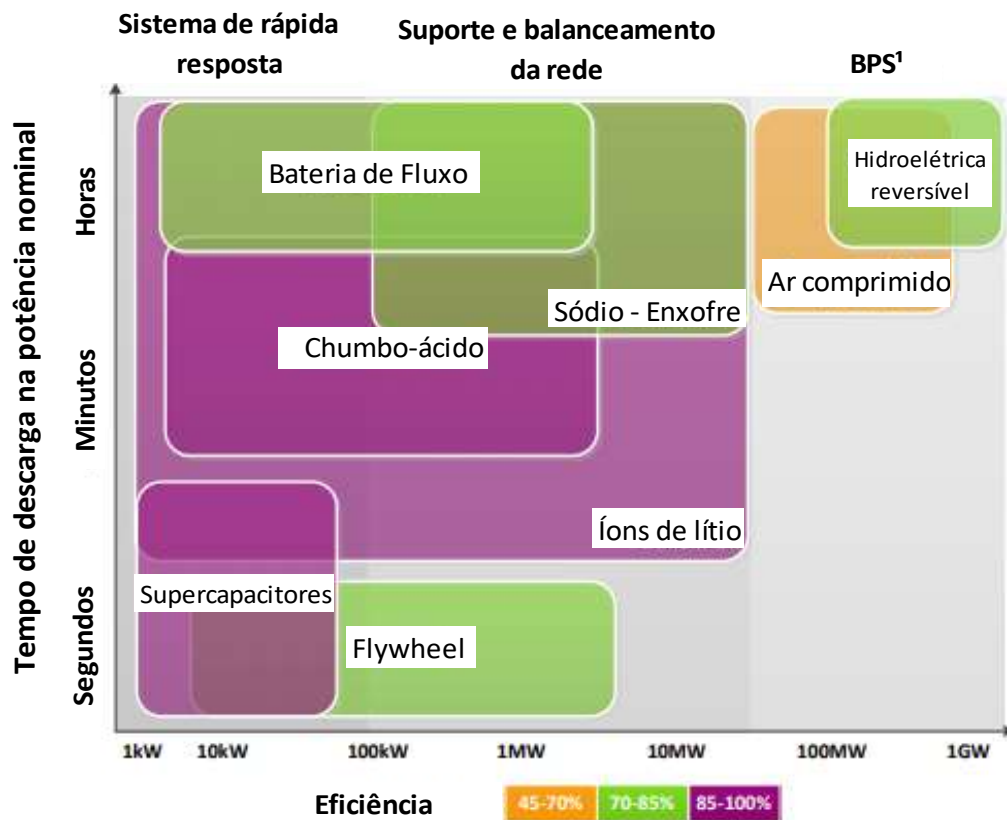
Segundo Silva e Bortoni (2016), dentre as opções listadas acima, as baterias mais desenvolvidas são as unidades de redox de vanádio e as de zinco-bromo. Comparando-as com as baterias eletroquímicas apresentadas anteriormente, temos que estas possuem armazenagem de longa duração, com menor degradação do meio ambiente e com alta expectativa de vida. Além disso, os custos são mais baixos do que as baterias de íons de lítio.

Zareipour (2015) compara as duas opções mais populares, mostrando que as baterias ZnBr apresentam um tempo de resposta menor do que milissegundos, tornando-as interessantes em aplicações com geração variável e no controle da qualidade de energia. As baterias VR, por sua vez, também podem ser utilizadas nas aplicações descritas acima. Ambas as opções de bateria possuem eficiência em torno de 75% - 80%, mas quando se trata de vida útil da unidade, as ZnBr variam entre 1.000 – 3.650 ciclos, enquanto as VR são superiores, alcançando 12.000 ciclos.

O relatório AECOM (2015) realiza uma comparação dos diferentes sistemas de armazenamento de energia, seus tempos de descarga relativos, escala de potência MW e eficiência. Por exemplo, as centrais hidroelétricas reversíveis têm uma grande capacidade de energia descarregada por um longo período de tempo, enquanto os supercapacitores e *flywheels* estão no final da capacidade de potência mais baixa, mas operam muito rapidamente em curtos períodos de tempo. As baterias são capazes de fornecer armazenamento de curto a médio prazo em uma ampla faixa de capacidade de saída. Por serem modulares e escaláveis, as baterias podem fornecer qualquer escala de capacidade de energia, desde rápidas até lentas.

O Gráfico 2.4, retirado do mesmo relatório, apresenta essa comparação de tecnologias de armazenamento de energia.

Gráfico 2.4 – Tempo de descarga e capacidade de potência (MW) das tecnologias de armazenamento de energia



¹ BPS (Bulk power system) é um grande sistema interconectado composto de instalações de geração e transmissão de eletricidade e seus sistemas de controle

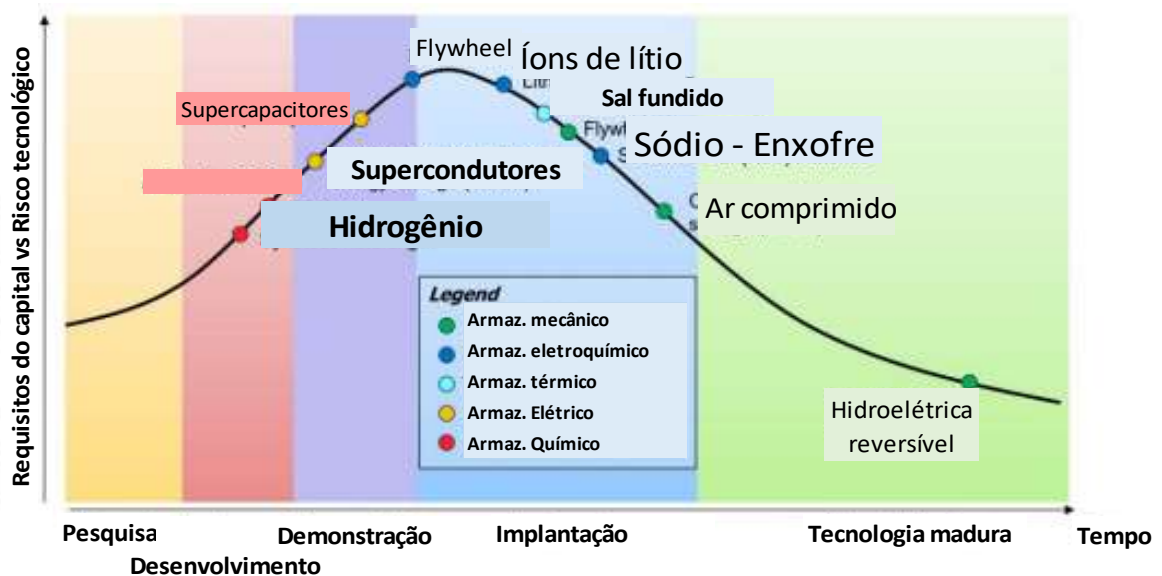
Fonte: Traduzido de AECOM (2015)

A comparação do nível de eficiência, tempo de descarga e capacidade das diferentes tecnologias de armazenamento de energia é essencial para uma posterior aplicação desses sistemas dentro do setor elétrico. No início dessa seção foi apresentado quatro mercados potenciais para os sistemas de armazenamento de energia e através deles que os agentes econômicos envolvidos no setor elétrico terão acesso as utilidades de cada uma das tecnologias disponíveis.

Atualmente, os sistemas de armazenamento de energia não se encontram no mesmo estágio de desenvolvimento e implantação. O Gráfico 2.5, retirado do relatório AECOM (2015), compara as tecnologias apresentadas anteriormente em termos de maturidade, custos de capital relativos e risco. A central hidroelétrica reversível é a tecnologia mais madura, com 99% da participação no mercado de armazenamento de energia, seguido pelo armazenamento via ar

comprimido e as baterias de Sódio-Enxofre (NaS). As baterias de íon de lítio estão em fase de implantação, mas a tecnologia já apresenta redução de custos exponencial nos últimos anos.

Gráfico 2.5 – Curva de maturidade tecnológica dos sistemas de armazenamento de energia



Fonte: Traduzido de AECOM (2015)

Silva e Bortoni (2016) debatem em seu estudo os aspectos econômicos e de mercado dos sistemas de armazenamento de energia. O trabalho busca entender alguns fatores que dificultam a consolidação dos SAEs nos sistemas elétricos.

Os desafios na implantação de sistemas de armazenamento de energia são muitos. Silva e Bortoni (2016) analisam as barreiras existentes à inserção de novas tecnologias de armazenagem elétrica. Em algumas situações, o principal entrave à implantação do armazenamento de energia via baterias é o elevado custo de capital, mas também é possível identificar barreiras adicionais incorporadas em regras e regulações que dificultam a difusão da tecnologia no mercado.

Segundo Scholten e Kunneke (2018), o processo de alinhamento institucional que engloba as novas regulações e normas. Os autores entendem que a evolução regulatória é um movimento adaptativo, que se transforma ao longo do tempo e engloba os principais agentes econômicos envolvidos na operação do sistema elétrico, na indústria energética e na estrutura institucional construída.

O estudo de Bhatnagar et al (2013) lista as cinco principais barreiras: regulação, econômica, modelo de negócios, *crosscutting*²⁴ e tecnologia. Abaixo, a Figura 2.5 apresenta as cinco barreiras citadas pelo autor e resume quais as dificuldades dentro de cada tópico.

Figura 2.5 – Barreiras à implantação dos sistemas de armazenamento de energia (SAES)

Barreiras					
Regulatórias		Econômicas (de Mercado)	Modelagem de Negócios	Crosscutting	Tecnológicas
Subdivisões	Questões administrativas	Mecanismo de compensação de receita	Incertezas e riscos para concessionárias e desenvolvedores	Conhecimento limitado das partes interessadas	Altos custos das tecnologias
	Restrições de classificações funcionais e questões de alocações de custos	Ausência de mercados		Restrições de modelo e falta de recursos de modelagem	
	Discrepâncias de regras entre os mercados	Ausência de sinais de preço			

Fonte: Bhatnagar et al (2013)

Como explicitado na tabela acima, Bhatnagar et al (2013) subdividem os problemas dentro de cada barreira. No âmbito regulatório, surgem três problemas que atrasam a implementação dos SAES. O primeiro se deve às questões administrativas. A lentidão na implementação da regulação setorial é uma barreira. Isto se deve à complexidade das questões regulatórias que o armazenamento de energia enfrenta, além da necessidade de acompanhar as mudanças no mercado e as regras operacionais.

Hufen (2016) debate como a mudança no padrão de consumo e consciência ambiental também interfere no processo de construção do arcabouço regulatório. A adaptação a novas necessidades do mercado e da sociedade impactam diretamente a elaboração das normas.

O segundo problema trata das restrições de classificações funcionais e as questões de alocação de custos. O sistema de armazenamento de energia é capaz de fornecer serviços em cada uma das classificações funcionais de geração, transmissão e distribuição. No entanto, existem restrições regulamentares, exigências contábeis e falta de transparência, impedindo que

²⁴ O termo *crosscutting* não possui tradução em português, mas refere-se à ideia de transversalidade. Neste caso, pode-se admitir que são barreiras que atingem todas as partes interessadas.

um utilitário ou desenvolvedor possa receber pela prestação de serviço sob múltiplas classificações. A utilização do sistema para prestação de mais de um serviço simultaneamente é vedada. Esse imbróglho permite que uma fonte de armazenamento seja considerada não econômica, quando ela pode ser.

O terceiro problema presente no quesito regulação é a discrepância de regras entre os mercados. Os desenvolvedores buscam maximizar a receita potencial operando em vários mercados diferentes. A dificuldade ocorre quando cada mercado possui características próprias, como arcabouço regulatório e modelo financeiro. Essa inconsistência adiciona um nível de complexidade para a implantação de sistemas de armazenamento de energia. No aspecto econômico, o autor trabalha com três tipos de dificuldade:

- **Mecanismos de compensação de receitas:** Refere-se à impossibilidade de receber uma compensação adequada pela prestação de serviços auxiliares. A impossibilidade de oferecer serviços que vão além da missão principal de fornecimento de energia tem um efeito perverso sobre a eficiência de mercado. A perda de receita oriunda de serviços auxiliares reflete o custo de oportunidade para os geradores. Isso ocorre porque os SAEs que prestam serviços auxiliares não são compensados pelo seu desempenho.
- **Ausência de mercados:** A falta de mercados para serviços como o de resposta inercial²⁵, *black-start*²⁶ e outros, dificulta o desenvolvimento de projetos para sistemas de armazenamento de energia. Essa situação torna mais complexa a implantação de modelos de negócios rentáveis no setor.
- **Ausência de sinais de preço:** A determinação dos preços de mercado para os serviços de armazenagem e auxiliares é difícil. A consequência direta é a complexidade na projeção de receitas geradas por esses sistemas. Uma solução viável é a análise de preços em mercados semelhantes, dessa forma, os desenvolvedores e reguladores conseguiriam estimar o valor dos serviços. As concessionárias podem ajudar na avaliação da economia do sistema. Os autores do estudo argumentam que uma maior

²⁵ A resposta inercial é uma propriedade de grandes geradores síncronos, que atuam para superar o desequilíbrio imediato entre a unidade geradora e a rede elétrica. Permite que o operador da rede reequilibre o sistema e evite uma variação grande da frequência.

²⁶ O Black Start é o procedimento que usamos para restaurar a energia no caso de um desligamento total ou parcial do sistema nacional de transmissão de eletricidade.

transparência dos preços e procedimentos de compensação podem ajudar a aumentar a eficiência do sistema e reduzir os custos para os contribuintes.

A quarta barreira é o modelo de negócio. As concessionárias e os desenvolvedores consideram alguns fatores de incerteza que podem dificultar a implementação dos sistemas: economia, capacidade técnica, desempenho do ciclo de vida e longevidade do armazenamento de energia. Segundo os autores, as incertezas relacionadas ao desempenho da economia geram variabilidade dos preços da demanda, de energia e dos serviços auxiliares. Outro fator importante é o contínuo processo de inovação que modifica os recursos do sistema, além das mudanças regulatórias que podem afetar os contratos e o mercado.

No aspecto relacionado ao *crosscutting*, existem duas dificuldades. A primeira é o limitado conhecimento das partes interessadas. As concessionárias e a indústria de energia desconhecem os benefícios dos sistemas de armazenamento de energia. O desconhecimento da tecnologia pode ser um desafio para a inserção dos SAEs. Essa dificuldade também cobre os agentes reguladores, que não compreendem totalmente as tecnologias e suas capacidades. A segunda complicação é a dificuldade na modelagem de novos negócios. Embora a tecnologia tenha mitigado esse problema nos últimos anos, as concessionárias ainda possuem modelos limitados a recursos tradicionais para um sistema de energia tradicional com geração e carga previsível. A inserção de fontes energéticas renováveis, tecnologias de armazenamento de energia e outras inovações do lado da geração mudam os parâmetros dos modelos. As ferramentas ainda são inadequadas para a comparação dos sistemas.

A quinta barreira citada pelos autores é a barreira técnica. Os altos custos ainda inviabilizam investimentos das concessionárias em sistemas de armazenamento de energia. O contínuo aprimoramento e desenvolvimento de tecnologias pode ser a chave para tornar o sistema mais competitivo. O estudo analisa que as pesquisas poderiam ser direcionadas para tecnologias que permitam a evolução de desempenho específico e que atendam às necessidades do sistema de energia aos custos mais baixos possíveis.

A superação de todas essas barreiras citadas no estudo de Bhatnagar et al (2013) precisa do esforço conjunto do setor público, setor privado, universidades, centros de pesquisa e sociedade. Como debatido por Silva e Bortoni (2016), as soluções para os problemas relacionados ao armazenamento de energia em baterias consiste no estabelecimento de mercados, novas tecnologias e políticas de incentivo apropriados.

De acordo com Blind (2012), as condições da estrutura regulatória são fatores importantes que influenciam o processo de inovação. No entanto, os impactos da regulação são avaliados como ambivalentes para a inovação em geral, geralmente dependendo dos diferentes tipos de processo inovativo estudados. Diferentes tipos de regulação podem gerar vários impactos sobre a inovação e, mesmo uma única regulamentação específica, pode influenciar a inovação de várias maneiras.

Como discutido neste capítulo, o processo inovativo traz consigo novos desafios aos agentes responsáveis por pensar a regulação. A constante busca pelo aperfeiçoamento e pelo ajuste fino das regras e normas tem impacto na forma como as empresas inovam e vice-versa. Além disso, o capítulo também discutiu as tecnologias de armazenamento de eletricidade, suas variadas aplicações no mercado de energia e os desafios encontrados na introdução dessas tecnologias no sistema elétrico.

No capítulo seguinte, o trabalho analisará as estratégias de transição energética, o arcabouço regulatório e as oportunidades e barreiras à introdução de sistemas de armazenamento de energia elétrica em baterias nos cinco países selecionados, a fim de construir uma estrutura de comparação.

CAPÍTULO 3 – POLÍTICAS E QUADRO LEGAL PARA O ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

Este capítulo tem como objetivo apresentar a atual estrutura do setor elétrico em cada um dos países e seus planos de transição energética. Além disso, também é apresentada a estrutura legal e regulatória desenhada para o processo de transição energética e para a tecnologia de armazenamento de energia em baterias. Por fim, são analisadas as principais oportunidades e barreiras à difusão do uso de baterias no setor elétrico.

Para a análise comparativa, foram selecionados os seguintes países: Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido. Inicialmente, será apresentada a metodologia utilizada para a escolha destes países, a seleção dos documentos e legislações utilizadas, além da estrutura para padronização. Em seguida, será feita a apresentação em detalhe, utilizando a estrutura padronizada.

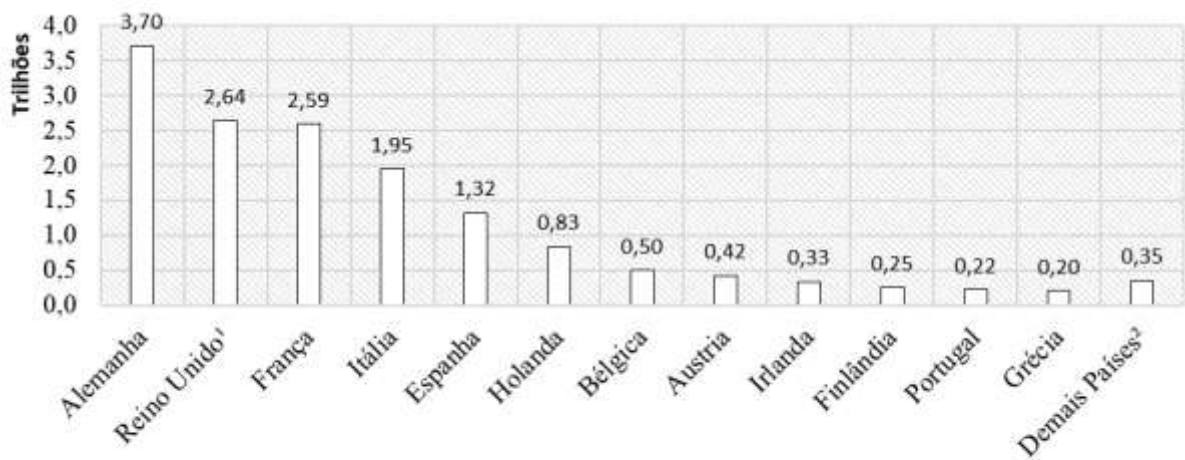
3.1 – Metodologia

O trabalho consistiu na compilação, leitura e comparação dos documentos oficiais sobre transição energética e legislações voltadas para a difusão das fontes renováveis e tecnologia de armazenamento de energia em baterias em cinco países europeus. Para tanto, foi necessário escolher os países a serem analisados. Seguidamente, foi necessário definir quais documentos e legislações que seriam utilizados como base. Por fim, devido às diferenças em termos de conteúdo e forma, fez-se necessário padronizar a apresentação das políticas e do quadro legal, utilizando-se uma estrutura aplicável a todos os planos e legislações. Esses critérios metodológicos serão discutidos em maior detalhe a seguir.

3.1.1 – Seleção de países

Os cinco países escolhidos para análise foram Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido. Eles foram escolhidos por se tratarem das cinco maiores economias europeias, em termos de PIB nominal, segundo dados do *World Economic Outlook Database* do FMI para o ano de 2017, como mostra o Gráfico 3.1.

Gráfico 3.1 – Produto interno bruto dos países da União Europeia em 2017



¹ Reino Unido foi considerado como país ainda pertencente a União Européia

² Demais países: República Tcheca, Luxemburgo, Eslovênia, Lituânia, Letônia, Estônia, Chipre e Malta

Fonte: Elaboração própria com dados do FMI (2019)

Além disso, esses países possuem políticas nacionais de transição energética bem estruturadas e de tamanho significativo.

3.1.2 – Seleção dos documentos e legislações

Com o objetivo de comparar os planos de transição energética e legislações recentes, buscou-se encontrar documentos oficiais que apresentassem as diretrizes, bem como os programas e legislações de cada país. Esta busca foi uma tarefa difícil, tendo em vista que os cinco países possuem estratégias nacionais recentes bem estruturadas, mas não possuem legislações específicas para os sistemas de armazenamento de energia em baterias.

No caso da Alemanha, o documento base para análise da política de transição energética é o *Energiewende*, publicado pelo *Federal Ministry for Economic Affairs and Energy* (BMWi) em 2010. Para análise do quadro legal, utilizou-se o *EnWG (Energy Industry Act)* 2016 e o *EEG (Renewable Energy Sources Act)* 2017.

Com relação à Espanha, foi utilizado para análise da política de transição o *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*, publicado pelo *Ministerio para La Transición Ecológica*. Para a análise da estrutura legal espanhola, foram analisadas a *Ley del Sector Eléctrico* de 2013 e o *Real Decreto* de 2015.

Já no caso da França, os documentos base da transição energética são a *Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)* e a *Stratégie Française pour L'Énergie et Le Climat*, publicado

pelo *Ministère de La Transition Écologique et Solidaire* em 2018. Para a análise do quadro legal, utilizou-se a *Loi de transition énergétique* 2015.

No que diz respeito à Itália, o documento base para a política de transição do mercado de energia é o *Strategia Energetica Nazionale*, publicado pelo *Ministero dello Sviluppo Economico* e *Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare* em 2017. Para análise da estrutura legal italiana, foi utilizado o *Decreto legislativo 2011*.

No caso do Reino Unido, os documentos base para o processo de transição energética são o *UK Low Carbon Transition Plan* e *The Clean Growth Strategy*, publicados pelo antigo *Department of Energy & Climate Change*, em 2009, e pelo *Department for Business, Energy and Industrial Strategy*. Para análise do quadro legal utilizou-se o *Electricity Act 1989* e *Utilities Act 2000*.

3.1.3 – Estrutura para comparação dos modelos

Devido às grandes diferenças em termos de forma, conteúdo e retórica nos documentos e legislações, foi necessário realizar uma padronização para torná-las comparáveis. Para tanto, foi elaborada uma estrutura específica para esse trabalho, partindo das características do material utilizado.

Inicialmente, o conteúdo foi dividido em três categorias: Transição energética, Arcabouço Regulatório e Oportunidades e Barreiras. A categoria “Transição Energética” consiste na apresentação do panorama atual do setor elétrico e no debate dos planos nacionais de desenvolvimento energético sustentável.

O “Arcabouço Regulatório” se refere à estrutura regulatória e às legislações específicas do setor elétrico. Analisa o movimento histórico de desenvolvimento do quadro legal no país e identifica quais são as autoridades reguladoras, suas atribuições e quais legislações vigentes que organizam o setor elétrico e debatem a tecnologia de armazenamento de energia em baterias.

A categoria “Oportunidades e Barreiras” visa identificar as oportunidades e dificuldades que os sistemas de armazenamento de energia em baterias enfrentam no mercado de energia. Nela são descritas as oportunidades e barreiras comerciais e técnicas existentes em cada um dos países analisados, além de debater como o mercado tem se comportado e qual o papel do setor privado e do setor público no processo de difusão da tecnologia.

3.2 – Alemanha

O setor elétrico na Alemanha evoluiu de forma dinâmica nas últimas décadas. O processo de liberalização do mercado alemão, iniciado no fim da década de 1990, modificou a estrutura regulatória e administrativa do setor. Segundo Scholz e Ante (2018), os monopólios regionais existiam no setor até 1998.

Os primeiros movimentos para liberalizar o mercado elétrico alemão foram feitos a nível europeu. Nos anos 80, a comissão europeia desenvolveu uma estratégia legislativa para a criação de um mercado único europeu de energia. As diretivas da União Europeia buscavam a criação de mercados orientados para a concorrência. Esse movimento levou o governo alemão a reformar o mercado de energia, que, atualmente, passa por um processo de transição energética.

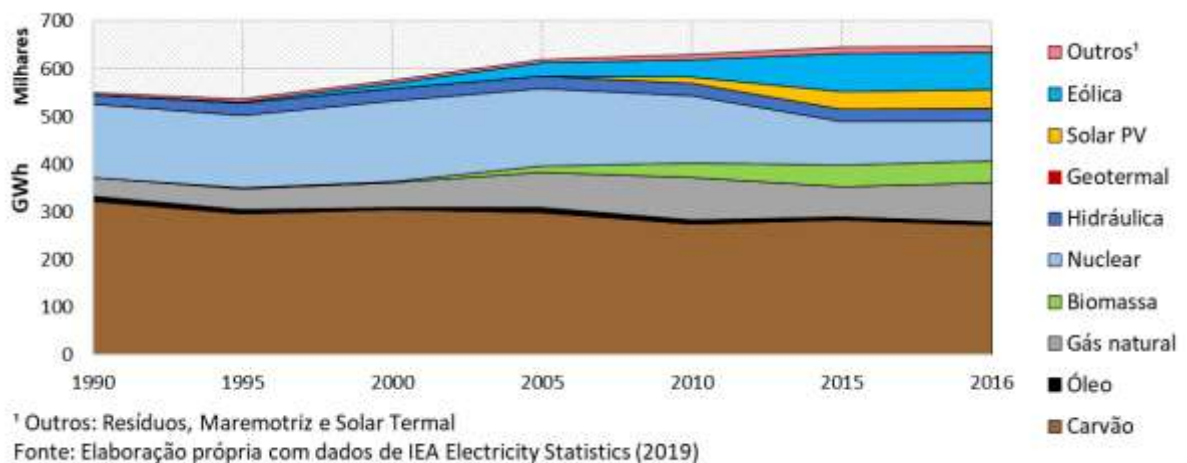
3.2.1 – Processo de transição energética

O *Energiewende* é uma estratégia nacional alemã de longo prazo para o desenvolvimento de um sistema energético de baixo carbono baseado em energia renovável e eficiência energética. Não há data oficial de início para o *Energiewende*, mas sim um processo contínuo e gradual de transição do sistema energético. O plano pode ser visto como uma série de leis federais que se baseiam umas nas outras, cada uma se adaptando às realidades atuais, mantendo o foco na visão de longo prazo de transformar o sistema energético alemão. Garantir o fornecimento de energia confiável e ambientalmente saudável é um dos maiores desafios do século XXI e esse objetivo é a principal força motriz do *Energiewende*.

Segundo BMWi (2010), o plano alemão é transformar o país em uma das economias mais eficientes em termos de energia e ambientalmente consciente, com preços competitivos de energia e alto nível de prosperidade econômica. Assim, os principais fatores impulsionadores do *Energiewende* são a proteção do clima e a sustentabilidade ambiental, bem como a redução das importações de energia, alto desenvolvimento tecnológico e crescimento econômico. Ao diversificar suas fontes de energia, o país busca minimizar sua dependência de importações externas de energia e avançar na pesquisa, desenvolvimento e implantação de futuros sistemas de energia, a fim de garantir sua participação no crescente mercado global de tecnologias de energia renovável e eficiência energética.

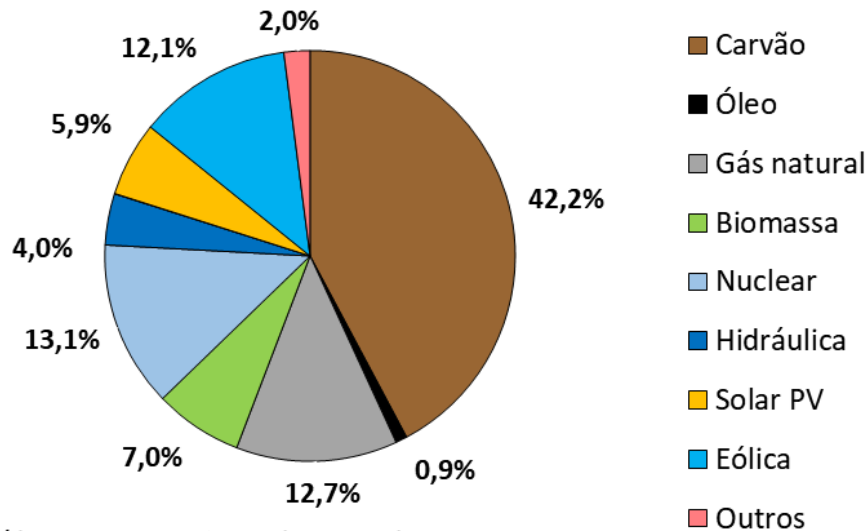
O processo de transição energética proposto pela Alemanha é desafiador e necessita de planejamento para alcançar seus objetivos. A estrutura de produção de eletricidade alemã se modificou nos últimos anos, mas as transformações ainda são pequenas perto do tamanho do desafio. O Gráfico 3.2 mostra as principais fontes de energia elétrica utilizadas pela Alemanha nas últimas décadas. O uso do carvão na geração de eletricidade foi dominante no período, enquanto é possível identificar a redução do uso da energia nuclear no país. Apesar do crescimento das fontes renováveis nos últimos anos, a estrutura de produção de energia elétrica alemã ainda é baseada em combustíveis fósseis.

Gráfico 3.2 - Evolução da geração de energia elétrica na Alemanha entre 1990 e 2016



Atualmente, a estrutura de geração de energia elétrica alemã ainda possui grande participação das fontes energéticas tradicionais, como visto anteriormente. O Gráfico 3.3 mostra a distribuição atual das fontes energéticas na estrutura de geração de energia elétrica do país. O carvão segue sendo a principal fonte de geração de eletricidade na Alemanha, com 42,2% do total, seguida pelo gás natural (12,7%) e pela energia nuclear (13,1%). Entre as fontes renováveis, a energia eólica é a que tem maior participação, representando 12,1% de toda energia elétrica produzida no país.

Gráfico 3.3 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na Alemanha em 2017



¹ Outros: Resíduos, Maremotriz e Solar Termal

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

De acordo com Kuittinen e Velte (2018), o plano nacional de transição energética é coordenado pelo Ministério Federal de Assuntos Econômicos e Energia (BMWi). O governo central possui interação com as diversas regiões alemãs (Länder), instituições de pesquisa e com o setor privado. A política possui dois pilares principais: energias renováveis e eficiência energética, que são apoiadas por uma política de incentivo ao P&D em energia, integração de mercado e sistema e política europeia de energia e clima. As medidas políticas compreendem grande variedade de medidas legais e regulamentares e programas de financiamento.

Segundo BMWi (2017), o Energiewende é uma iniciativa conjunta do estado alemão e das 16 regiões alemãs (Länder) e é coordenada pelo BMWi. A governança da iniciativa, no entanto, envolve todos os níveis de governo, incluindo vários ministérios e órgãos públicos administrativos, bem como a comunidade empresarial e a sociedade alemã em geral. O Energiewende possui cinco plataformas de transição energética: rede elétrica, mercado de eletricidade, eficiência energética, edifícios e pesquisa e inovação.

Kemferte e Horne (2013) afirmam que a estrutura descentralizada do programa e as responsabilidades compartilhadas entre as diferentes jurisdições verticais e horizontais podem resultar em processos de tomada de decisão pouco claro e ineficazes. Além disso, as autoras ressaltaram que apesar do forte apoio político do Energiewende, outros partidos também apresentaram propostas próprias para a política energética alemã. Isso pode levar a conflitos de

interesses dentro do programa. Outro ponto levantado é o da governança multinível. As regiões alemãs podem produzir desvios ao plano original e prejudicar a coordenação federal.

Kuittinen e Velte (2018) analisam que a elaboração do *Energiewende* também passa pela definição de metas de curto e longo prazo para o setor elétrico na Alemanha. O sistema de metas é constantemente revisado e atualizado de acordo com as necessidades do país. As usinas nucleares da Alemanha, por exemplo, serão desligadas até o final de 2022. A transformação da estrutura de produção de energia durará até 2050 com o fortalecimento da presença de fontes renováveis e uso eficiente de energia.

As principais fontes de energia serão a eólica, a solar, a hidrelétrica, a biomassa e a geotérmica. A meta é garantir que, no mínimo, 60% do consumo final de energia e 80% do consumo bruto de eletricidade sejam atendidos pelas fontes renováveis. Além disso, o plano visa reduzir em 50% o consumo de energia primária. A Tabela 3.1 resume as principais metas estipuladas pelo *Energiewende* para as próximas décadas na Alemanha.

Tabela 3.1 – Principais metas e objetivos do *Energiewende*

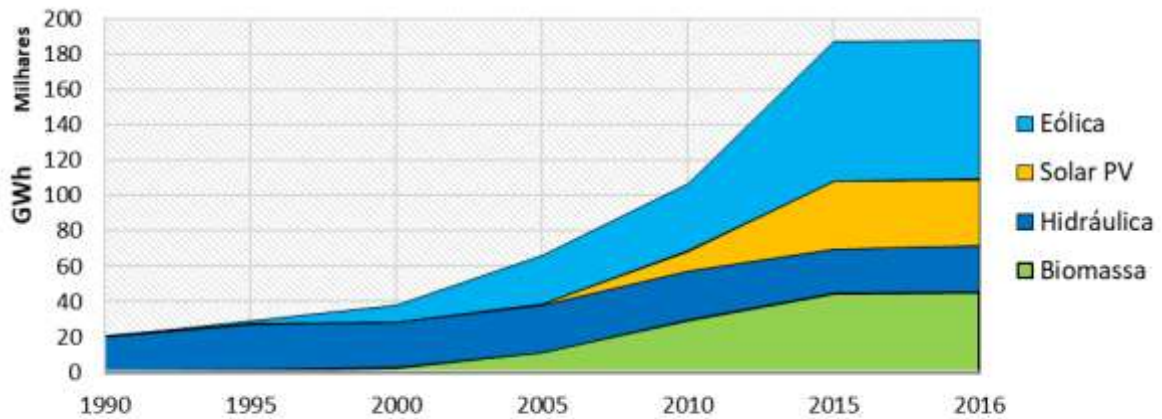
		2020	2025	2030	2040	2050
Gases do efeito estufa	Redução das emissões em todos os setores¹	-40%		-55%	-70%	- 80 / 95%
Eliminação progressiva da energia nuclear	Fechamento gradual de todas as plantas de energia nuclear até 2022	Fechamento gradual dos 8 reatores restantes				
Energias renováveis	Participação no consumo final de energia	18%		30%	45%	Mínimo de 60%
	Participação no consumo bruto de eletricidade		40 / 45%			Mínimo de 80%
Eficiência energética	Redução do consumo primário de energia²	-20%				- 50%
	Redução do consumo bruto de eletricidade²	-10%				-25%

Fonte: Traduzido de AGORA (2017)

Uma das metas do governo alemão é aumentar a participação das fontes renováveis na estrutura de produção de eletricidade. O Gráfico 3.4 apresenta a evolução das principais fontes alternativas de energia na estrutura alemã. No final do século XX, a energia hidráulica era a

principal fonte de energia limpa no país, mas a partir dos anos 2000, as fontes eólicas e biomassa ganharam destaque.

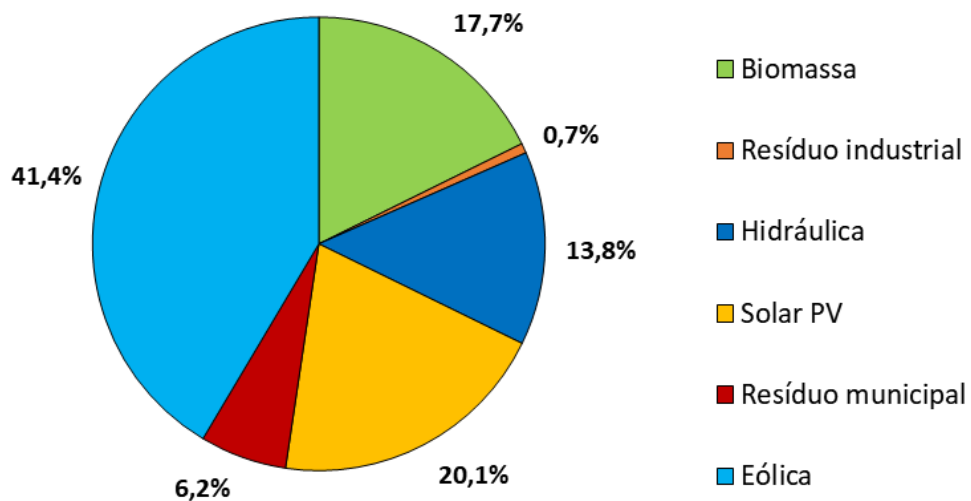
Gráfico 3.4 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na Alemanha entre 1990 e 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

Atualmente, as fontes renováveis representam 31% de toda a energia elétrica produzida na Alemanha. O Gráfico 3.5 mostra a participação de cada uma das fontes alternativas na produção de eletricidade limpa alemã. A energia eólica é a principal fonte energética renovável no país com 41,4%. Em segundo lugar está a energia solar com 20,1%, enquanto a biomassa representa 17,7% da energia elétrica limpa gerada na Alemanha.

Gráfico 3.5 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na Alemanha em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

O *Energiewende* traz grandes desafios à integração e segurança do sistema energético alemão. A inserção de fontes renováveis de energia no sistema aumenta a intermitência na geração de energia elétrica, demandando soluções como: o armazenamento de energia e novos investimentos no sistema de transmissão.

Devido às questões geográficas, a Alemanha possui restrições quanto ao uso de hidroelétricas e seus grandes reservatórios de água. Por esse motivo, a utilização do sistema de armazenamento de energia em baterias ganha importância no país. O governo alemão aposta que o desenvolvimento de baterias de pequena e grande escala será peça fundamental no processo de integração das energias renováveis a infraestrutura energética já existente, possibilitando avanços tecnológicos, ambientais e de segurança da rede.

A tecnologia de armazenamento de energia é considerada um dos pilares da *Energiewende*. A Alemanha é uma das líderes no desenvolvimento e utilização de tecnologias voltadas para fontes renováveis dentro da Europa e os sistemas de armazenagem elétrica são fundamentais para enfrentar os desafios da transição energética para as fontes alternativas.

De acordo com Pritzsche et al (2017), os efeitos colaterais do plano nacional de transição energética geraram a elevação de custos de integração de renováveis no sistema, a necessidade da expansão da rede já existente e efeitos negativos sobre a viabilidade da geração de energia de fontes convencionais. O estudo também mostra que, além de reduzir o crescimento dos custos relacionados às fontes renováveis, o governo foi contra a introdução de um mercado de capacidade tradicional e a favor de mecanismos alternativos de capacidade, a fim de garantir a segurança e oferta energética.

3.2.2 – Arcabouço regulatório

Reguladores

A responsabilidade pela transição energética e todos os aspectos relacionados ao mercado de energia alemão é do BMWi (*Federal Ministry for Economic Affairs and Energy*). A principal autoridade reguladora é a BNetzA (*Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Posts and Railway*), que atua sob a autoridade do BMWi. A BNetzA é responsável pela regulação das redes de gás e eletricidade com pelo menos 100.000 consumidores no sistema e pelo planejamento e aprovação de projetos de expansão da rede.

A nível regional, cada um dos 16 estados é responsável pela regulação dos sistemas menores. Segundo Pritzsche et al (2017), as autoridades regulatórias monitoram o sistema composto pelos operadores de energia, além de determinar regras gerais para o mercado de eletricidade alemão.

Legislação

A principal legislação energética na Alemanha é o EnWG²⁷ (*Energy Industry Act*), que foi adotado em 2005 e atualizado em 2016. O novo quadro legal buscou aprimorar a competição no mercado elétrico alemão, a segurança da oferta energética no país e a sustentabilidade da produção de energia elétrica. A legislação atua na regulação do acesso ao sistema elétrico, conexões de rede e cálculo das tarifas do sistema. Além disso, a lei define novas regras para o acesso de fontes renováveis à rede, estimulando a construção de *smartgrids*, incluindo instalações que utilizem sistemas de armazenamento de energia em baterias.

O quadro legal voltado para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia na Alemanha teve início em 1991, através do StrEG²⁸ (*Electricity Feed-in Act*). Foi o primeiro passo para o processo de transição energética alemã, movimento que garantiu o pioneirismo na adoção das *feed-in tariffs*, utilizadas para estimular o desenvolvimento de fontes renováveis. A mais recente atualização da legislação foi a reforma do EEG²⁹ (*Renewable Energy Sources Act*), que foi lançado em 2000 para substituir o StrEG e, desde então, vem sendo reformado para melhor atingir as metas do plano nacional de transição energética.

Segundo Pritzsche et al (2017), a versão do EEG lançada em 2014 já apresentou alterações em relação à política anterior de incentivo à geração de energia renovável através das *feed-in tariffs*, introduzindo o mecanismo de leilões. A reforma mais atual do EEG foi

²⁷EnWG é uma legislação implementada pelo governo alemão em 2005 e atualizada em 2019, que visa a concorrência, a segurança do suprimento e a produção sustentável de energia. Exige rotulagem de eletricidade de acordo com o tipo de fonte de energia. Além disso, esta lei estipula disposições suplementares para o acesso de eletricidade de fontes renováveis à rede, bem como a construção de redes inteligentes, incluindo armazenamento de eletricidade.

²⁸StrEG foi adotado em 1991 e se tornou o instrumento mais importante para a promoção de energias renováveis na Alemanha durante os anos 90. Obrigou as empresas de serviços públicos a comprar energia gerada de forma renovável com base numa taxa fixa anual, com base na receita média das concessionárias por kWh.

²⁹ EEG foi criada em 2000 para aumentar a participação de energias renováveis no fornecimento total de eletricidade. Também visa desenvolver ainda mais as fontes renováveis de energia e tecnologias para a geração de eletricidade, contribuindo para a redução de custos.

realizada em 2017, visando controlar o aumento dos custos relacionados à geração de energia via fontes renováveis.

Segundo o relatório EC (2018), a participação das fontes renováveis na estrutura elétrica alemã foi impulsionada pela aprovação da EEG nos anos 2000. Desde então, as diversas fontes alternativas (solar, eólica, hídrica e biomassa) se inseriram no mix energético do país. Apesar de contar com o apoio da população em relação às energias renováveis, existem setores que criticam os parques eólicos e as instalações fotovoltaicas instaladas na área rural do país. Tanto o governo nacional como as administrações regionais sofreram com o lobby contra a instalação dessas fontes de energia limpa.

Segundo Sternkopf (2019), a Alemanha possui uma boa estrutura de mecanismos de apoio à difusão das fontes renováveis, tanto para a produção em massa quanto em nível residencial. A produção de eletricidade proveniente de fontes alternativas é suportada principalmente pelo mecanismo de *market premium* baseado em licitações. Além disso, existem as *feed-in tariffs* que suportam as instalações menores. Outra opção são os empréstimos com juros baixos para investimentos em novas plantas, fornecidos por diferentes programas KfW³⁰.

O EEG prevê que os subsídios às fontes de energia renováveis podem continuar por até seis horas com preços negativos. Essa resolução pode ter implicações negativas no desenvolvimento de sistemas de armazenamento. De acordo com EC (2018), manter subsídios a preços negativos não incentiva a instalação ou desenvolvimento da capacidade de armazenamento na rede, mas sim contar com um excesso de oferta de energia renovável.

Segundo o relatório da Comissão Europeia, as principais empresas de serviços públicos na Alemanha (E.ON, RWE, EnBW e Vattenfall) que controlam aproximadamente dois terços do mercado de energia alemão, passaram a reconhecer a importância das fontes renováveis na estrutura de geração de energia elétrica. Nos primeiros anos do *Energiewende*, as quatro grandes empresas possuíam uma pequena parcela de fontes alternativas e, em 2012, a participação era de apenas 5% da capacidade de energia renovável instalada na Alemanha. A maior parte da capacidade no país pertence a acionistas e produtores residenciais.

³⁰KfW é um banco de desenvolvimento alemão. Originalmente chamado por Kreditanstalt für Wiederaufbau (Instituto de Crédito para Reconstrução). Foi formado em 1948 após a Segunda Guerra Mundial, como parte do Plano Marshall. Atualmente, é o terceiro maior banco da Alemanha.

O principal instrumento de política energética alemã, segundo o EC (2018), são os subsídios destinados às fontes renováveis presentes no EEG. A legislação alemã incentiva a instalação de sistemas de armazenamento de eletricidade, oferecendo isenções de taxas e tarifas da rede. Entretanto, isso só ocorre caso a energia armazenada seja devolvida à rede, ou seja, visando as baterias conectadas à rede na “frente” dos medidores. Em 2017, o EEG foi atualizado e expandiu o volume de isenções, que passam a cobrir o auto-suprimento de armazenamento elétrico e a perda de energia.

De acordo com EC (2018), o governo alemão lançou recentemente políticas de promoção ao desenvolvimento de sistemas que unem as unidades de armazenamento de eletricidade com as fontes renováveis. O KfW e o BMWi lançaram uma linha de empréstimos e subsídios para baterias de armazenamento de energia em conjunto com sistemas fotovoltaicos ligados à rede elétrica. O programa está disponível para empresas e indivíduos que alimentam a rede com a eletricidade gerada em suas instalações. Além de fornecer suporte para novas unidades, o mecanismo também permite a modernização das instalações fotovoltaicas instaladas após 2012. O objetivo geral do programa é melhorar a integração de pequenas e médias centrais fotovoltaicas na rede.

Os sistemas de armazenamento de energia em baterias não possuem legislação específica na Alemanha. Atualmente, o EEG tem incluído as unidades de armazenamento de energia em sua estrutura.

3.2.3 – Oportunidades e barreiras

O crescimento do número de baterias utilizadas no armazenamento de energia possui alguns vetores, entre eles, os programas públicos e privados de incentivo à tecnologia e o arcabouço regulatório e legislativo discutidos acima.

De acordo com BMBF (2016), Battery 2020 é um programa financiado pelo governo alemão com o objetivo de aumentar o fornecimento de energia renovável e eletromobilidade. O programa financia até 50% dos custos de projetos de pesquisa relacionadas a sistemas de armazenamento de energia em baterias.

Segundo EC (2018), a Alemanha assumiu o compromisso de aumentar o número de veículos elétricos no país. O projeto de eletromobilidade Green eMotion, cofinanciado pela União Europeia, também abrange a Alemanha e tem como objetivo aumentar o fornecimento

de veículos elétricos e pontos de carregamento em todo o bloco europeu. Também no ramo da eletromobilidade, em 2010, foi lançada a Plataforma Nacional de Mobilidade Elétrica alemã. O programa assessora o governo alemão em assuntos relacionados ao transporte elétrico, desenvolvendo novas estratégias de mercado e tecnologias voltadas para o setor automobilístico e elétrico.

O relatório também destaca a presença do setor privado no desenvolvimento de e-bikes (bicicletas elétricas), que atualmente são consideradas uma parte importante do plano de eletromobilidade da Alemanha. O país planeja a implementação de uma infraestrutura de carregamento elétrico inteligente, possibilitando que os veículos se tornem um componente ativo nos sistemas de armazenamento de energia da rede elétrica.

De acordo com IRENA (2015) e IEA (2014), a Alemanha possui uma rede de transmissão altamente interconectada. No entanto, fatores como a incompatibilidade geográfica da oferta e demanda de energia, geraram problemas de equilíbrio dos fornecedores do norte e consumidores do sul do país. O problema foi agravado pelos desequilíbrios da rede local, resultante do aumento no fornecimento de eletricidade através da energia eólica no norte da Alemanha e uma queda a oferta energética no sul do país, devido à inadequada capacidade das linhas de transmissão.

A integração da rede elétrica europeia permite que as importações e exportações de energia elétrica sejam alternativas para superar os problemas de balanceamento³¹. A crescente participação de energias renováveis, principalmente eólica e solar, e o desligamento de plantas nucleares e de combustíveis fósseis, abrirá um novo mercado para que os sistemas de armazenamento de energia em baterias se tornem uma opção importante para minimizar os efeitos das flutuações de suprimento de eletricidade no curto e longo prazo.

Para EC (2016), além do autoconsumo, os sistemas de armazenamento elétrico também podem fornecer energia para as unidades que realizam o controle de reserva, conhecidas como FCR (*Frequency Containment Reservers*³²). As quatro operadoras dos sistemas de transmissão alemão adquirem suas reservas de energia no mercado aberto, transparente e não

³¹ Balanceamento da rede é o termo utilizado para descrever a tarefa que as empresas de serviços públicos têm de fornecer a quantidade correta de eletricidade à rede.

³² *Frequency Containment Reservers* (FCR) são as reservas operacionais necessárias para contenção constante de desvios de frequência (flutuações) na rede, a fim de manter constantemente o balanço de energia em todo o sistema elétrico.

discriminatório. As compras são garantidas por meio de licitação no mercado, no qual fornecedores (geradores e consumidores) participam. Atualmente, não existe regulamentação específica para as baterias, mas através do *pooling*³³, elas podem participar indiretamente da chamada de propostas.

Algumas empresas se beneficiam do acordo de agregação de unidades de baterias residenciais e criam um grande sistema de armazenamento virtual para oferecer serviços de reserva de frequência no mercado alemão de balanceamento. Essa estratégia gera vantagens para os consumidores residenciais, melhorando a viabilidade financeira dos sistemas de armazenamento de energia para autoconsumo por meio de energia solar fotovoltaica combinada com uma bateria.

Em 2016, a operadora da usina STEAG construiu seis novas baterias de íons de lítio de 15 MW em larga escala ao lado das usinas existentes. Após a pré-qualificação, o sistema entrou em operação em novembro de 2016 e agora fornece regulação de frequência primária.

Em 2018, a instalação de armazenamento de 48 MW da Eneco, operacional após um período de construção de 8 meses. Hoje, esse é o maior projeto de sistema de armazenamento de bateria de um único local realizado na Europa. A instalação fornecerá energia de controle primário e reduzirá o tempo de corte na geração de eletricidade das turbinas eólicas. Os parques eólicos da região serão conectados às instalações de armazenamento de baterias para armazenar eletricidade em períodos de alta produção

Os projetos voltados para o uso de baterias no sistema elétrico ainda enfrentam algumas dificuldades. Barreiras regulatórias e financeiras são entraves que limitam a expansão desses projetos. Segundo Janzen (2018), essas são as principais barreiras a difusão dos sistemas de armazenamento de energia elétrica em baterias na Alemanha:

- **Incerteza Financeira:** A principal fonte de receita para a maioria dos projetos é a participação no mercado de resposta de frequência. Os preços nesse mercado não são garantidos por contratos de longo prazo, mas estão sujeitos a leilões. Esse desenho gera incerteza financeira, pois os preços podem variar com o tempo;
- **Qualificação para FCR:** A participação no mercado de reserva de controle é o principal modelo de negócios para projetos de armazenamento de energia. Para que

³³ Pooling é um mecanismo de intercâmbio de energia elétrica entre duas ou mais concessionárias / sistemas que fornecem ou geram eletricidade para a rede.

essas unidades possam se tornar uma FCR, é necessário preencher alguns requisitos do operador do sistema elétrico. Atualmente, a grande quantidade de exigências técnicas dificulta a participação de unidades de armazenamento pequenas, pois não atendem ao tamanho mínimo exigido. A reserva de controle primária tem critérios desafiadores para sistemas de baterias em larga escala, dificultando a entrada no mercado. Também existe a incerteza em relação aos requisitos exigidos, pois os mesmos podem sofrer alterações durante a construção da unidade de armazenagem. Atualmente, as propostas para facilitar a participação de unidades de baterias no mercado de reserva de controle limitam-se as reservas secundárias e terciárias.

- **Altos custos operacionais:** Embora existam isenções de tarifas de rede para alguns tipos de sistemas de armazenamento, como as baterias, as regras ainda não são claras em relação a outros encargos e taxas no sistema.
- **Estrutura de incentivos à renováveis:** Os subsídios às energias renováveis podem continuar por até 6 horas com preços negativos. Manter subsídios a preços negativos não incentiva a instalação ou o desenvolvimento da capacidade de armazenamento.

3.3 – Espanha

No final da década de 1990, entrou em vigor a *Ley del Sector Eléctrico 54/1997*, introduzindo uma nova configuração para o sistema elétrico espanhol. Antes disso, as concessionárias de energia elétrica e o ministério da indústria e energia definiram a nova estrutura geral do processo de transformação do sistema elétrico espanhol. Desde o início do processo de liberalização, as atividades do setor elétrico são realizadas por empresas privadas com base na livre concorrência.

Atualmente, não existem estatais ou empresas controladas por autoridades regionais ou locais. Assim sendo, o governo espanhol declarou que o setor elétrico é um serviço de interesse econômico geral (*servicio económico de interés general*) e as autoridades públicas designadas têm o poder de garantir que a oferta de energia satisfaça o interesse público (eficiência, qualidade, regularidade, conveniência e acessibilidade). Isso significa que as autoridades espanholas podem impor determinadas obrigações e regras a entidades privadas e estabelecer diretrizes para as suas atividades.

3.3.1 – Processo de transição energética

O governo espanhol busca se alinhar às políticas energéticas para fontes renováveis definidas pela União Europeia. A Espanha, através do *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*, estabeleceu suas diretrizes nacionais para o processo de transição energética. Lançada em 2018, o plano espanhol tem como objetivo avançar no movimento de descarbonização, estabelecendo bases sólidas para consolidar uma trajetória de neutralidade em relação ao carbono nas atividades econômicas do país até 2050.

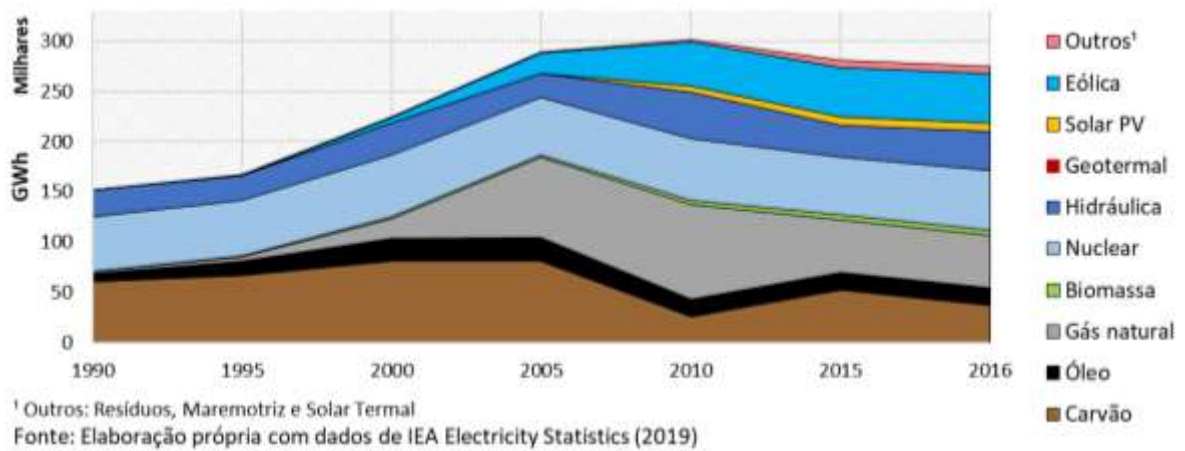
Segundo MITECO (2019), o *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* define os objetivos de redução das emissões de gases de efeito estufa, a penetração das fontes de energia renovável e a eficiência energética. O plano também determina as linhas de ação e o caminho que, de acordo com os modelos utilizados, é o mais adequado e eficiente, maximizando as oportunidades e benefícios para a economia, emprego, saúde e meio ambiente; minimizando custos e respeitando as necessidades de adaptação aos setores com maior consumo de CO₂. É um documento programático que deve ser submetido à Comissão Europeia para avaliação e será discutido com os vários agentes na Espanha ao longo de 2019.

As políticas e medidas de descarbonização desenvolvidas até o momento foram definidas na *Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia*, aprovada em 2007 e projetadas com um horizonte temporal até 2020. Posteriormente, a entrada em vigor do novo quadro europeu com a definição de objetivos para 2020 resultou em uma extensão da estratégia acima mencionada com novos instrumentos e medidas de planejamento.

De acordo com MITECO (2019b), o plano nacional de transição energética, apresentado pelo governo, é uma oportunidade para a modernização da economia espanhola, a criação de empregos, a posição de liderança da Espanha em energias e tecnologias renováveis que dominarão a próxima década, o desenvolvimento do meio rural, a melhoria da saúde das pessoas e do meio ambiente e a justiça social.

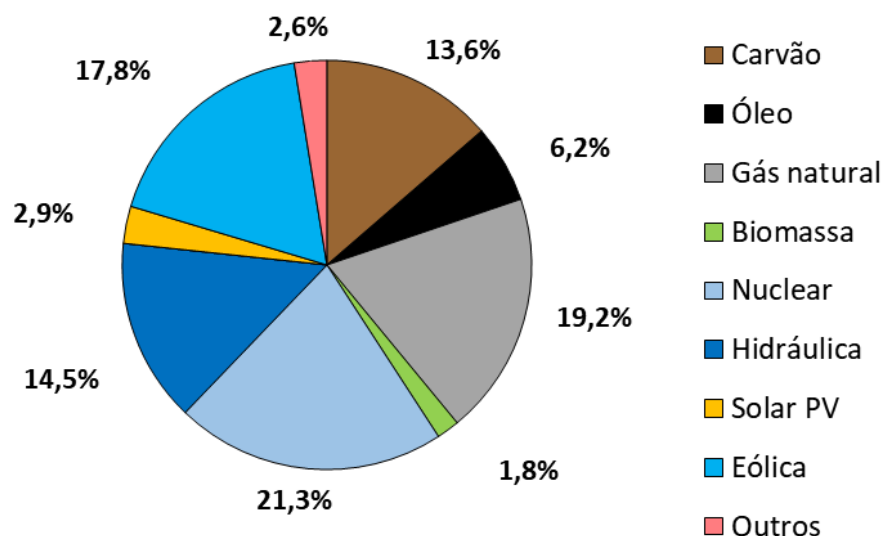
O *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* discute a necessidade de transformação da estrutura de geração de eletricidade do país. O Gráfico 3.6 mostra como a produção de energia elétrica na Espanha pouco mudou em três anos. A partir da segunda metade da década de 2000, as fontes renováveis passaram a ganhar espaço dentro do mix energético espanhol, enquanto o uso do carvão e do gás natural se reduziu no século XXI.

Gráfico 3.6 - Evolução da geração de energia elétrica na Espanha entre 1990 e 2016



Apesar da redução dos combustíveis fósseis, a estrutura de geração de eletricidade na Espanha ainda é bastante dependente de fontes energéticas tradicionais. Esse é um dos principais pontos de mudança proposto pelo plano de transição energética. Atualmente, a estrutura de produção do setor elétrico é heterógena. Cinco fontes energéticas representam em conjunto mais do que 86% de toda a eletricidade gerada no país. O Gráfico 3.7 apresenta a participação percentual de cada uma das fontes de energia na estrutura espanhola. Hoje, a principal fonte energética é a nuclear (21,3%), seguido do gás natural (19,2%) e da energia eólica (17,8%). As outras duas fontes que completam a lista das cinco principais, são: hidráulica (14,5%) e carvão (13,6%).

Gráfico 3.7 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na Espanha em 2016



¹ Outros: Resíduos, Maremotriz e Solar Termal

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

A participação das fontes alternativas de energia na produção de eletricidade na Espanha aumentou nos últimos anos. Resultado de políticas governamentais que incentivaram o desenvolvimento de projetos voltados para energia limpa. A União Europeia espera que em 2030 os países do bloco estejam ainda mais integrados as fontes renováveis, alcançando a meta de 27% do consumo final de energia proveniente de instalações de energia alternativa.

Segundo MITECO (2019b), o *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* tem como meta atingir 74% da geração de eletricidade oriunda de fontes renováveis em 2030 e 100% em 2050. Além disso, como resultado da execução do plano, espera-se uma presença de energias renováveis no uso final de energia de 42% em 2030, devido ao grande investimento planejado em energias renováveis elétricas e à notável redução no consumo energia final como resultado de programas e medidas de economia e eficiência em todos os setores da economia. A Tabela 3.2 apresenta algumas metas e objetivos estipulados no plano nacional de transição energética espanhol para os anos de 2030 e 2050.

Tabela 3.2 – Principais metas e objetivos do *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*

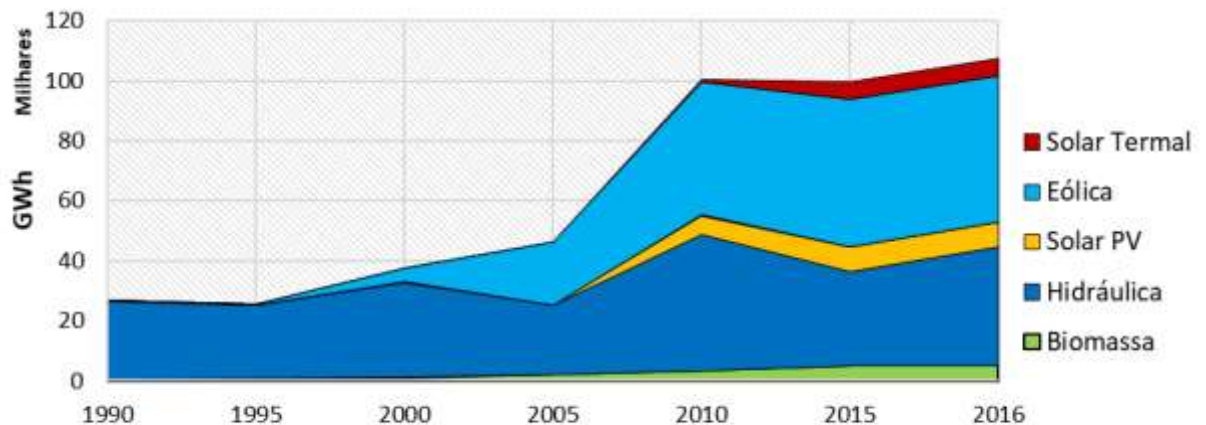
		2030	2050
Gases do efeito estufa	Redução das emissões em todos os setores	-21%	Neutro em carbono
Eliminação progressiva da energia nuclear	Fechamento gradual de todas as plantas de energia nuclear	Estrutura sem energia nuclear	
Energias renováveis	Participação no consumo final de energia	42%	
	Participação na geração de eletricidade	74%	100%
Eficiência energética	Redução do consumo primário de energia	-39%	

Fonte: Traduzido de Miteco (2019b)

Um dos principais objetivos do governo espanhol é aumentar a participação das fontes alternativas no setor elétrico. O Gráfico 3.8 mostra a evolução das fontes renováveis na estrutura espanhola nas últimas três décadas. A energia hidráulica se manteve como principal fonte energética limpa até a segunda década do século XXI. A partir de 2005 a energia eólica, solar

e de biomassa aumentou sua participação na geração de energia elétrica no país. Apesar do crescimento nos últimos anos, a energia gerada através do sol e da biomassa ainda é pequena se comparada com as demais fontes renováveis.

Gráfico 3.8 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na Espanha entre 1990 e 2016

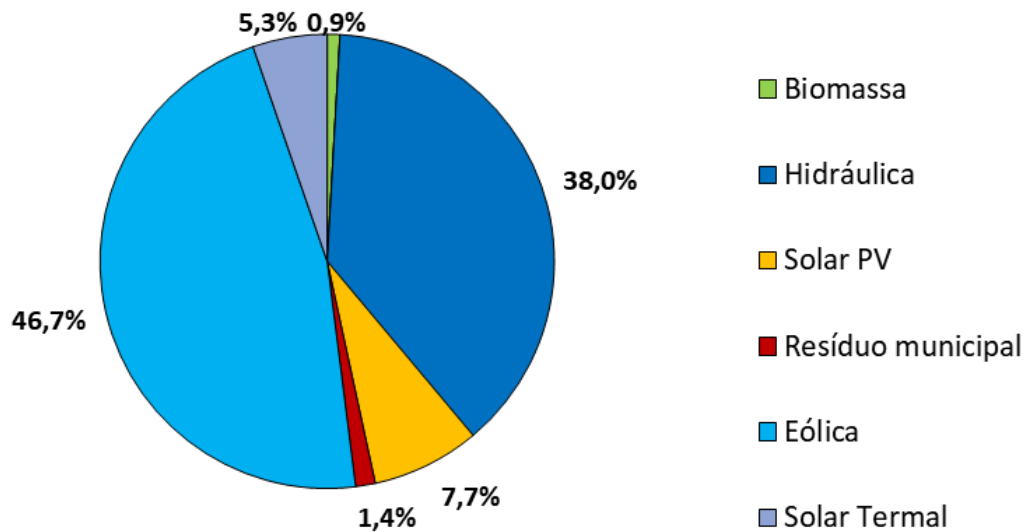


Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

As metas definidas para a presença de fontes renováveis no setor elétrico espanhol ainda podem passar por alterações segundo Ruiz et al (2018), pois a política de transição energética pode ser revisada de acordo com o cumprimento das metas anteriores. O governo espanhol também analisa como as diferentes fontes de energia renováveis têm evoluído nos últimos anos e através desse acompanhamento define as diretrizes para o plano de transição do setor elétrico.

O Gráfico 3.9 apresenta o atual cenário da estrutura de produção de eletricidade limpa na Espanha. Atualmente, a energia eólica é líder na produção de energia elétrica limpa com participação 46,7% do total. A energia hidráulica também tem papel fundamental na estrutura espanhola, como participação de 38%.

Gráfico 3.9 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na Espanha em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

O desenvolvimento de novas tecnologias e o aperfeiçoamento das técnicas já existentes para produção de eletricidade são os pilares do plano de transição energética espanhol. O governo reconhece em sua estratégia os desafios do processo de inserção de renováveis na estrutura. O *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima* reconhece a necessidade e vantagens do desenvolvimento de novas unidades de armazenamento de energia para a segurança do sistema elétrico.

Atualmente, o armazenamento de energia é insignificante, se comparado com a atual capacidade instalada de energia na Espanha. Segundo Leal-Arcas (2019), os reservatórios hidráulicos reversíveis são a principal fonte de armazenagem elétrica no país, respondendo por mais de 90% da capacidade do total. O plano nacional destaca o aumento das tecnologias de bombeamento e bateria com uma potência adicional de 6 GW, proporcionando maior capacidade de gerenciamento para a geração. A Red Eléctrica de Españã³⁴ possui alguns projetos para desenvolvimento de projetos que englobam baterias elétricas, como unidades a serem desenvolvidas e integradas à rede elétrica.

³⁴Red Eléctrica de Españã (REE) é uma empresa espanhola parcialmente estatal que opera a rede elétrica nacional na Espanha, onde opera o sistema nacional de transmissão de energia

3.3.2 – Arcabouço regulatório

Reguladores

As autoridades públicas relacionadas à regulação do setor elétrico espanhol diferem de acordo com a distribuição legal da área de atuação e função. A Espanha possui um corpo regulatório com distribuição vertical de poderes (central, regional e local) e com áreas distintas de atuação (regulação e ambiental). Ruiz et al (2018) lista as principais autoridades:

- Ministerio para la Transición Ecológica
- Departamento de Energia de cada região autônoma
- Departamento do Meio Ambiente de cada região autônoma.
- CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y La Competencia): Quadro regulatório que combina a função de supervisão regulatória e comissão concorrencial dos setores de energia, telecomunicações, mídia e transportes.

Segundo Morales (2017), para constituição espanhola, as regiões autônomas são independentes e podem estabelecer diretrizes legais dentro de suas jurisdições, mas desde a aprovação da *Ley del Sector Eléctrico 24/2013*, as regiões autônomas perderam espaço para regular, visto que a nova legislação nacional é abrangente e deixa pouco espaço para novas regras e diretrizes.

Legislação

A Espanha possui um forte sistema de regulação no setor elétrico. Segundo Morales (2017), a importância estratégica e técnica do setor requer um forte aparato regulatório, que garanta a oferta de energia ao menor custo e consiga atender os requisitos de transição energética nacional e da União Europeia.

Em 2013, o governo espanhol realizou uma reforma no setor elétrico, estabelecendo um novo quadro regulatório. A mudança tinha como principal objetivo reduzir e controlar o déficit tarifário. Para Morales (2017), os custos da eletricidade eram maiores do que a receita obtida através das atividades reguladas no setor elétrico.

Em 2013, a *Ley del Sector Eléctrico 24/2013* entrou em vigor. A nova legislação tinha como objetivo garantir a sustentabilidade financeira de longo prazo do setor elétrico. Entre 2001 e 2012, o setor elétrico espanhol acumulou déficits em suas atividades, alcançado seu maior

nível em 2012. O governo se movimentou através de medidas emergenciais, passando pelo fim dos subsídios a instalações de energia renovável, aumentando as tarifas de acesso ao sistema e colocando um imposto de 7% na geração de eletricidade segundo a IEA (2015).

A *Ley del Sector Eléctrico* 24/2013 foi aprovada para abordar os fatores mencionados acima e avaliar questões relevantes como a necessidade de aumentar o uso de energia renovável no sistema elétrico nacional. Leal-Arcas (2019) mostra que a nova legislação permitiu uma maior flexibilidade no que diz respeito à remuneração de projetos regulados, como os relacionados a fontes renováveis de energia. Além disso, a lei permitiu revisão das diretrizes a cada três anos e instituiu uma nova estrutura orçamentária para o setor.

Segundo Jimeno (2019), o principal incentivo à utilização de fontes renováveis é o *Régimen Retributivo Específico* criado em 2014. O mecanismo concede *feed-in tariffs* premium alocado por meio de licitações, permitindo que a geração de energia renovável seja competitiva em relação às fontes tradicionais de energia. A energia renovável tem prioridade no acesso e no despacho da eletricidade para a rede.

De acordo com EC (2018), os geradores de energia que optam pelo autoconsumo e utilizam instalações abaixo de 100 kW, podem vender o excesso de energia na rede, mas não possuem remuneração especial. Esse mecanismo não desencoraja o armazenamento de energia para o autoconsumo. Além disso, o governo espanhol impõe uma taxa sobre o autoconsumo de renováveis acima de 10 kW.

O relatório da Comissão Europeia discute se o imposto é consequência de um excesso de capacidade que aumenta os custos operacionais da capacidade existente. A nova tributação fornece um incentivo para a implantação combinada de energia solar e baterias, pois o sistema de armazenamento pode garantir que a energia elétrica produzida não entre na rede elétrica.

Almenar e Tallón (2018) discutem a complexa legislação em torno do armazenamento em baterias. O armazenamento de eletricidade não é regulado separadamente pelo legislador espanhol e é considerado como geração. Os projetos de armazenamento devem possuir licenças separadas (por exemplo, para energia fotovoltaica), o que impõe regulamentos e obrigações diferentes ao titular da licença.

Em 2017, a justiça espanhola acatou um pedido da região autônoma da Catalunha. Foi concedido o direito de regular o autoconsumo compartilhado através de legislação própria em

cada região autônoma. Para Kenning (2017), a decisão provavelmente terá efeitos positivos na difusão do armazenamento de baterias para projetos comunitários.

3.3.3 – Oportunidades e barreiras

O sistema elétrico espanhol possui, atualmente, vinte projetos operacionais de armazenamento hidráulico de energia, mas, de acordo com Almenar e Tallón (2018), os participantes do setor elétrico na Espanha têm voltado sua atenção para tecnologias como o armazenamento em baterias.

De acordo com EC (2018), a *Red Electrica Espanola* (REE) é a operadora da rede elétrica nacional do país. A empresa explora as oportunidades de expansão de tecnologias baseadas em baterias e fontes renováveis. O Projeto Almacena financiado pela empresa, consiste na instalação de um sistema de armazenamento de energia com baterias de íons de lítio com uma potência de 1 MW. O objetivo do operador do sistema elétrico espanhol é avaliar as capacidades e características técnicas que as unidades oferecem como ferramenta para melhorar a eficiência e segurança da rede.

Outra empresa que possui projetos voltados para o armazenamento de energia é Endesa. Atualmente, a empresa trabalha em seu grande projeto StoRE, que tem como objetivo facilitar a criação de infraestrutura para a integração das unidades de armazenamento com as fontes renováveis de produção de eletricidade. A Endesa encomendou três instalações de armazenamento elétrico nas Ilhas Canárias e Andaluzia, com o objetivo de demonstrar a viabilidade técnica e econômica do armazenamento de energia. O projeto emprega tecnologia de bateria de íon de lítio, ultracapacitores e *flywheels*.

A Endesa também possui outros projetos de armazenamento de energia relacionados as redes inteligentes, que visam mudar a composição das redes elétricas e incorporar instalações de armazenagem elétrica. As redes inteligentes fazem parte do projeto Smart City implementado em Barcelona e Malaga. A Espanha também é beneficiária do projeto *Green Emotion*, que visa aumentar o número de veículos elétricos e pontos de carregamento em vários estados membros da União Europeia. Segundo EC (2018), a eletrificação da frota automobilística e a energia fotovoltaica são dois importantes *drivers* para o desenvolvimento de baterias na Espanha.

O relatório da Comissão Europeia discute que o setor elétrico espanhol ainda é bastante flexível para situações de excesso de capacidade. Dessa forma, a Espanha não enxerga os sistemas de armazenamento de energia como prioridade. Outro fator é a complexidade da legislação. As unidades de armazenamento de eletricidade não são reguladas separadamente pela legislação espanhola e são consideradas como unidades geradoras de energia.

3.4 – França

O setor elétrico francês passou por um processo de liberalização na última década. Esse movimento é fruto das diretrizes da União Europeia, que visa desenvolver e abrir os mercados de energia do grupo. Segundo Fages e Saarinen (2017), esse processo mudou o quadro regulatório e legislativo do setor elétrico na França. Depois da segunda guerra mundial, as autoridades francesas garantiram monopólio estatal para a EDF (*Electricité de France*) para as atividades de produção, transporte e distribuição de eletricidade.

Por aproximadamente 50 anos, a estrutura do setor elétrico permaneceu sem mudanças, mas na segunda metade da década de 1990, o governo francês incorporou em suas leis nacionais algumas diretivas oriundas do planejamento energético da União Europeia. Segundo os autores, essas mudanças visavam elevar a eficácia e eficiência do setor elétrico francês, além de abrir o mercado para a competição.

A abertura do mercado de energia aconteceu em 2000, inicialmente, apenas para grandes consumidores industriais. O processo só atingiu todos os consumidores em 2007, quando todos os consumidores tiveram acesso ao sistema, inclusive clientes residenciais. Em 2010, novas diretivas lançadas pela União Europeia foram incluídas na lei francesa, conhecida como *Loi NOME (Nouvelle Organisation du Marché de l'Électricité)*.

3.4.1 – Processo de transição energética

O sistema elétrico francês passou por mudanças estruturais nas últimas décadas. O governo francês lançou o projeto de transição energética, conhecido como *Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC)*. A Estratégia nacional descreve o roteiro para a França liderar a política de mitigação das mudanças climáticas. Ele fornece orientações para a implementação da transição para uma economia de baixo carbono em todos os setores econômicos.

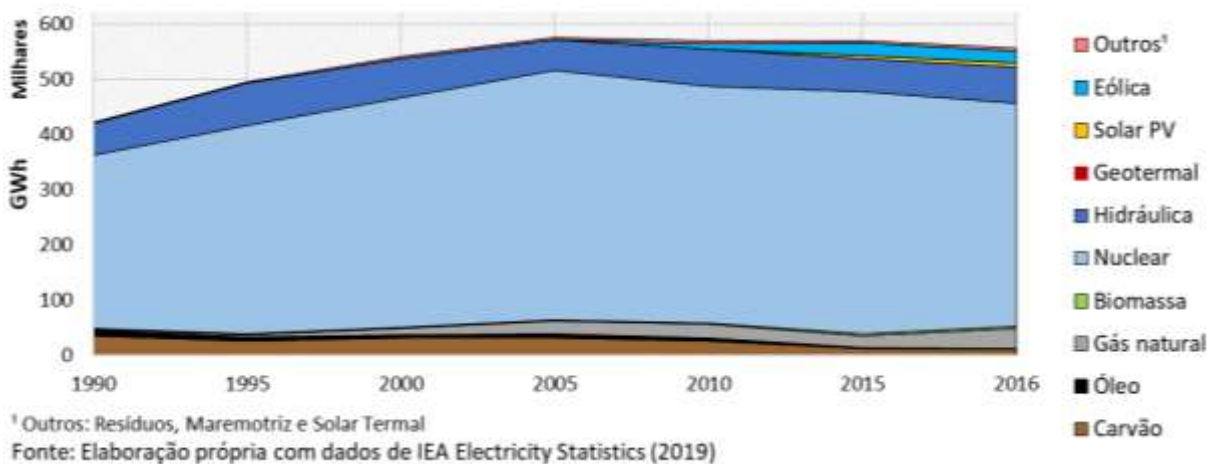
Já a *Stratégie Française pour L'Énergie et le Climat (SFEC)* faz parte da *Programmation Pluriannuelle de L'Énergie (PPE)*, que define as prioridades para as ações de

política energética para os próximos 10 anos, divididas em dois períodos de cinco anos. Trata de todas as energias e de todos os pilares da política energética: controle da demanda de energia, promoção de energias renováveis, garantia de segurança do suprimento, controle de custos de energia e desenvolvimento de tecnologias para o setor elétrico.

Segundo o estudo da IEA (2016b), o projeto de transição energética francês é ambicioso e integra a estrutura de produção de energia elétrica no país, com as novas demandas da sociedade em prol da consciência climática. Além disso, o país adotou políticas significativas, como subsídios, incentivos fiscais e financiamento público para novas tecnologias de geração e armazenamento de energia. De acordo com o relatório, a França é uma das líderes mundiais se tratando de geração de energia de baixo carbono. Esse panorama é possível graças à estrutura energética francesa, que se desenvolveu em torno da energia nuclear.

O Gráfico 3.10 mostra a evolução das fontes energéticas dentro da estrutura de produção de eletricidade francesa nas últimas três décadas. A energia nuclear manteve o posto de principal fonte energética do país em todo o horizonte analisado (1990 – 2016). Apenas na segunda metade dos anos 2000 que as novas tecnologias renováveis entram na estrutura de produção de energia elétrica, mas com um volume bem reduzido se comparado com a energia nuclear. Apesar disso, a presença de renováveis continua sendo majoritariamente da energia hidráulica.

Gráfico 3.10 - Evolução da geração de energia elétrica na França entre 1990 e 2016

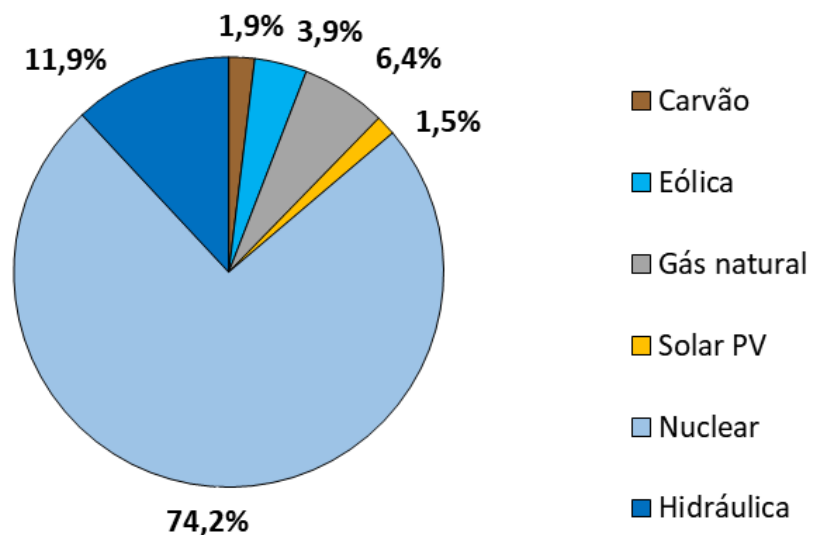


Segundo MTES (2017), um dos objetivos do plano de transição energético francês é diversificar a estrutura de geração de energia elétrica nacional através da penetração das fontes

renováveis de energia. para isso, o PPE estabeleceu metas para acelerar significativamente a participação das fontes alternativas no mix energético do país.

O Gráfico 3.11 mostra a atual estrutura de geração de eletricidade na França. A energia nuclear representa aproximadamente 74% da produção de energia elétrica no país, enquanto a energia hidroelétrica participa de apenas 11,9% do total gerado. Como dito anteriormente, as fontes renováveis ainda possuem uma baixa taxa de participação na estrutura francesa quando comparada com os demais países estudados neste trabalho.

Gráfico 3.11 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na França em 2016



¹ Outros: Resíduos, Maremotriz e Solar Termal

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

MTES (2017b) analisa que a estratégia de transição energética francesa discute a necessidade de redução da participação da energia nuclear na estrutura do setor elétrico. Uma das metas estipuladas pelo governo é reduzir a participação das plantas nucleares para 50% da eletricidade produzida no país. O objetivo dessa mudança estrutural é tornar o sistema elétrico mais diversificado, criando um sistema mais resiliente a choques externos, como a perda de capacidade de reatores devido a um acidente.

Outro objetivo da política é se adiantar ao desligamento de plantas nucleares, visto que, uma parte considerável do parque nuclear francês será desligado nos próximos anos devido a expectativa de vida da planta.

A Tabela 2.3 apresenta as principais metas estabelecidas pelo SNBC e PPE. Essas metas foram estipuladas para permitir que a França cumpra os objetivos da estratégia nacional e europeia de energia e clima. A tabela abaixo apresenta as previsões para 2030 após a implementação da estratégia francesa de energia e clima.

Tabela 3.3 – Principais metas e objetivos da Stratégie Nationale Bas-Carbone e da Stratégie Française pour L'Énergie et Le Climat

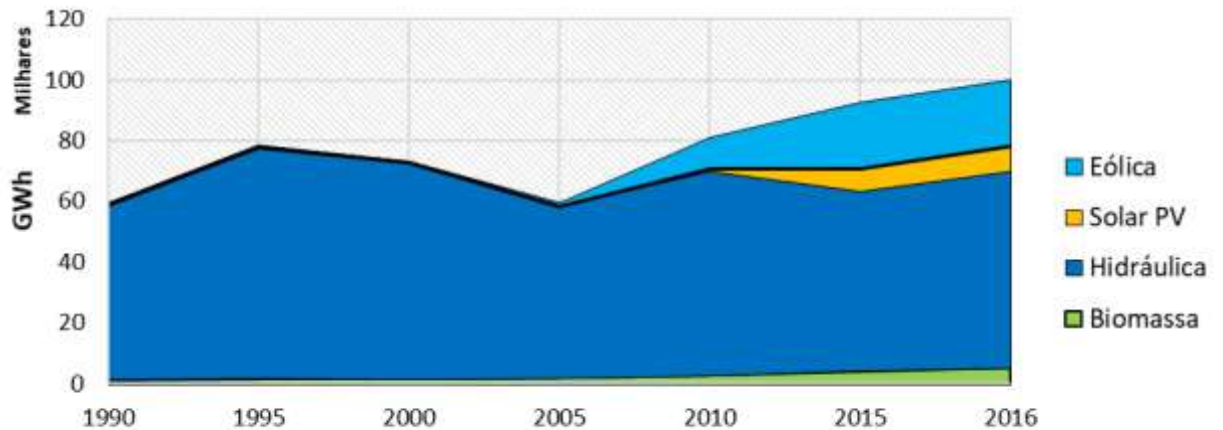
		2023	2028	2030	2035
Gases do efeito estufa	Redução das emissões em todos os setores	-40%	-61%	Neutro em carbono	
Energia nuclear	Redução gradual da participação da energia nuclear na geração	Reduzir a participação para 50% do total de eletricidade gerada			
Energias renováveis	Participação no consumo final de energia	23%		32%	
	Participação na produção de eletricidade		36%	40%	
Eficiência energética	Redução do consumo final de energia	-7%	-14%		
	Redução do consumo primário de combustíveis fósseis	-20%	-35%		

Fonte: Traduzido de MTES (2017)

Segundo MTES (2017b), o incentivo à inserção de fontes renováveis na estrutura francesa está alinhado com a estratégia de redução da participação da energia nuclear. A participação das fontes alternativas na produção de energia elétrica da França é de aproximadamente 18%, parcela pequena se comparada aos demais países europeus.

O Gráfico 3.12 mostra a evolução das fontes renováveis nos últimos trinta anos na França. A energia hidroelétrica se manteve como principal fonte energética limpa utilizada pelo país, enquanto as novas tecnologias renováveis só conseguiram ganhar espaço na estrutura francesa a partir da primeira década do século XXI.

Gráfico 3.12 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na França entre 1990 e 2016



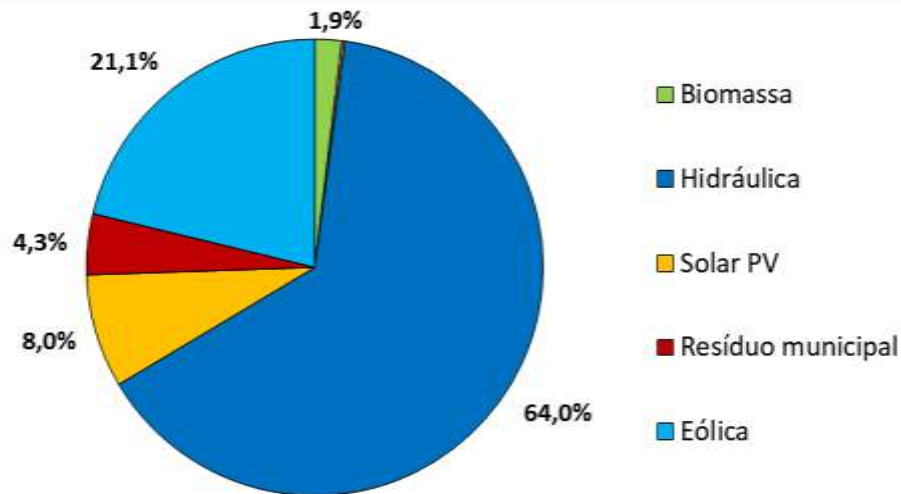
Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

MTES (2017b) mostra que apesar do crescimento da produção de energia elétrica via fontes energéticas, a França ainda precisa caminhar em direção as novas tecnologias de geração de eletricidade. A demanda por novas fontes renováveis que não sejam a hidrállica crescerá nas próximas décadas, alavancada pelo programa de transição energético nacional.

A publicação do governo francês analisa que a estratégia nacional francesa estabeleceu a meta de 40% de energia elétrica renovável na produção de eletricidade em 2030. Os principais caminhos para atingir a meta serão energia hidrelétrica, energia solar fotovoltaica (PV) e energia eólica *onshore*, e depois energia eólica *offshore* progressivamente. Os três setores citados são os mais competitivos: as acentuadas reduções de custos observadas nesses setores permitem o desenvolvimento de capacidade significativa.

O Gráfico 3.13 apresenta a participação de cada uma das fontes renováveis na produção de energia elétrica limpa. Grande parte da geração francesa ocorre via hidroelétricas (64%), enquanto a energia eólica e solar somam apenas 29% do total gerado.

Gráfico 3.13 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na França em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

De acordo com MTES (2017), no estado atual da tecnologia, não é possível determinar com certeza qual tecnologia de geração de energia será a mais competitiva para substituir a energia nuclear existente depois de 2035. Após 2030 e para o horizonte de 2050, esses parâmetros deverão ser combinados para desenhar o novo cenário energético da França e a respectiva parcela de energia nuclear e energias renováveis. O plano de transição energética francês analisa que os sistemas de armazenamento de energia elétrica é peça chave para o sucesso do processo.

Segundo Delsaux et al (2019), a nova legislação se refere ao armazenamento de energia em baterias como uma ferramenta importante para atingir os objetivos no processo de transição energética, mas atualmente o país possui poucas unidades instaladas. As principais instalações voltadas para armazenamento de energia são os reservatórios hídricos. Os autores analisam que a queda nos custos das tecnologias de armazenamento e o aumento da participação dos renováveis são vetores importantes para o crescimento do número de projetos voltados para o armazenamento de energia em baterias.

3.4.2 – Arcabouço regulatório

Reguladores

O mercado de energia na França possui uma estrutura de regulação centralizada no governo federal. regulado pelas seguintes instituições:

- **CRE (*Commission de Régulation de L'Énergie*):** é a autoridade reguladora do setor elétrico. Criado em 2000, o órgão tem como missão contribuir para o bom funcionamento do mercado de eletricidade, buscando o benefício do consumidor final. Fages e Saarinen (2017) listaram as principais atribuições do CER:
 - Garante acesso não discriminatório às redes para todos os produtores
 - Supervisiona o desenvolvimento do sistema elétrico de acordo com as diretrizes nacionais e da União Europeia
 - Supervisiona as transações no mercado de energia
 - Propõe tarifas reguladas e o montante da contribuição pública para os custos do serviço público de eletricidade e elaboração de licitações
- **CoRDIS (*Comité de Règlementation Diffeérends et Sanctions*):** é um comitê independente do CRE, tendo como atribuição resolver disputas sobre o acesso a redes públicas de eletricidade. Outra função do comitê é punir as violações a legislação do setor elétrico.
- **Autorité de La Concurrence:** tem o poder de prevenir e sancionar práticas anticompetitivas em qualquer setor. Deve notificar o CRE de qualquer infração no setor elétrico.

Para finalizar, o ministério de energia francês possui o *Higher Energy Council*. O órgão é consultado para mudanças regulatórias e novas políticas voltadas para o setor elétrico.

Legislação

Desde a década passada, o governo francês busca desenvolver um plano de apoio a fontes renováveis. Segundo Fages e Saarinen (2017), em 2017 foi lançado o *Grenelle Environment Forum*³⁵, local de debate sobre as prioridades do desenvolvimento sustentável, controle do consumo de energia e promoção de fontes alternativas. O fórum foi importante para a criação das “*Grenelle laws*”, a *Grenelle I* promulgada em 2009 e a *Grenelle II* promulgada em 2010. Ambas as legislações buscavam adequar o quadro regulatório e legislativo francês às novas diretivas da União Europeia, lançadas em 2009.

A mais recente legislação francesa é a LTECV (*Loi Relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte*) que deu início ao processo de transição energética na França e que

³⁵Série de reuniões políticas organizadas na França em 2007, com o objetivo de tomar decisões de longo prazo sobre o meio ambiente e o desenvolvimento sustentável.

modificou o aparato regulatório para energias renováveis e demais tecnologias. Lançada em 2015, a lei busca acelerar o processo de transição no setor elétrico francês, reforçando a independência e a segurança energética do país.

Segundo IEA (2016b), o novo quadro legal tem como objetivo o desenvolvimento de novos projetos e pesquisas relacionadas às novas tecnologias, como o armazenamento de energia em baterias. O governo francês entende que a maior presença de fontes renováveis na geração de energia precisa ser acompanhada por tecnologias que minimizem os riscos aliados as fontes alternativas.

De acordo com Fages e Saarinen (2017), para alcançar os objetivos relacionados às fontes renováveis, as autoridades públicas francesas podem utilizar dois instrumentos econômicos comumente utilizados para incentivar a geração de energia elétrica via fontes alternativas *market premium*³⁶ e *feed-in tariffs*.

Segundo Guénaire et al (2018), a legislação lançada em 2015 dificultou os contratos baseados nas *feed-in tariffs*, tornando o *market premium* o principal mecanismo de suporte para novos projetos. A nova regra permite que geradores possam requerer contratos com o mecanismo *feed-in tariff* em determinadas unidades: centrais solares integradas com capacidade instalada igual ou inferior a 100kW, pequenas plantas que utilizam biogás a partir de resíduos não perigosos, instalações hidráulicas com capacidade instalada inferior a 500kW, usinas eólicas localizadas em área de ciclones e usinas eólicas *offshore*.

Os geradores de energia podem requerer contratos do tipo *market premium* em unidades: instalações hidráulicas com capacidade instalada acima de 1 MW, plantas que utilizam biogás e possuem capacidade instalada entre 500kW e 12 MW, usinas eólicas sem turbinas e com capacidade instalada de 3 MW. Outros tipos de instalações elétricas só poderão solicitar o mecanismo *market Premium* por meio de um processo de concorrência. A frequência e o volume de energia concedidos são determinados pelo PPE, programa plurianual para energia na França.

³⁶O *market premium* também conhecido como *Compensation mechanism* ou em francês *Mécanisme de compensation* é um mecanismo financeiro de suporte e incentivo à geração de energia elétrica via fontes renováveis. Esse mecanismo consiste no pagamento de uma tarifa *premium* aos geradores de eletricidade renovável, além do preço de venda já negociado no mercado de eletricidade. Esse suporte busca cobrir os custos das instalações e garantir a lucratividade da planta geradora. Dependendo da tecnologia e tamanho da instalação, a lei francesa prevê que a tarifa premium seja alocada por meio de contratos garantidos (*guichet ouvert*) ou por meio de um processo de licitação.

Em 2016, foi criado o marco regulatório para o autoconsumo de eletricidade na França. A nova legislação prevê redução nas tarifas de acesso à rede e a isenção de impostos, como a contribuição para o serviço público de eletricidade. Roulot e Raineri (2018) analisam que a nova política de autoconsumo, além de estimular o consumidor que possui plantas como PV, também incentiva grandes consumidores. A lei francesa de autoconsumo é direcionada a ajudar no processo de transição energética em curso e na descentralização do sistema elétrico nacional.

Atualmente, a França não possui um quadro regulatório específico para o armazenamento de energia em baterias, mas as unidades de armazenagem são citadas no texto da LTECV:

1. Redução de taxas de rede para ativos de armazenamento de energia. As tarifas de rede podem cair até 50% para sistemas de armazenamento elétrico de larga escala.
2. Eliminação de tarifas de uso da rede para incentivar o desenvolvimento de unidades flexíveis, incluindo sistemas de armazenamento de energia descentralizados
3. Projetos relacionados ao armazenamento de energia podem ter leis diferenciadas para facilitar a implantação.

As instalações de armazenagem elétrica são definidas por uma portaria lançada em 2016 pelo ministério de energia francês, definindo-as como: um conjunto de equipamentos fixos de armazenamento de eletricidade que permitem o armazenamento de energia elétrica e a reconversão, enquanto estão conectados às redes elétricas públicas.

3.4.3 - Oportunidades e barreiras

De acordo com Guénaire et al (2018), atualmente, a França possui 5,82 GW de capacidade de armazenamento operacional, dos quais 5,81 GW são de reservatórios hidráulicos. No entanto, o armazenamento de energia por baterias cresce no país, em particular as baterias de íons de lítio, que representam 52% da capacidade de armazenamento restante (0,01 GW).

A legislação vigente no país possibilita que clientes que escolham o autoconsumo possam ter baterias para armazenamento e que áreas remotas no território francês que necessitam de instalações para armazenamento de energia possam requerer isenção de taxas de acesso à rede.

Segundo Delsaux et al (2019), novas oportunidades estão surgindo no setor elétrico francês. A EDF apresentou um plano de investimento em projetos de armazenamento elétrico

com o objetivo de se tornar líder do mercado europeu até 2035. Em paralelo, foi lançado o projeto *Grid Motion* que é capitaneado pela PSA, Direct Energie e Enel para desenvolver baterias para veículos elétricos. A Renault lançou um projeto próprio chamado *Advanced Battery Storage*, com o projeto de construção de bateria com capacidade de 70 MW até 2020. Esse sistema será instalado nas plantas industriais da Renault, na França.

Os sistemas de armazenamento de energia em baterias ainda enfrentam dificuldades na França. Segundo Delsaux et al (2019), o arcabouço regulatório francês não atende às necessidades do mercado de armazenamento de energia em baterias, dificultando o surgimento de novos projetos e oportunidades de investimento. A legislação de autoconsumo de eletricidade pavimentou um caminho para novos projetos, mas ainda é necessário avançar nos incentivos às baterias para armazenamento. Outro fator analisado pelos autores é o risco financeiro. A falta de clareza na regulação energética não permite o desenvolvimento de modelos negócios aplicáveis aos sistemas de armazenamento de energia, já que a rentabilidade não é assegurada.

Para Guénaire et al (2018), a baixa participação de fontes renováveis de energia na estrutura de geração de eletricidade é um dos fatores que reduzem a procura pelos sistemas de armazenamento de energia em baterias. Como dito anteriormente, a França se diferencia dos demais países selecionados pela forte presença da geração de energia nuclear. Preços competitivos das fontes energéticas já utilizadas no país são uma barreira para o desenvolvimento de mercados voltados para as fontes renováveis e as tecnologias de armazenamento energético.

3.5 - Itália

O mercado de eletricidade na Itália vem se movimentado em direção à liberalização desde que a União Europeia emitiu sua primeira Diretiva 96/92/EC relacionada à eletricidade do bloco. Segundo Leal-Arcas (2019), o processo de liberalização do mercado italiano de energia foi um sucesso. O próximo passo é o movimento de descentralização da geração de eletricidade e o uso de microrredes para distribuição.

De acordo com Esposti (2017), nos últimos anos, o crescimento da economia italiana elevou o consumo de energia no país. Esse movimento da demanda foi compensado por termoelétricas e importações líquidas de combustíveis fósseis. O plano nacional de transição energética, lançado em 2017, é conhecido como *Strategia Energetica Nazionale*. busca mitigar

esse tipo de choque externo, mas também minimizar as emissões de poluentes, diversificar a estrutura de geração de energia elétrica e incentivar o uso de tecnologias no setor.

O autor analisa que para alcançar as metas definidas na estratégia nacional, o governo italiano reformou os sistemas de legislação e regulação do país, visando propiciar às autoridades públicas e ao mercado um modelo de negócio e regulatório mais transparente e efetivo. As reformas surtiram efeito nos últimos anos, permitindo que a Itália cumprisse alguns objetivos traçados pela política nacional e europeia de transição energética.

3.5.1 - Processo de transição energética

Segundo o IEA (2016), a Itália foi um dos países europeus que mais progrediram no desenvolvimento e implantação de uma política nacional de transição energética. O governo italiano elaborou o seu primeiro plano de transição energética em 2010, buscando elevar a participação das fontes renováveis no consumo final de energia.

O relatório indica que o governo italiano tinha como objetivo a promoção de um sistema elétrico eficiente, maior segurança da oferta energética, redução de custos para consumidores, uso de novas tecnologias e desenvolvimento sustentável. O plano era definir metas de médio e longo prazo para atingir os objetivos da transição energética do grupo europeu e reduzir a dependência italiana da importação de combustíveis fósseis.

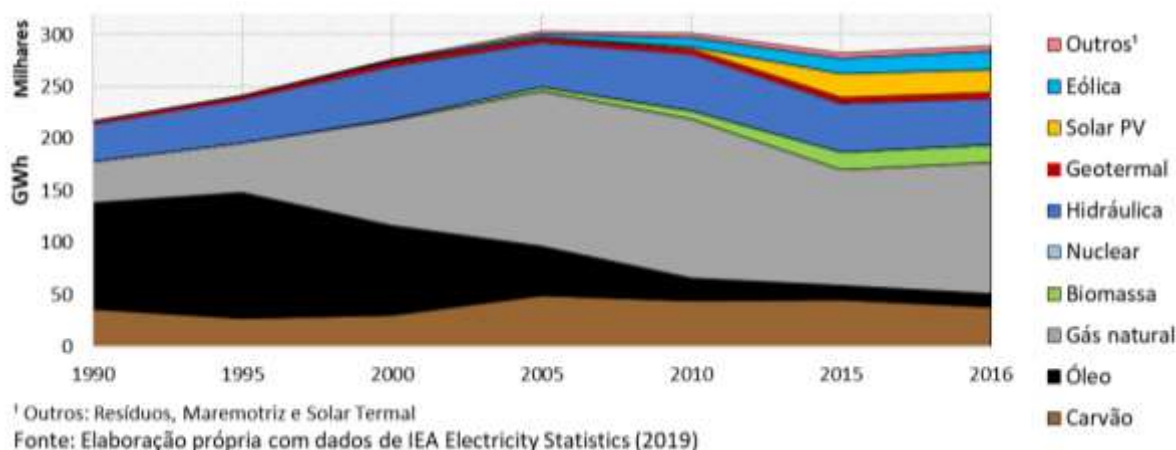
Durante a última década, a Itália reformulou seu plano de transição energética e, atualmente, utiliza a *Strategia Energetica Nazionale* revisada em 2017. O plano tem como uma de suas prioridades, aumentar a presença das fontes de energia renováveis na capacidade total de geração de energia elétrica na Itália.

De acordo com Montella et al (2018), o governo italiano se comprometeu com a política de transição energética da União Europeia. Para atingir as metas estipuladas no bloco europeu, lançou seu próprio plano e durante a década atualizou as diretrizes. Além de buscar a sustentabilidade ambiental, o governo também visa tornar o mercado de energia italiano mais competitivo e seguro.

O Gráfico 3.14 mostra a evolução da produção de energia elétrica nos últimos vinte e seis anos na Itália. O país conseguiu reduzir a dependência do óleo combustível nos últimos anos, mas continua dependente do gás natural para a geração de eletricidade. A energia

hidráulica se manteve no mesmo patamar durante as últimas décadas, mas a presença de fontes renováveis segue sendo pequena no total de energia elétrica produzida.

Gráfico 3.14 - Evolução da geração de energia elétrica na Itália entre 1990 e 2016

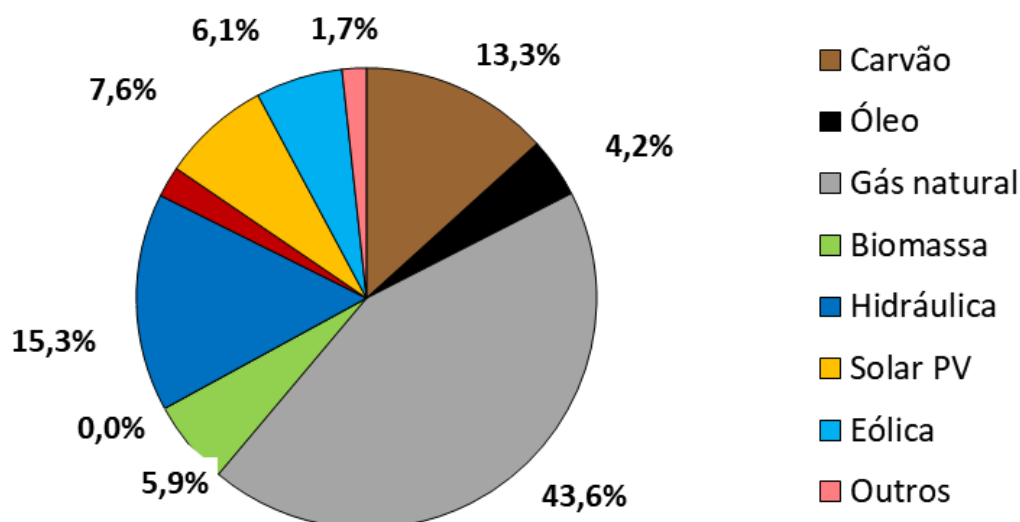


O plano nacional de transição energética italiano estabeleceu alguns objetivos a serem alcançados nas próximas décadas. O trabalho de Montella et al (2018) listou algumas das diretrizes do plano:

- Implementar soluções estruturais para o sistema elétrico, aumentando a competitividade e garantindo preços e custos em linha com o mercado dos demais países do bloco.
- Aumento da participação das fontes de energia renováveis na geração de energia e medidas para aumento da eficiência energética da rede.
- Melhoria na segurança da oferta de energia e maior flexibilidade do sistema para integração adequada das fontes de energia alternativas e outras tecnologias, como o armazenamento de energia.
- Diversificação das fontes de geração energética devido aos riscos geopolíticos.

O Gráfico 3.15 apresenta a participação de cada fonte energética da Itália na produção de eletricidade. Atualmente, o gás natural é líder de geração elétrica com 43,6%, seguido pela energia hidráulica (15,3%) e carvão (13,3%). As fontes energéticas representam aproximadamente 39% de toda a energia elétrica gerada na Itália. Apesar disso, é importante salientar a baixa participação das novas fontes renováveis no mix energético.

Gráfico 3.15 – Participação de fontes de energia na geração de eletricidade na Itália em 2016



¹ Outros: Resíduos, Maremotriz e Solar Termal

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

De acordo com a MSE e MATTM (2017), o governo italiano elaborou um plano de metas e objetivos a serem alcançados nas próximas décadas. A projeto *Strategia Energetica Nazionale* definiu objetivos de médio e longo prazo para a difusão de fontes renováveis de energia, melhoria da eficiência energética, evolução da segurança energética italiana e neutralidade na emissão de CO₂. O projeto compara as metas europeias e italianas para os próximos vinte anos.

Como dito anteriormente, a Itália avançou no processo de transição energética nas últimas décadas, além disso, se prepara para modificar a estrutura de geração de eletricidade nos próximos anos. A Tabela 3.4 identifica as metas definidas pelo governo italiano para os anos de 2030 e 2050.

Tabela 3.4 – Principais metas e objetivos da *Strategia Energetica Nazionale*

		2030	2050
Gases do efeito estufa	Redução das emissões em todos os setores	Neutralidade em carbono	
Energias renováveis	Participação na produção de eletricidade	55%	88%
	Participação no consumo final de energia	28%	
Eficiência energética	Redução do consumo final de energia	-8%	
	Redução do consumo primário de combustíveis fósseis	-42%	

Fonte: Traduzido de MES e MATTM (2017)

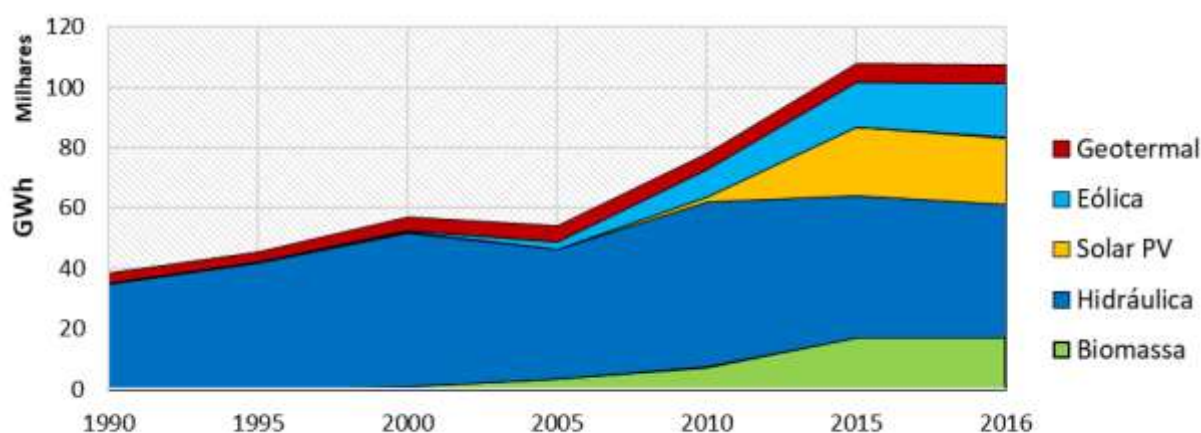
De acordo como MES e MATTM (2017), essa característica da estrutura italiana acarreta desafios e benefícios no longo prazo. O debate relacionado ao desligamento das plantas de energia nuclear não existe na Itália, portanto, o governo italiano pode desenvolver outras estratégias relacionadas a estrutura de geração elétrica. O desafio colocado para o país é como iniciar um processo de descarbonização da produção de energia elétrica sem a presença de uma fonte energética não poluidora base.

Segundo o plano italiano de transição energética, as fontes renováveis de energia são pilares essenciais para a transformação da estratégia de geração de energia elétrica no país. Atualmente, as fontes alternativas são consolidadas no mix energético italiano. São capazes de sustentar o projeto de transição energética, mas devem se aperfeiçoar em termos de tecnologia, segurança da rede e sustentabilidade. Diferente dos demais países estudados, a Itália não possui em seu mix energético a energia nuclear.

O Gráfico 3.16 apresenta a evolução das fontes renováveis na estrutura de produção de energia elétrica italiana nas últimas três décadas. A energia hidráulica se manteve como a principal fonte energética limpa do país durante todo o período analisado, além disso, a partir

da primeira década do século XXI as novas tecnologias renováveis aumentaram sua participação no mix energético italiano.

Gráfico 3.16 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade na Itália entre 1990 e 2016

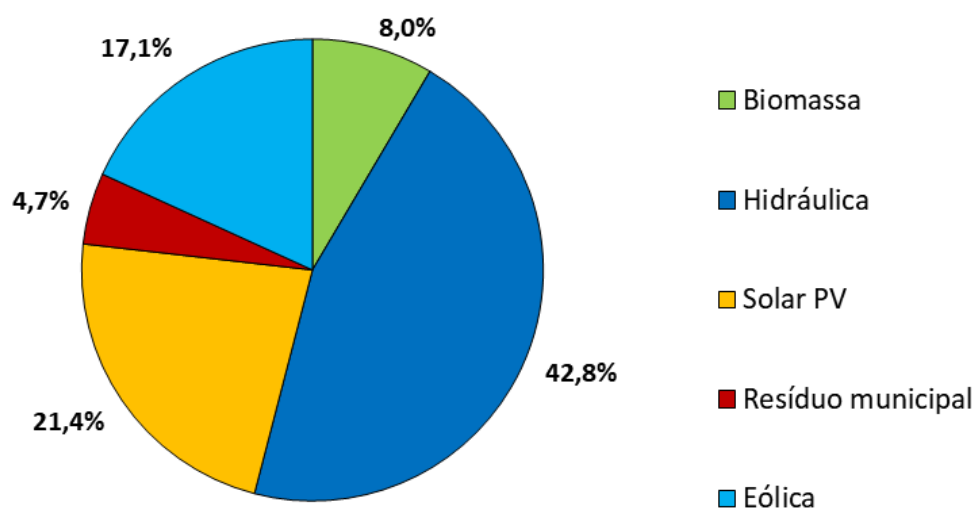


Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

A *Strategia Energetica Nazionale* debate a evolução das fontes energéticas limpas na estrutura de produção de eletricidade na Itália. Segundo o projeto, novas fontes renováveis, como eólica e solar, terão que aumentar sua participação no setor elétrico. A capacidade instalada das plantas hidroelétricas se aproxima do limite que as questões geográficas impõem ao país. Portanto, as novas tecnologias serão peças chave para o processo de descarbonização do setor.

O Gráfico 3.17 mostra como as fontes renováveis se distribuem na estrutura de geração de energia elétrica limpa na Itália. Como dito anteriormente, a energia hidráulica é a principal fonte alternativa do sistema italiano, com participação de 42,8% do total de eletricidade limpa gerada. Em segundo lugar está a energia solar, que é responsável por 21,4% da produção de energia elétrica limpa. Completando a lista das três principais fontes renováveis, temos a energia eólica, responsável por 17,1% da geração limpa italiana.

Gráfico 3.17 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa na Itália em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

MSE e MATTM (2017) analisa que investimentos na rede são intervenções fundamentais para garantir uma integração estrutural das fontes de energia renováveis. A maior participação dessas fontes na estrutura elétrica italiana será possível graças ao desenvolvimento de novas tecnologias e maior integração da rede. A Strategia Energetica Nazionale apresenta as seguintes opções de investimento que garantiriam o aumento da segurança e da flexibilidade do sistema elétrico italiano.

- Investimento em redes de distribuição e distribuição
- Novas tecnologias de armazenamento de energia elétrica
- Abertura do Mercato per il Servizio di Dispacciamento³⁷ (MSD) para as fontes renováveis acompanhadas de sistemas de armazenamento e geração distribuída.
- Gerenciamento da distribuição da rede através de *smart grids*.

³⁷Mercato per il Servizio di Dispacciamento é o instrumento através do qual a Terna S.p.A adquire os recursos necessários para o gerenciamento e controle do sistema (resolução do congestionamento intrazonal, criação da reserva de energia, equilíbrio em tempo real).

3.5.2 - Arcabouço regulatório

Reguladores

O mercado de eletricidade italiano é regulado pelas instituições listadas pelo estudo de Esposti (2017):

- **MISE (*Ministero dello Sviluppo Economico*):** É a instituição responsável por todos os procedimentos de autorização de competência do governo, execução do estatuto e implementação da regulação do setor de energia.
- **AEEGSI (*Autorità per L'Energia Elétrica Il Gás Ed il Sistema Idrico*):** Tem como objetivo proteger os interesses dos consumidores, promovendo a inclusão, garantindo eficiência do sistema e níveis satisfatórios de qualidade energética para os usuários. Possui funções regulatórias, como: a definição do sistema tarifário para uso da infraestrutura elétrica e incentivos a investimentos no setor. A AEEGSI também desempenha um papel de fiscalização, podendo impor sanções administrativas em caso de descumprimentos de regras, visando assegurar a transparência das condições de atendimento e promovendo uso racional de energia. Para cumprir todas essas atribuições, a AEEGSI é apoiada pela autoridade antitruste italiana, que busca garantir a implementação de regras de livre concorrência no mercado de energia do país. Por fim, a AEEGSI também desempenha um papel consultivo para o parlamento, podendo emitir propostas e relatórios sobre o setor.
- **GSE (*Gestora Servizi Energetici*):** É uma companhia pública italiana que tem como função promover as fontes de energia renovável na Itália. Sua atuação ocorre através da distribuição de incentivos e campanhas informativas que visam disseminar a cultura de proteção ambiental no setor de energia.
- **GME (*Gestore dei Mercatu Energetici*):** Responsável por organizar e gerenciar o mercado de eletricidade e gás natural, respeitando critérios como: a neutralidade, a transparência e a competição. Uma de suas atribuições é organizar o mercado de leilões de energia.

Legislação

Segundo Leal-Arcas (2019), o mercado de eletricidade italiano foi moldado por uma coleção de decretos, diretivas e decisões do parlamento, que, juntas, substituíram as diretivas da União Europeia.

Segundo EC (2018) e Schwarz (2019), os sistemas de armazenamento de energia se beneficiam dos mecanismos de suporte oferecidos pelo governo italiano as fontes renováveis de geração de eletricidade. Na Itália, a eletricidade gerada a partir de fontes de energia renováveis é promovida através de mecanismos de regulação tributária, *feed-in tariffs* e *net-metering*.

A eletricidade proveniente de fontes renováveis de energia pode ser vendida no mercado livre ou ao GSE por um preço mínimo garantido através do mecanismo *Ritiro dedicato (feed-in tariffs)*. Caso o preço no mercado livre seja superior ao preço mínimo garantido, a diferença de preço será reembolsada. Como alternativa, os produtores de energia renovável podem optar pelo *Scambio sul posto (Net-metering)*, que fornece uma compensação econômica aos produtores fotovoltaicos pela eletricidade enviada a rede. Os dois mecanismos descritos não são combináveis.

De acordo com Schwarz (2019), as instalações de energia fotovoltaica e eólica são elegíveis para um conjunto de deduções tributárias. Esse benefício fiscal se aplica a empresa se particulares. Além disso, é possível obter uma redução do IMU (*Imposta municipale propria*) para edifícios equipados com instalações de energia renovável do município.

A Itália prevê uma série de programas regionais de energia renovável. O *Osservatorio Politiche Energético-Ambiental Regional Regional and Locali* e a *Federazione Italiana per l'uso Razionale dell'Energia (FIRE)* desenvolvem e estudamos esquemas de apoio regional a novas legislações nas diferentes regiões, como os programas regionais de energia renovável.

Segundo EC (2018), o mercado italiano de armazenamento de energia foi impulsionado nos últimos anos pelo recente crescimento no número de instalações fotovoltaicas no país. Atualmente, a rede elétrica italiana não está adequada para a maciça entrada de renováveis, dessa forma as soluções propostas pelos sistemas de armazenamento de energia são necessárias. Apesar disso, o desenvolvimento de novos projetos ainda enfrenta obstáculos regulatórios no país.

IEA (2016b) analisa que as tarifas elétricas na Itália estão entre as mais altas da Europa, devido as altas taxas cobradas na rede. Segundo o relatório, esse fator desencoraja o investimento em sistemas de armazenamento. Outro fator que reduz a procura por baterias é a presença do mecanismo de *net-metering*, que por sua vez estimula a venda da energia elétrica para a rede.

De acordo com EC (2018), a dificuldade da Itália em desenvolver e aperfeiçoar sua rede elétrica para receber as fontes renováveis, levou o governo italiano a realizar algumas reformas no sistema regulatório. A nova legislação promulgada em 2011 permite que as empresas responsáveis pela transmissão e distribuição de eletricidade no país gerenciem sistemas de armazenamento de energia em baterias.

Segundo ISPI (2015), a autoridade reguladora italiana (AEEG) forneceu terreno legal para novos projetos que envolvam sistemas com baterias conectadas à rede de transmissão. O objetivo é avaliar diferentes soluções e melhorar o conhecimento público sobre o assunto. Além disso, a legislação italiana também avançou em relação os sistemas de armazenamento conectados à rede via agentes não regulados, ou seja, por produtores de energia ou consumidores finais.

Ciminelli e Cavasola (2018) analisam que mesmo com o crescimento no mercado de armazenamento de energia na Itália, o quadro regulatório para o setor é fragmentado em diferentes legislações e não cobre as principais demandas. De acordo com os autores, até pouco tempo atrás, a legislação italiana entendia como unidades de armazenamento de energia apenas reservatórios hídricos.

3.5.3 - Oportunidades e barreiras

Segundo IEA (2016b), a estrutura de geração de energia elétrica na Itália não possui uma empresa fornecedora dominante no mercado. A estatal Enel é responsável por 25% da geração italiana, mas nenhum outro fornecedor possui mais de 10% do mercado. De acordo com EC (2018), a estrutura de geração descentralizada na Itália estimula o desenvolvimento de novas tecnologias como o armazenamento de energia por parte dos novos entrantes no mercado elétrico.

Terna (2016) analisa que o sistema de energia italiano precisará cada vez mais de fontes flexíveis e os sistemas de armazenamento de energia em baterias podem garantir a adequação

e a confiabilidade da rede elétrica. A agressiva política de incentivos à geração de energia elétrica através de fontes renováveis de energia levou ao crescimento da participação das fontes alternativas. Segundo a empresa, esse movimento aconteceu em um curto período de tempo dificultando a adequação da rede para suportar a nova estrutura de geração de eletricidade e gerando novos desafios.

- Aumento do número de interrupções no sistema devido ao congestionamento da rede
- Perda da capacidade do sistema de controle de reservas, devido ao fato das principais plantas de geração tradicional estarem funcionando com carga mínima
- Maior necessidade de novas opções para o sistema de controle de reserva

Segundo EC (2018), a empresa Terna desenvolve um ambicioso plano de investimento chamado Storage Lab³⁸. O objetivo do projeto é testar a tecnologia de armazenamento de energia em baterias em cinco localidades. As primeiras unidades foram instaladas nas ilhas Sicília e Sardenha, com o objetivo de aumentar a segurança na rede por meio de sistemas de armazenamento de energia em baterias, oferecendo serviços de controle de reserva, suporte de tensão e qualidade de energia.

O relatório da Comissão Europeia também analisa que o *Ministero dello Sviluppo Economico* da Itália criou um fundo destinado ao setor elétrico para atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação relacionada ao fornecimento de eletricidade no país. As atividades de pesquisa estão sendo realizadas por algumas das principais partes interessadas no país, como a *Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, L'energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile* (ENEA) e *Ricerca Sistema Energetico* (RSE), além de várias universidades. O projeto faz parte do plano de desenvolvimento da rede elétrica, que visa transformar a estrutura elétrica italiana. Universidades e centros de pesquisa italianos estão contribuindo para a iniciativa, que por sua vez levará a um avanço no conhecimento e no aumento da P&D relacionado as baterias elétricas.

Ciminelli e Cavasola (2018) analisam que os principais desafios que os projetos de armazenagem de energia enfrentam na Itália são relacionados à incerteza financeira dos projetos, pois não há incentivos governamentais que garantam a sustentabilidade das unidades

³⁸ O projeto Storage lab foi lançado em 2012 e consiste em 16 MW de sistemas de armazenamento com várias tecnologias, com o objetivo de aumentar as margens de segurança das redes nas duas maiores ilhas da Itália (Sicília e Sardenha)

de armazenamento. Outro desafio segundo os autores é o alto custo para a instalação das baterias na rede.

Segundo EC (2018), a conscientização pública e a difusão de conhecimentos e projetos em torno das soluções de armazenamento de baterias aumentaram na Itália. Isso se deve a atividades de compartilhamento de conhecimento de universidades e outras instituições de P&D. No entanto, estruturas regulatórias, bem como a falta de políticas e instrumentos, impedem a adoção de iniciativas de armazenamento de baterias.

3.6 - Reino Unido

O Reino Unido possui um mercado de eletricidade maduro e dinâmico. O país foi pioneiro no processo de liberalização, começando com a *Energy Act* 1983 que abriu o setor elétrico. O processo foi posteriormente reforçado por um ambicioso programa de privatização no final dos anos 80 e 90, que levou à criação de mercados, onde os geradores poderiam vender eletricidade em tempo real. Atualmente, o setor elétrico britânico é totalmente liberalizado e privatizado.

Segundo Hassan e Radu (2017), o Reino Unido, impulsionou uma agenda energética focada na descarbonização, demonstrada pelas metas nacionais de energia renovável do país em 2020, que excedem as exigidas pelas diretivas do comitê europeu de energia renovável. Isso resultou em um forte crescimento para a geração renovável na última década, com subsídios que proporcionam retornos atraentes e oportunidades de investimento.

3.6.1 - Processo de transição energética

O Reino Unido lançou o *The UK Low Carbon Transition Plan* em 2009. A estratégia nacional para o processo de transição energética teve como objetivo definir diretrizes para o desenvolvimento econômico e social mais sustentável do país.

De acordo com DECC (2009), a estratégia britânica visa transformar a forma como a sociedade e os setores econômicos utilizam a energia. O objetivo dessa mudança é reduzir as emissões de poluentes, garantir o fornecimento de energia elétrica em todo o país, maximizar as oportunidades econômicas que o processo de transição gera e proteger os mais vulneráveis.

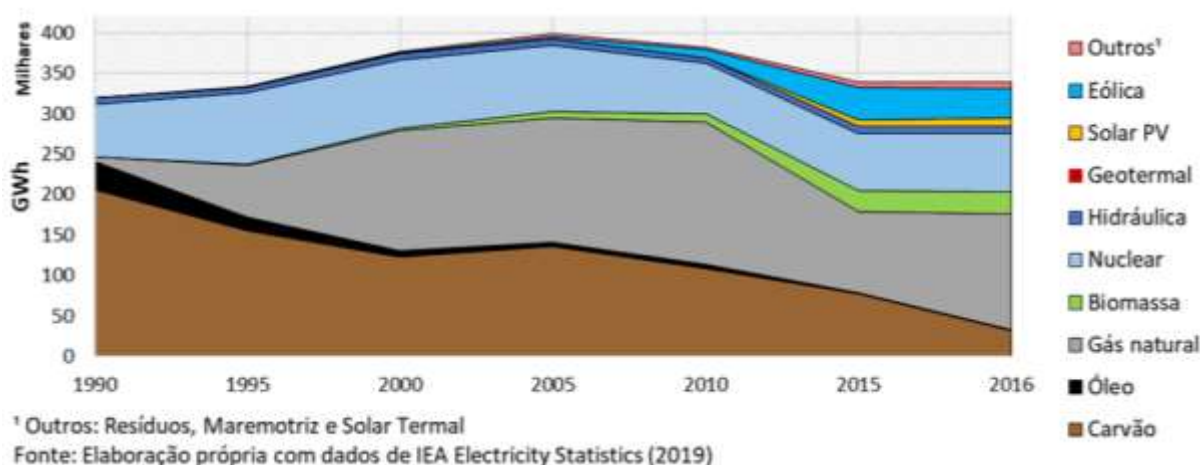
Já em 2017, o governo britânico lançou o *The Clean Growth Strategy*, plano que visa estruturar o crescimento industrial do Reino Unido de forma sustentável. Segundo BEIS (2017),

o crescimento ambientalmente sustentável significa aumentar renda nacional e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

A estratégia industrial britânica passa por atingir um crescimento “limpo” e ao mesmo tempo garantir a oferta de eletricidade para as empresas e para os consumidores. O investimento em tecnologias renováveis aumentará produtividade da indústria britânica, criará empregos, aumentará o poder aquisitivo das famílias e ajudará a proteger o clima e o ambiente dos quais dependemos nós e as gerações futuras.

O governo britânico reconhece em sua estratégia de transição energética que o setor elétrico é um importante pilar para redução o nível de emissões de poluentes no Reino Unido. O Gráfico 3.18 apresenta a evolução da geração de energia elétrica no Reino Unido entre 1990 e 2016. No início da década de 1990 a principal fonte de eletricidade era o carvão, enquanto na primeira década do século XXI o gás natural assumiu a posição de principal gerador de eletricidade no país. A energia nuclear perdeu participação no mix energético, mas continua sendo uma das principais fontes de energia no Reino Unido, enquanto as fontes renováveis estão presentes em uma pequena fatia da estrutura de produção de eletricidade.

Gráfico 3.18 - Evolução da geração de energia elétrica no Reino Unido entre 1990 e 2016



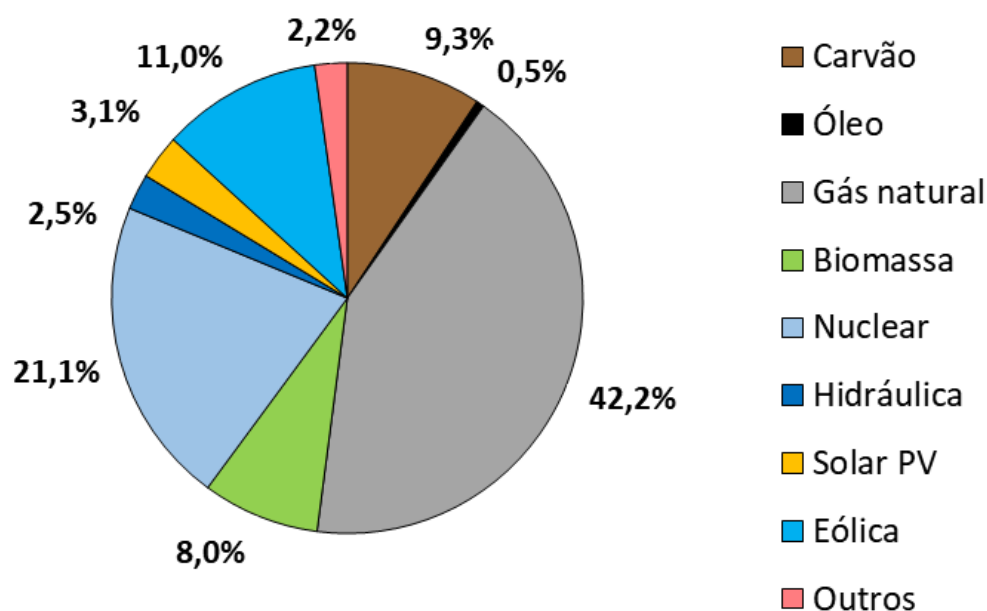
De acordo com Hassan e Radu (2017), na esteira da crise financeira de 2008, o governo deu maior atenção à redução do custo para os consumidores. Além disso, as preocupações sobre a geração intermitente das fontes de energia renováveis e sua crescente participação na geração de eletricidade do Reino Unido mudaram o foco da política energética, visando a garantia da segurança no fornecimento. O resultado foi uma reconfiguração do mecanismo de subsídios,

com o duplo objetivo de reduzir o custo de novas tecnologias e incentivar a construção de unidades de geração de carga de base³⁹.

Esta mudança no sistema regulatório, juntamente com a incerteza resultante do Brexit, levou a um declínio no crescimento de novos projetos de energia renováveis. Atualmente, o Reino Unido possui uma estrutura de geração elétrica baseada no gás natural, na energia nuclear e no crescimento das fontes renováveis, especialmente a energia eólica.

O Gráfico 3.19 mostra a participação das principais fontes energéticas na estrutura de geração de energia elétrica no Reino Unido em 2016. Atualmente, as usinas de gás natural são a principal fonte de eletricidade, representando 42,2% do total produzido no país. Em seguida, as plantas nucleares representam 21,1% da energia elétrica gerada no Reino Unido, mantendo sua importância no setor elétrico britânico. A energia eólica ocupa a terceira posição entre as principais fontes de geração, fornecendo 11,0% da eletricidade do setor.

Gráfico 3.19 – Participação das fontes energéticas na geração de eletricidade no Reino Unido em 2016



¹ Outros: Resíduos, Maremotriz e Solar Termal

Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

³⁹ Unidades de carga de base são usinas designadas para o fornecimento da demanda de base de carga. Essas usinas são utilizadas para atender parte, ou o todo, da demanda contínua de energia de uma dada região, e para produzir energia a uma taxa constante, geralmente a um custo menor em relação a outras instalações de produção disponíveis para o sistema.

Segundo o DECC (2009), o Reino Unido projeta que em 2050 o país produzirá mais energia do que atualmente, mas gerará eletricidade limpa, sem a emissão de poluentes. Para que o governo britânico consiga realizar essa transição é necessário transformar o sistema elétrico, inserindo fontes energéticas renováveis e novas tecnologias. Essa transformação é importante para a rede elétrica, pois absorverá as fontes energéticas, que por sua vez, dificultam a gestão do sistema devido a maior flutuação na produção de eletricidade

O plano identifica que o governo britânico terá que fornecer as condições necessárias para que as empresas investem no sistema elétrico e em novas tecnologias para as redes de distribuição e transmissão. A Tabela 3.5 apresenta as principais metas estabelecidas pelos planos de transição energética britânicos para os anos de 2020, 2030 e 2050.

Tabela 3.5 – Principais metas e objetivos do *The UK Low Carbon Transition Plan* e *The Clean Growth Strategy* para 2020, 2030 e 2050

		2020	2030	2050
Gases do efeito estufa	Redução das emissões em todos os setores	-18%	-57%	-80%
Energia nuclear	O governo britânico mantém seus investimentos em plantas nucleares			
Energias renováveis	Participação na produção de eletricidade	30%	85%	100%
Eficiência energética	Redução do consumo primário de combustíveis fósseis	-20%	-50%	

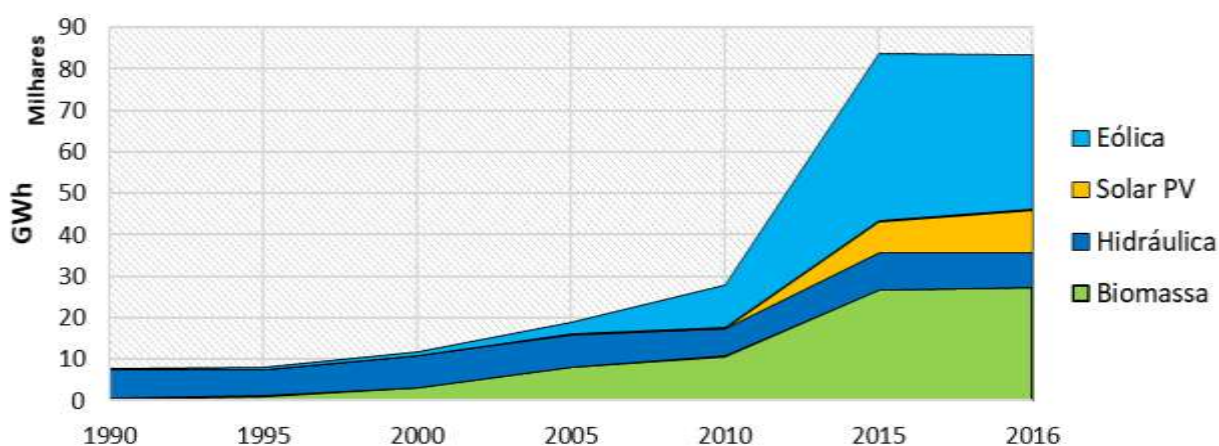
Fonte: Traduzido de BEIS (2017) e DECC (2009)

Como apresentado no Gráfico 3.19, a participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica foi de 26% em 2016, valor próximo a meta de curto prazo do governo britânico para 2020. Segundo IEA (2019), o Reino Unido alcançou 31% de geração de energia elétrica de origem em fontes alternativas em 2017. Dessa forma, o país alcançou uma de suas metas estabelecidas no plano nacional de transição energético. Os desafios para alcançar as metas de médio (2030) e longo (2050) prazo são maiores e o Reino Unido entende que o investimento em novas fontes renováveis de energia é essencial.

No início dos anos 1990 as fontes renováveis representavam menos do que 5% da eletricidade gerada no país, além disso, essa participação era majoritariamente de hidroelétricas. Na virada do século os biocombustíveis ganharam espaço no setor elétrico britânico, assim como as unidades de geração eólicas. Nos últimos anos as fontes renováveis tiveram crescimento exponencial segundo relatório da IEA (2019), principalmente os biocombustíveis e energia eólica.

O Gráfico 3.20 mostra a evolução da participação das fontes alternativas na produção de energia elétrica no Reino Unido nas últimas três décadas. A fonte hidráulica foi a principal fonte energética limpa nos primeiros quinze anos do período analisado. A partir de 2005 que a energia eólica e de biomassa ganharam escala na estrutura britânica de geração de energia elétrica.

Gráfico 3.20 - Evolução das fontes renováveis na geração de eletricidade no Reino Unido entre 1990 e 2016



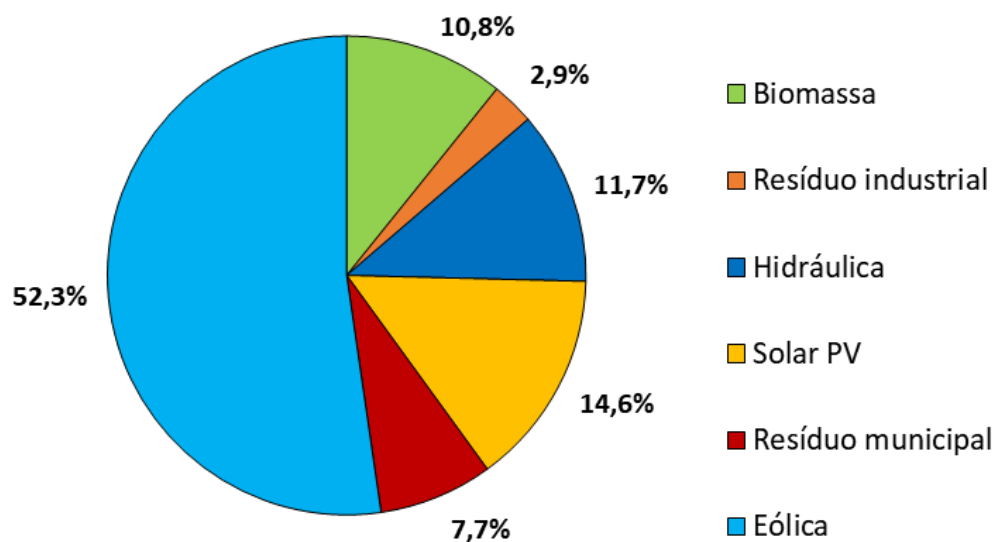
Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

De acordo com BEIS (2017), o Reino Unido possui o maior parque eólico *offshore* do mundo em capacidade de geração de energia elétrica. O desenvolvimento de tecnologia britânica foi essencial para que o país se tornasse líder no uso da energia eólica. Os investimentos em inovação possibilitaram a queda no custo de implantação da tecnologia em alto mar.

O Gráfico 3.21 apresenta a estrutura de geração de eletricidade limpa no Reino Unido em 2016. A energia eólica é responsável por mais da metade da energia elétrica limpa gerada

no país, com participação de 52,3%. Em segundo lugar está a fonte de energia solar com 14,6% e em terceiro a energia hidráulica.

Gráfico 3.21 - Participação de fontes renováveis na geração de energia elétrica limpa no Reino Unido em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

Segundo o *The UK Low Carbon Transition Plan*, o governo britânico acredita que as novas tecnologias têm papel importante no processo de transição energética, mas o armazenamento de energia em baterias não é citado como uma das prioridades. Já o *The Clean Growth Strategy* identifica que a tecnologia de armazenagem de eletricidade será importante para a gerência de um sistema elétrico integrado e disponibiliza um fundo de investimento para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias ligadas ao armazenamento.

O governo destaca em sua estratégia de transição que a presença de fontes renováveis na geração de eletricidade britânica aumenta a necessidade de novas tecnologias como o armazenamento, pois a intermitência na geração fará parte do processo. Uma maior eficiência no consumo de eletricidade e transparência nas informações podem ser conquistadas através de tecnologias como *smart metering*, um dos pontos focais que o Reino Unido busca desenvolver em seu sistema. Além disso, o plano busca estimular a microgeração de energia, permitindo que consumidores vendam sua geração excedente para o sistema, integrando unidades geradoras de pequeno porte a rede nacional.

3.6.2 - Arcabouço regulatório

Reguladores

O mercado de eletricidade do Reino Unido é regulado pelas seguintes instituições listadas abaixo:

- **GEMA (*Gas and Electricity Markets Authority*):** O GEMA opera através do Ofgem (*Office of Gas and Electricity Markets*), ao qual delega a administração de suas funções. Ofgem é, portanto, conhecido como o regulador do mercado elétrico britânico e exerce os poderes da GEMA para conceder e modificar as condições das licenças, monitoramento das atividades das empresas de energia elétrica e, quando necessário, tomar medidas de execução para garantir que essas empresas cumpram suas obrigações estatutárias e de licenciamento. O Ofgem também exerce o poder da GEMA de impor penalidades financeiras aos detentores de licenças pelo descumprimento de tais obrigações. A estrutura regulatória do setor elétrico britânico é sensível às transformações do mercado através da capacidade do Ofgem de modificar as condições das licenças e autorizações.
- **CMA (*Competition and Markets Authority*):** É a principal autoridade de concorrência do Reino Unido, estabelecido pelo *ERRA (Enterprise and Regulatory Reform Act 2013)*. O GEMA, como regulador de energia, tem poderes simultâneos com o CMA em relação ao setor de energia. O *ERRA* exige que os reguladores setoriais, incluindo o GEMA, considerem a aplicação da lei de concorrência antes de usar seus poderes setoriais específicos. O CMA pode investigar as práticas competitivas no Reino Unido e abrir uma investigação onde tem bases razoáveis para suspeitar que alguma situação. No caso dos setores de gás e eletricidade, a Ofgem pode encaminhar um caso para a CMA para uma investigação ou a CMA pode instruir o Ofgem a transferir o caso para ela.
- **Agências Ambientais:** As agências são responsáveis pela proteção do meio ambiente e pela promoção do desenvolvimento sustentável do Reino Unido. Dessa forma, estão presentes no quadro regulatório de energia elétrica britânico. Cada uma das regiões da Grã-Bretanha possui órgãos específicos. Na Inglaterra a agência ambiental é um órgão público, o *Department for Environment, Food and Rural Affairs*. A instituição é responsável pelas licenças e permissões no País de Gales, a partir de 2013 os assuntos ambientais e outros relacionados a recursos naturais se tornaram responsabilidade do *Natural Resources Wales*. O papel da agência ambiental em relação a energia elétrica é

limitado a assuntos relacionados à poluição, portanto, refere-se principalmente à geração convencional e nuclear de eletricidade, embora questões ambientais. Na Irlanda do Norte, a *Northem Ireland Environment Agency* é o órgão responsável pela proteção, conservação e promoção do desenvolvimento sustentável nacional.

- **BEIS (*Department for Business, Energy and Industrial Strategy*) e DFE (*Department for the Economy*):** Embora não sejam reguladores, o BEIS e o DFE são departamentos governamentais responsáveis pela definição de políticas que afetam o mercado de energia elétrica e gás no Reino Unido. O BEIS é responsável pela formulação da política energética do Reino Unido, que é implementada por meio de legislação específica. Além disso, existem alguns poderes regulatórios que são reservados diretamente ao secretário de estado. O secretário de estado nomeado no BEIS é responsável pela tomada de decisão, definição de políticas e implementação de legislação que afeta o setor elétrico e é também responsável por questões como a segurança no fornecimento de eletricidade e sustentabilidade no setor. O DFE é o órgão correspondente na Irlanda do Norte.

Legislação

O quadro regulatório no Reino Unido funciona através de um conjunto de legislações do sistema. A autoridade reguladora independente é responsável pela regulamentação do setor e aplicação das regras de acordo com Hassan e Majumder-Russel (2014).

EC (2018) analisa que a *Electricity Market Reform* é um apêndice do *Energy Act 2013*. A reformulação introduziu uma série de instrumentos de incentivo ao investimento em fontes renováveis e nuclear. Apesar disso, os sistemas de armazenamento de energia em bateria não sejam mencionados na legislação. Segundo o mesmo relatório, os sistemas de armazenamento de energia em baterias se beneficiam dos mecanismos de suporte existentes para as fontes renováveis. Os principais instrumentos são listados de acordo com Maroulis (2019):

- ***Contracts for Difference (CfD)*:** É um contrato privado entre um gerador de energia renovável e uma empresa de propriedade integral do governo britânico. O CfD é baseado na diferença entre o preço de mercado e um "preço de exercício" acordado. Quando o "preço de exercício" é superior ao preço de mercado, o gerador precisa receber a diferença. No caso em que o preço de mercado é superior ao "preço de exercício", o gerador RES-E deve devolver a diferença entre o preço de mercado e o "preço de exercício". Um fornecedor de energia elegível, disposto a garantir um

Contrato por Diferença, deve participar de uma rodada de alocação. A partir de abril de 2017, o esquema CfD se tornou o único esquema de suporte para todas as novas fontes renováveis com mais de 5 MW. A primeira rodada de alocação ocorreu em outubro de 2014 e a segunda rodada de alocação ocorreu em abril de 2017.

- **Feed-in tariffs:** As fontes de energia renovável elegíveis com capacidade de até 5 MW devem passar por um processo de acreditação, que pode variar de acordo com o tamanho da planta. Quando o processo é concluído e a unidade é credenciada, a eletricidade exportada para a rede é comprada por uma FiT licenciada.
- **Carbon Price Floor (CPF):** é um imposto cobrado sobre combustíveis fósseis utilizados no Reino Unido. As taxas são aplicadas ao gás, combustíveis sólidos e petróleo liquefeito gás (GLP) usado para geração de eletricidade. A eletricidade de fontes renováveis está isenta desse imposto.

De acordo com EC (2008), os principais agentes interessados na política energética no Reino Unido são as seis principais empresas de energia (EDF, E.ON, SSE, British Gas, Scottish Power e N-Power), o governo britânico, o *National Grid* (operador do sistema) e o Ofgem (regulador independente). Apesar da população britânica apoiar o debate em torno do processo de transição energético e a necessidade de minimizar os impactos das mudanças climáticas, a sociedade civil tem pouca influência em relação a regulação e legislação nacional.

Segundo o relatório, o governo do Reino Unido não fornece subsídios diretos para a implantação de sistemas de armazenamento. No entanto, o governo trabalha para remover uma série de barreiras regulatórias e políticas que impedem a difusão dos sistemas de armazenamento de energia em baterias. O objetivo do governo britânico é criar um sistema de energia sustentável e um setor de armazenamento de energia que não dependa de subsídios públicos.

EC (2018) e National Grid (2016) analisaram o impacto que a mudança regulatória pode ter no desenvolvimento da tecnologia. Desde o final de 2017, a capacidade de armazenamento de longa duração está sendo incentivada em relação à capacidade de armazenamento de curta duração para alcançar níveis mais altos de segurança energética. Em 2016, os leilões de capacidade T-4, para capacidade entregue em 2020/21, registraram cerca de 500 MW de nova capacidade no armazenamento de baterias do total de 3,2 GW de capacidade de armazenamento concedido.

Em dezembro de 2017, o governo do Reino Unido, após uma consulta, estabeleceu novas regras sobre o *de-rating*⁴⁰ da capacidade de armazenamento para futuros leilões de capacidade no Reino Unido. O *de-rating* do armazenamento agora é dividida pela duração, ou seja, a quantidade de tempo durante a qual uma unidade de mercado de capacidade de armazenamento pode gerar em sua capacidade total de conexão sem recarregar. A bateria de curto prazo pode receber um fator de classificação baixo porque não pode fornecer capacidade suficiente se uma interrupção durar mais que a capacidade da bateria.

Segundo EC (2008), embora as pré-qualificações para os próximos leilões mostrem cerca de 6 GW de capacidade de armazenamento de bateria, é provável que o resultado final seja negativamente influenciado por esses novos regulamentos. De acordo com BEIS (2017b), o governo britânico argumentou que o armazenamento de bateria de curta duração não oferece segurança energética suficiente e estimou custos adicionais de 50 a 500 milhões de libras ao conceder mais armazenamento de bateria com os antigos níveis de *de-rating* para garantir a segurança energética.

De acordo com Hassan e Dalton (2018), o armazenamento de eletricidade não é definido separadamente no quadro legislativo do Reino Unido. Atualmente é considerada uma forma de geração sob a *Electricity Act 1989*, resquício da legislação vigente que abordava os reservatórios de hidroelétricas como armazenamento de energia. Embora o BEIS e Ofgem tenham apoiado o armazenamento de energia e reconheçam os benefícios e a flexibilidade proporcionados pelas novas tecnologias, não existe legislação específica para unidades de armazenamento.

3.6.3 - Oportunidades e barreiras

O setor elétrico britânico tem voltado sua atenção para novas tecnologias como a de armazenamento de eletricidade via baterias. Segundo EC (2018), o *National Grid* está desenvolvendo o serviço de *Enhanced Frequency Response (EFR)*⁴¹, que tem como objetivo atingir 100% da potência ativa na rede em no máximo um segundo após detectar um desvio de

⁴⁰*De-rating* é a operação de um dispositivo com capacidade inferior à sua capacidade máxima nominal.

⁴¹Enhanced Frequency Response (EFR) é um serviço dinâmico em que a energia ativa muda proporcionalmente em resposta a alterações na frequência do sistema. Este serviço tem como objetivo melhorar o gerenciamento da pré-falha de frequência do sistema para manter a frequência do sistema próxima a 50Hz.

frequência. Como parte do projeto, oito empresas estão envolvidas, todas elas fornecendo soluções de armazenamento para a rede à um custo estimado de £66 milhões.

O Reino Unido também disponibilizou um financiamento significativo para apoiar a inovação e a pesquisa e o desenvolvimento focados no armazenamento de energia e, particularmente, em tecnologias de bateria. De acordo com DECC (2015), o *Department for Energy & Climate Change* estimou que seriam necessários investimentos de até £100 bilhões para o período entre 2014 e 2020 nas redes e fábricas do país. O objetivo era acomodar a rede do Reino Unido para lidar com as pressões esperadas de oferta e demanda de demanda de eletricidade. Isso permite algumas possibilidades para a introdução potencial de instalações de armazenamento de baterias na rede nacional, uma vez que elas podem aumentar a flexibilidade e a capacidade dos arranjos atuais da rede.

Segundo EC (2018), o Reino Unido contava com 2.441 veículos elétricos em 2011. Em 2016, já são 84.884 veículos licenciados e conectados a rede elétrica. Na esteira do crescimento do mercado, projetos como o *My Electric Avenue* foram lançados, visando evitar o estresse adicional na rede de distribuição de eletricidade. Além disso, o projeto também busca aumentar a presença de carros elétricos na frota britânica.

Outros projetos que utilizam a tecnologia de armazenamento de eletricidade são apoiados financeiramente pelo Ofgem. O projeto *Smart Network Storage* recebe apoio financeiro do órgão regulador do mercado de energia do governo britânico. O objetivo do projeto é armazenar energia gerada a partir de fontes renováveis e utilizá-la para ajudar o sistema de distribuição nos horários de pico. De acordo com REA (2015), em 2016, existiam mais 26 instalações operacionais de baterias no Reino Unido, com capacidade máxima de saída de 10 MW de potência. A maioria delas ainda são consideradas projetos piloto.

De acordo com EC (2018), o Ofgem e BEIS organizaram uma chamada pública para consulta de como o governo britânico deveria gerenciar o plano de construção de um sistema de energia inteligente e flexível. O documento identificou algumas barreiras políticas e regulatórias que desencorajam o investimento e os dois órgãos estudam publicar o *Smart System and Flexibility Plan*, que esclarecerá as medidas que serão tomadas para superar as barreiras existentes à tecnologia.

Segundo Hassan e Dalton (2018), o desenvolvimento de novos projetos de sistemas de armazenamento de energia em baterias depende da melhora do ambiente de negócios, da

evolução da tecnologia e do quadro legal. O autor sinaliza algumas questões que ainda são entraves para o uso de baterias na armazenagem de energia elétrica:

- **Incertezas financeiras:** Os contratos disponíveis para os projetos são de curta duração. A consequência é a maior incerteza do fluxo de receita ao longo da vida do projeto. Além disso, uma série de benefícios que os projetos de armazenamento de energia podem oferecer, como o adiamento do reforço da rede elétrica, ainda não estão formalmente monetizados.
- **Alto custo operacional:** Quando uma unidade de armazenagem de energia elétrica importa eletricidade do sistema de transmissão ou distribuição, é cobrado como se a unidade fosse um usuário final. Os projetos também podem enfrentar o problema de cobranças duplas em relação ao uso de tarifas do sistema e de conexão.
- **Restrições de licença para distribuidoras:** De acordo com a legislação britânica, uma distribuidora gerencia e opera a distribuição de energia elétrica de forma que não restrinja, impeça ou distorça as regras de concorrência. Dessa forma, a operação de uma unidade de armazenamento de eletricidade por uma distribuidora poderia impactar a competitividade do mercado elétrico no Reino Unido. Uma solução encontrada pelas distribuidoras é a contratação de empresas terceirizadas para a operação dessas unidades, mas esse processo acaba adicionando mais complexidade estrutural e de custos aos projetos. Outra questão analisada pelo autor é a restrição as distribuidoras conduzirem negócios não relacionados à distribuição. O mínimo fixado na legislação vigente é de 2,5% da receita ou do capital social da distribuidora. Como resultado, existe um limite para o quanto as distribuidoras podem estar diretamente envolvidas em unidades que utilizam sistemas de armazenamento de energia elétrica.

A Europa se prepara para o processo de transição energética e para isso atualiza e aperfeiçoa seu quadro regulatório voltado para o setor de energia. As mudanças na estrutura de geração de energia elétrica nos países analisados demandam múltiplas respostas dos agentes reguladores, visto que, a crescente presença de fontes renováveis no sistema elétrico gera perturbações e volatilidade na rede. As novas tecnologias, como o armazenamento de energia elétrica em baterias surgem como alternativa para superar as barreiras impostas pela nova configuração do mercado de energia.

O presente capítulo tratou de apresentar como cada um dos países escolhidos se prepara e se molda para as transformações no setor elétrico. O processo de adequação as novas

demandas da sociedade e do mercado exige desde a atualização das estratégias nacionais para transição energética até o aperfeiçoamento do quadro regulatório já existente. Os países analisados sofrem influência direta do arcabouço regulatório e legislativo da União Europeia, mas possuem certa flexibilidade para introduzir novas legislações que se adequam as suas demandas e necessidades próprias.

A elaboração das novas regras para o setor elétrico e para as tecnologias nele presentes ocorre tanto via políticas no estilo *top down* quanto no *bottom up*. O caso europeu é interessante pela diversidade de instituições existentes na tomada de decisão e pelas diferentes características presentes nos países do bloco. A experimentação de políticas nacionais dentro da União Europeia também é uma ferramenta importante para o aperfeiçoamento da regulação. A França por exemplo, analisou e remodelou sua política de autoconsumo de energia elétrica utilizando como base o caso espanhol. A Itália estabeleceu um sistema de supervisão e acompanhamento de metas para sua estratégia nacional baseado no *Energiewende*.

O capítulo 4, a seguir, tem o objetivo de comparar e discutir os países selecionados no trabalho. Para isso, foi montado uma estrutura de comparação das estratégias nacionais de transição energética, do arcabouço regulatório e legislativo do mercado de energia e das oportunidades e barreiras existentes para o desenvolvimento da tecnologia e armazenamento de energia.

CAPÍTULO 4 – COMPARAÇÃO DE POLÍTICAS, DO QUADRO LEGAL E DAS OPORTUNIDADES E BARREIRAS

Com base no capítulo anterior, é possível perceber similaridades, mas também marcadas diferenças entre as políticas de transição energética, e conseqüentemente, no quadro regulatório e nas oportunidades e barreiras a difusão da tecnologia de armazenamento de energia em baterias. Este capítulo terá como objetivo tornar essas semelhanças e diferenças explícitas, através de comparações em diferentes níveis.

Inicialmente, será feita uma comparação das políticas de transição energética dos cinco países, buscando fazer referência às discussões feitas no primeiro capítulo sobre as razões da evolução do setor de energia. Em seguida, será feita uma comparação do quadro legal, em que serão analisadas as autoridades reguladoras e legislação vigente. Por fim, será feita uma comparação entre as principais oportunidades e barreiras para o mercado de baterias e armazenamento de energia nos cinco países estudados.

4.1 - Comparação dos processos de transição energética

A década de 1990 foi marcada pela estruturação das políticas energéticas propostas pela União Europeia. As novas diretrizes da comissão europeia definiram como meta o desenvolvimento econômico sustentável e tratavam o setor elétrico como um importante pilar para as transformações propostas.

Os cinco países analisados no trabalho elaboraram suas próprias estratégias para enfrentar o desafio da transição energética, utilizando as metas propostas pelo bloco europeu como um balizador para as regras internas.

Os cinco países selecionados apesar de pertencerem a União Europeia, possuem marcantes diferenças quando se trata da estrutura do setor elétrico. Fatores como o desenvolvimento histórico do mercado de energia e a disponibilidade de fontes de geração de energia são pontos relevantes para diferenciar as estratégias nacionais e as estruturas atuais.

A Tabela 4.1 apresenta os principais pontos que serão tratados nessa seção após uma breve análise individual de cada um dos países selecionados.

Tabela 4.1 – Principais estratégias debatidas nos planos nacionais de transição energética

Estratégias / Países		Alemanha	Espanha	França	Itália	Reino Unido
Redução de emissões		X	X	X	X	X
Aumento da eficiência energética		X	X	X	X	X
Desligamento de plantas nucleares		X	X	X		
Aumento da participação das fontes renováveis		X	X	X	X	X
Armazenamento de eletricidade em baterias	Citado no plano nacional	X	X	X	X	X
	Investimentos projetados	X				X

Fonte: Elaboração Própria

A Alemanha, atualmente, é uma das referências no processo de transição energética na Europa. Após a trajetória de liberalização do setor elétrico nacional e a imposição de novas diretrizes energéticas da União Europeia, o governo alemão deu início ao seu planejamento nacional, o *Energiewende*. Seu plano nacional é reconhecido internacionalmente pela eficácia e por atingir as metas estabelecidas pela União Europeia no fim do século passado.

O *Energiewende* considera os sistemas de armazenamento de energia um dos pilares do processo de transição energética. O plano alemão debate os desafios que a participação das fontes renováveis gera no sistema elétrico e como a armazenagem elétrica tem papel fundamental nesta transformação estrutural. Atualmente, a Alemanha possui projetos de grande e pequena escala que utilizam baterias para armazenamento elétrico. Além disso, o governo alemão busca incentivar pesquisas relacionadas as novas tecnologias nas universidades e os institutos de pesquisa no país.

A Espanha também passou por um processo de transformação do setor elétrico na década de 1990. A liberalização do mercado e as diretrizes europeias em relação às indústrias de energia modificaram a administração e a regulação do sistema espanhol e conduziram o país a elaboração de um plano nacional de transição energética, hoje conhecido como *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima*. A estratégia espanhola está alinhada com a política energética europeia e foi indutora do crescimento da participação das fontes renováveis no *mix* energético do país. O governo espanhol também identifica em seu plano de transição energética a

importância dos sistemas de armazenamento de eletricidade para a segurança do setor elétrico e para enfrentar os desafios que as fontes renováveis trazem para o sistema.

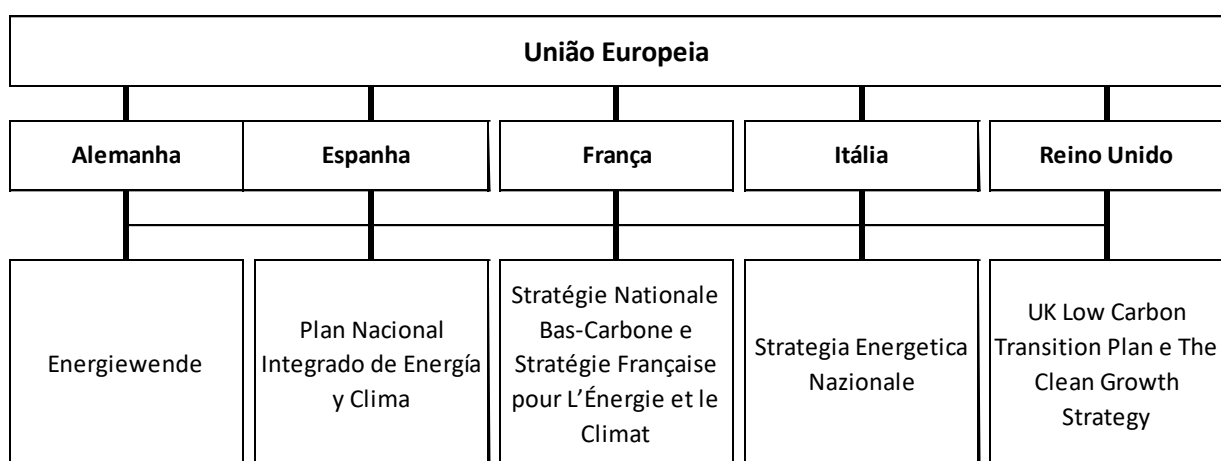
A França, diferentemente dos dois países citados anteriormente, teve um processo de liberalização do mercado elétrico mais lento. As transformações iniciaram-se no fim da década de 1990, mas somente em 2007 atingiu todos os consumidores franceses. O governo francês também elaborou uma estratégia energética nacional, conhecida como *Stratégie Nationale Bas-Carbone*, guiada pelas novas demandas da União Europeia em relação ao setor elétrico dos países membros. A estratégia nacional de transição energética reconhece a importância dos sistemas de armazenamento de energia para a rede, mas não define prioridades claras no texto e nas metas.

A Itália também iniciou o processo de liberalização do setor elétrico no final da década de 1990, guiada pelas diretrizes referentes a energia da União Europeia. O país foi uma das potências europeias que mais avançou no processo de transição energética, muito pela estratégia nacional lançada em 2010 e hoje conhecida como *Strategia Energetica Nazionale*. O governo italiano tem atualizado sua estratégia energética com o passar dos anos e reforçado as metas referentes à sustentabilidade e à eficiência do sistema. O governo italiano identifica a importância dos sistemas de armazenamento de energia, mas não estipula metas concretas. O plano energético do país debate a necessidade de maior flexibilidade do setor elétrico e maior integração das fontes renováveis. Para isso, a Itália incentiva, via pesquisas, o desenvolvimento de tecnologias ligadas a eficiência e segurança energética.

O Reino Unido foi pioneiro no processo de liberalização do setor elétrico. Já na década de 1980 o mercado britânico iniciou um ambicioso plano de privatizações. Mais tarde, para se adequar as diretrizes europeias, o Reino Unido lançou a sua estratégia nacional de transição energética, conhecida como *The UK Low Carbon Transition Plan* em 2009 e recentemente aprovou a *The Clean Growth Strategy*. A estratégia energética do Reino Unido não coloca os sistemas de armazenamento de energia como prioridade, mas debate a evolução das baterias para armazenagem elétrica e a importância que as novas tecnologias terão no processo de transformação do mercado elétrico britânico. Apesar de não ser tratada como um dos pilares da estratégia, o Reino Unido possui um fundo de investimento destinado ao desenvolvimento de tecnologias como o armazenamento de energia.

A Figura 4.1 apresenta cada uma das estratégias de transição energética analisadas neste trabalho. A União Europeia funciona como um “guarda-chuva” regulatório, enquanto os demais países elaboraram seus planos nacionais de acordo com suas particularidades. A construção das estratégias nacionais passa, também, pela análise dos erros e acertos cometidos pelos demais países nas últimas revisões.

Figura 4.1 – Estratégias de transição energética nacionais



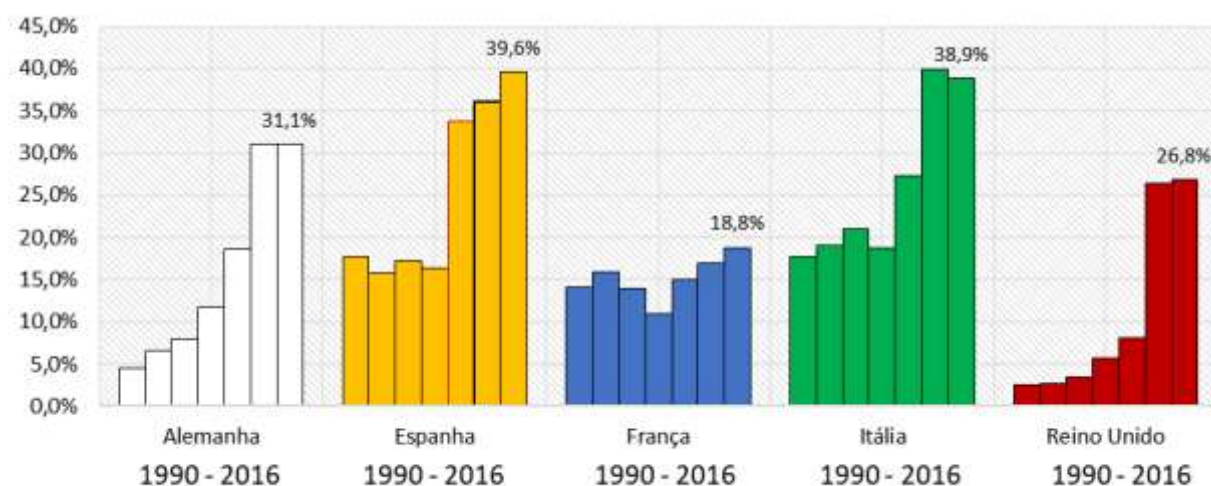
Fonte: Elaboração própria

A partir dessa comparação entre os diferentes panoramas, algumas observações podem ser feitas. De maneira geral, pode-se perceber que os setores elétricos dos países estudados passaram por um processo de abertura no final do século XX, impulsionado pelo surgimento de uma nova política energética na Europa. Cada um dos países analisados possui seus próprios desafios e apresenta uma estrutura distinta de geração de eletricidade. No entanto, pode-se perceber algumas similaridades, como o crescimento da presença das fontes renováveis no *mix* energético a partir dos anos 2000 e a necessidade de fortalecer e atualizar os planos nacionais de transição energética de cada um dos países.

O Gráfico 4.1 mostra a evolução da presença das fontes renováveis no mix energético de cada um dos países analisados. O crescimento da geração de energia limpa pode ser vista em todos os países, mesmo que existam movimentos com maior ou menor intensidade. A França é o país com a menor participação de fontes renováveis no total de energia elétrica produzida, devido em grande parte a forte presença da energia nuclear em seu sistema. Na outra ponta, Espanha e Itália alcançaram mais de 38% de participação das fontes de energia limpa em sua estrutura. Esse movimento está em conformidade com as metas nacionais de elevação da

presença de fontes renováveis no mix energético estabelecidas por ambos os países. Alemanha e Reino Unido também avançaram no projeto de descarbonização da estrutura de produção de eletricidade.

Gráfico 4.1 – Evolução da participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica por país entre 1990 e 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Electricity Statistics (2019)

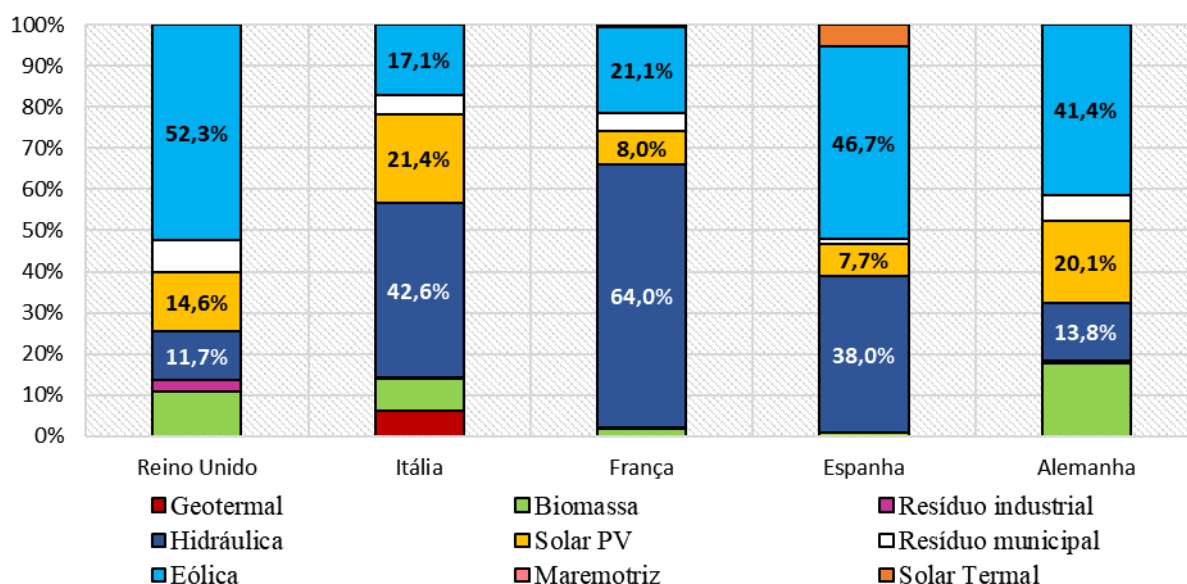
A União Europeia teve um importante papel na difusão de novas regras para o setor elétrico do bloco. A preocupação dos países europeus em relação ao futuro do desenvolvimento das indústrias de energia foi um marco para que os participantes da União Europeia passassem a planejar e investir em uma estrutura de geração de energia elétrica mais sustentável.

Neste ponto é válido retornar a discussão feita no capítulo 1, sobre os diferentes tipos de fontes renováveis. Os países estudados montaram suas estratégias nacionais de acordo com suas estruturas já existentes e os recursos naturais disponíveis em cada território. A participação das hidroelétricas no *mix* energético europeu vem se reduzindo com o passar do tempo. Dessa forma, o crescimento da presença das fontes renováveis se deu por meio de novas tecnologias como o uso de energia eólica e solar. Ambas as fontes energéticas aumentaram suas participações na estrutura de geração de eletricidade e lideraram o crescimento das fontes renováveis na Europa.

O Gráfico 4.2 apresenta a participação das fontes alternativas na estrutura de produção de eletricidade limpa nos países selecionados. Apenas a França e a Itália mantem uma parcela

superior a 40% de hidroelétricas em seu mix energético. Os demais países têm como principal fonte energética limpa a energia eólica.

Gráfico 4.2 – Participação das fontes renováveis na estrutura de produção de energia elétrica limpa em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Emissions Statistics (2019)

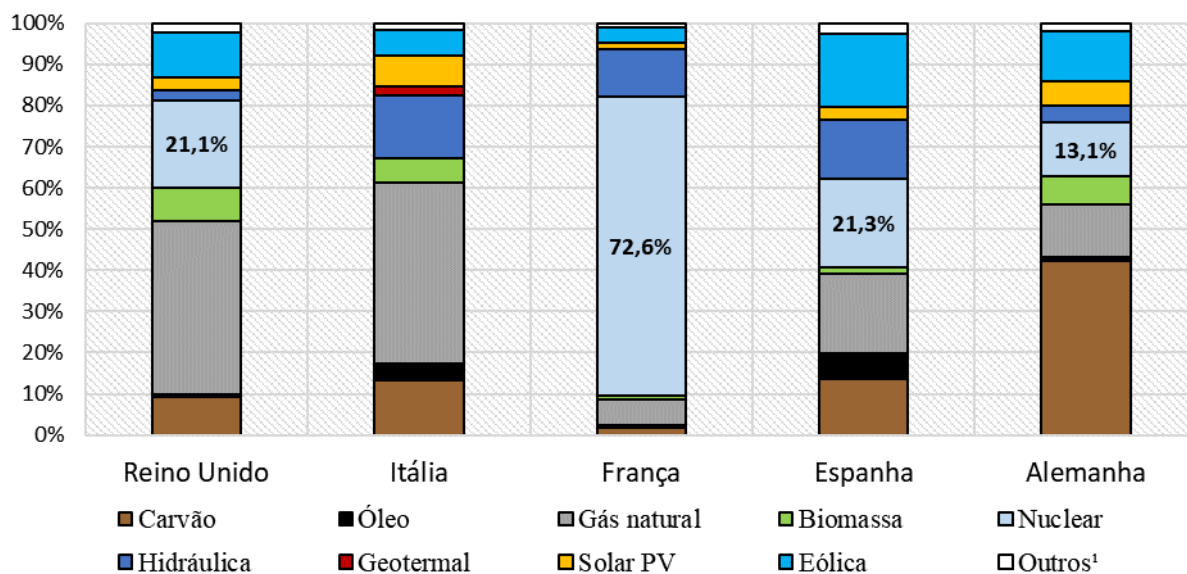
Outro ponto de destaque é a grande presença de fontes convencionais de energia na estrutura de produção de eletricidade na Europa, em especial da energia nuclear, que está presente em todas as estruturas dos países estudados, exceto a Itália. As principais economias europeias construíram plantas nucleares na segunda metade do século XX e o processo de desativação dessas unidades faz parte de todos os planos de transição energética apresentados neste trabalho.

Entre os países estudados, a França possui a maior dependência da energia nuclear e, por esse motivo, apresenta a estratégia mais gradual para a desativação de suas usinas nucleares. Isso se deve a importância que a energia nuclear tem no mix energético francês, sendo difícil a substituição no curto e médio prazo por outras fontes energéticas. Também é importante ressaltar a forte presença do gás natural no setor elétrico britânico e italiano, além da ainda maciça participação do carvão na estrutura alemã de produção de eletricidade.

O desafio da transição energética não é simples e depende de políticas públicas bem desenhadas, que consigam introduzir as fontes renováveis na geração de energia elétrica, mas que mantenham o setor elétrico bem estruturado, flexível e confiável. O Gráfico 4.3 apresenta

a participação das fontes energéticas na produção de eletricidade em 2016. Os países selecionados ainda apresentam um mix energético dominado pelas fontes tradicionais, mesmo com o crescimento da presença das fontes renováveis nos últimos anos.

Gráfico 4.3 – Participação das fontes energéticas na estrutura de produção de energia elétrica em 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Emissions Statistics (2019)

A Alemanha e a Espanha, apresentam um menor percentual da geração de eletricidade atrelado à energia nuclear. Esses países possuem metas de médio e longo prazo para a desativação das plantas nucleares e a gradual substituição das demais fontes convencionais por alternativas de baixo impacto ambiental e maior eficiência. O Reino Unido por sua vez não descarta futuros investimentos em plantas nucleares, mas ressalta que a segurança e a eficiência das unidades devem ser aperfeiçoadas.

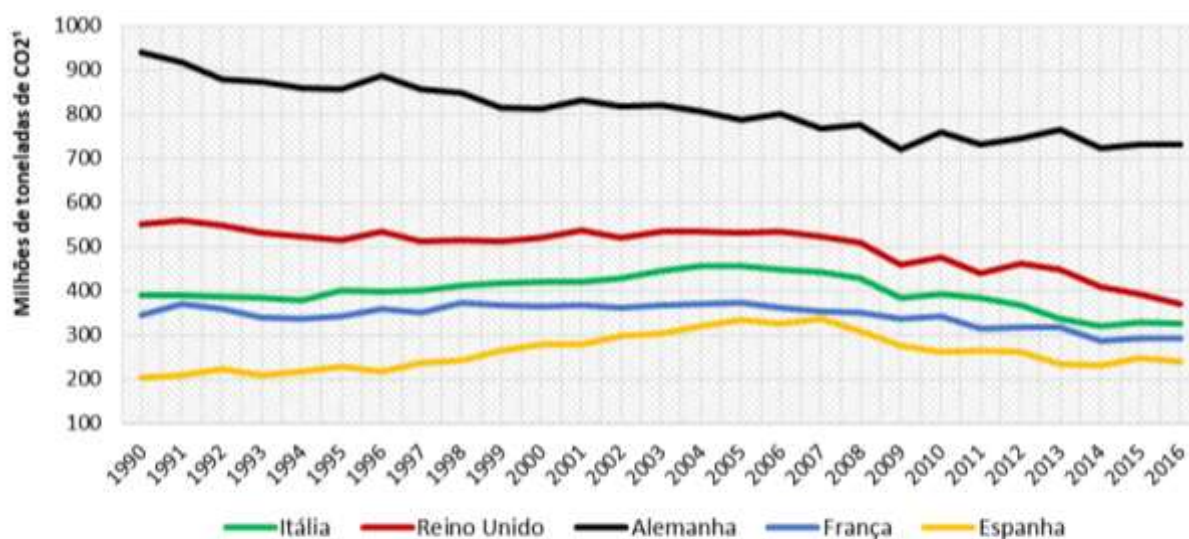
Inicialmente, é possível identificar um movimento conjunto dos países estudados em direção a um projeto de desenvolvimento nacional mais sustentável. O alinhamento regulatório discutido por Hoppe et al (2018) se faz presente no contexto da transição energética na Europa. As diretivas da União Europeia em relação a transição energética lançadas no final dos anos 90, foram importantes para a consolidação dos planos nacionais. Os países estudados neste trabalho conseguiram cumprir as determinações do bloco europeu. Para isso, criaram suas estratégias próprias de desenvolvimento econômico sustentável. Como dito anteriormente, os países possuem objetivos finais semelhantes, visto que querem reduzir a emissão de poluentes,

aumentar a presença das fontes renováveis na estrutura de geração de energia elétrica, reduzir a dependência de fontes tradicionais como a energia nuclear e finalmente, desenvolver novas tecnologias que consigam gerar ganhos de eficiência energética e transparência para os operadores do sistema elétrico e para os consumidores.

Os Gráfico 4.4 e 4.5 apresentam a evolução das emissões de CO₂ nos países analisados no período anterior ao debate europeu sobre o clima e nos anos recentes pós lançamento das estratégias nacionais de transição energética. O Gráfico 4.4 mostra a trajetória do volume de CO₂ (Milhões de toneladas) emitido por cada um dos países selecionados entre 1990 e 2016, enquanto o Gráfico 4.5 apresenta a taxa de variação no volume de CO₂ emitido em cinco períodos diferentes entre 1990 e 2016.

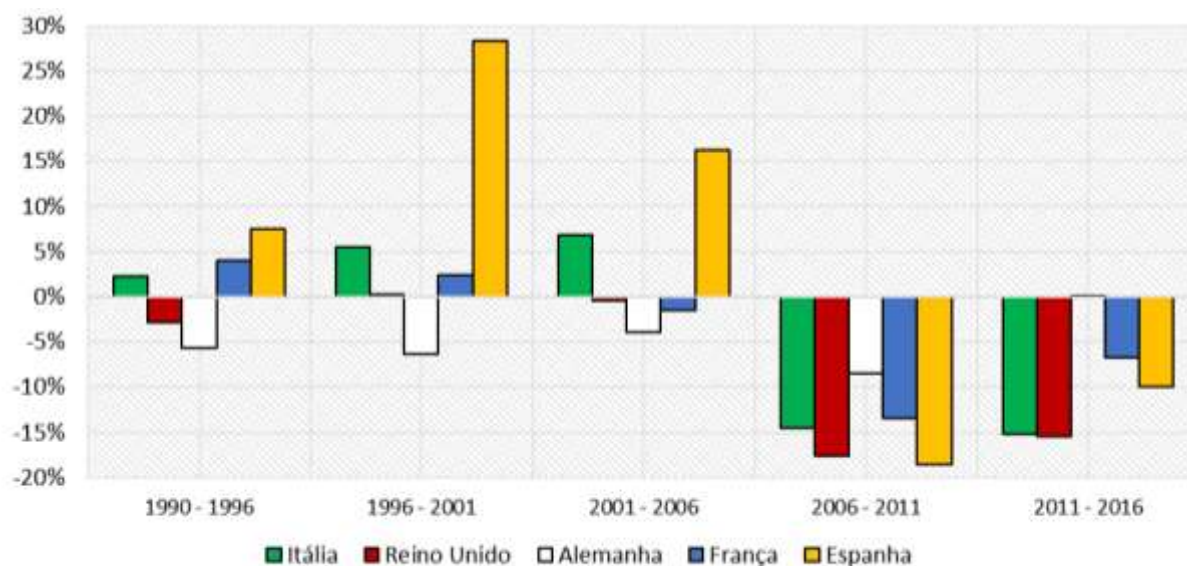
Em ambos os gráficos, é possível notar a importância dos primeiros anos do século XXI no combate à poluição na Europa. Como mostrado anteriormente, é nesse mesmo período que as fontes renováveis ganharam importância dentro da estrutura de geração de energia elétrica e que as estratégias nacionais de transição energética elaboraram planos e metas para a redução gradual da emissão de poluentes.

Gráfico 4.4 – Evolução da emissão de CO₂ (Milhões de toneladas) entre 1990 e 2016



¹ CO₂ emitido por combustão de combustíveis. Emissões calculadas pelos dados da IEA e as diretrizes do IPCC
 Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Emissions Statistics (2019)

Gráfico 4.5 – Taxa de variação do volume de CO₂ emitido entre períodos

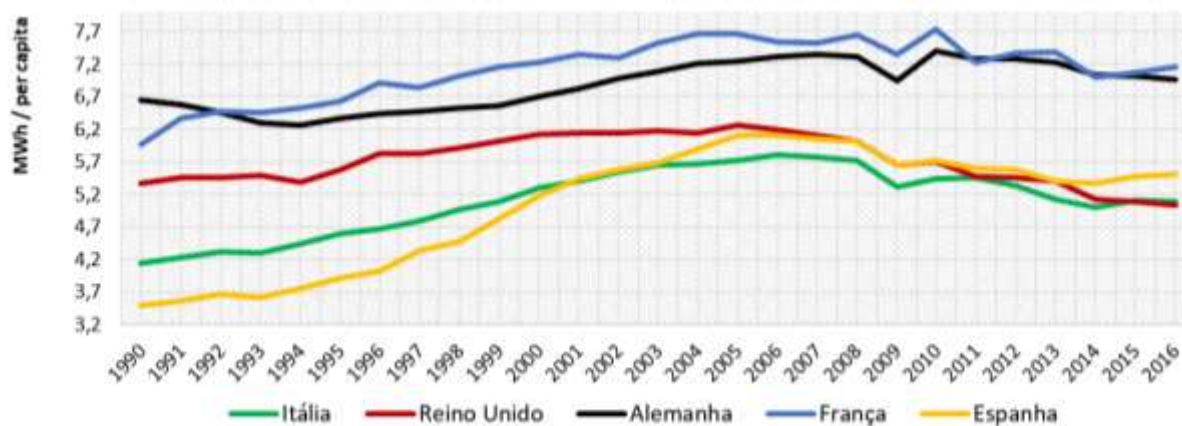


Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Emissions Statistics (2019)

Os cinco países analisados também inseriram em seus planos de transição o debate relacionado a eficiência do uso da energia elétrica. O objetivo é reduzir o consumo de eletricidade gradualmente, através da inserção de novas tecnologias que facilitem os consumidores a consumirem de forma mais inteligente. Além disso, existe um movimento da sociedade que cobra o uso mais consciente dos recursos, como retratado no trabalho de Sovacool e Geels (2016), apresentado no capítulo 1. O estudo discutiu as mudanças no comportamento da sociedade em prol da educação ambiental e consciência social da importância da redução do desperdício de eletricidade.

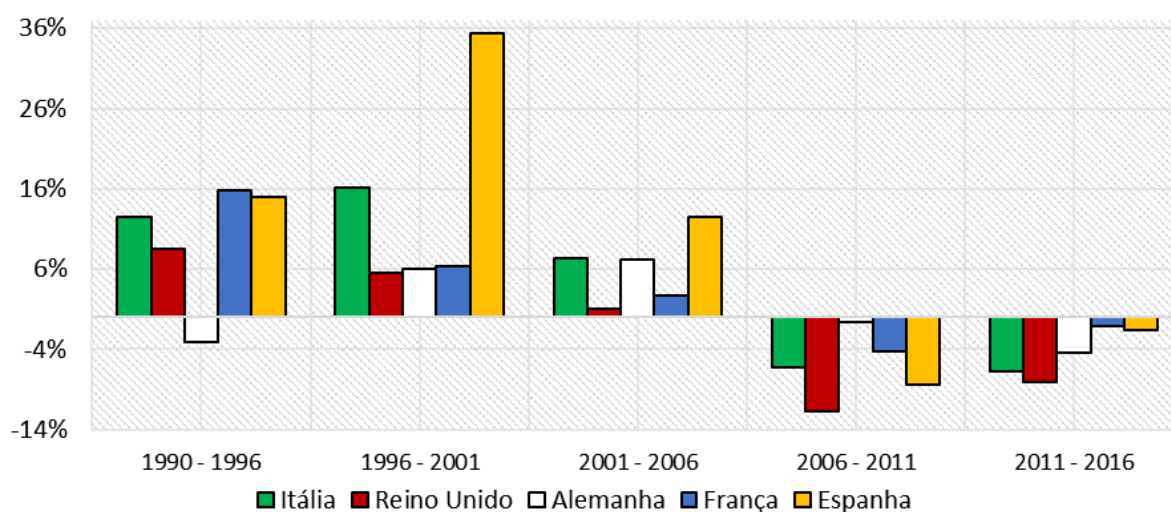
Os Gráfico 4.6 e 4.7 apresentam a evolução do consumo de energia elétrica (MWh) per capita nos países analisados. O Gráfico 4.6 mostra a trajetória do consumo de eletricidade (MWh) per capita entre 1990 e 2016, enquanto o Gráfico 4.7 apresenta a taxa de variação do consumo de energia elétrica per capita em cinco períodos diferentes entre 1990 e 2016. Como discutido em relação a emissão de CO₂, ambos os gráficos mostram um ponto de inflexão na primeira década dos anos 2000. Essa mudança de trajetória é analisada como resultado das primeiras políticas energéticas direcionadas para a transição do setor.

Gráfico 4.6 – Evolução do consumo de eletricidade (MWh) per capita entre 1990 e 2016



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Emissions Statistics (2019)

Gráfico 4.7 – Taxa de variação do volume per capita de eletricidade consumida entre períodos



Fonte: Elaboração própria com dados de IEA Emissions Statistics (2019)

Os países selecionados conseguiram avançar no debate e na utilização de fontes renováveis no setor elétrico, assim como na redução das emissões e no aumento eficiência energética. A participação das fontes não convencionais na geração de eletricidade de cada um dos países estudados apresenta trajetória de alta desde o final da década de 1990, mas foi nos anos 2000, que a presença de fontes como eólica, solar e biomassa se solidificou. Os planos nacionais de transição energética têm como metas de longo prazo, uma estrutura de produção de energia elétrica 100% renovável e maior integração da rede.

Com relação a segurança física de abastecimento, a inserção de fontes não convencionais gera desafios ao sistema e a segurança da oferta energética. A rede elétrica que atende parques de geradores com alta presença de fontes renováveis, lida com o desafio da intermitência e da baixa previsibilidade da geração. Todos os países debateram os desafios a serem enfrentados durante e após o processo de reestruturação do setor elétrico. Novamente, existe uma convergência entre os planos de transição energética dos países, que indicam a necessidade de desenvolver tecnologias voltadas para a eficiência e segurança da rede.

Os sistemas de armazenamento de energia são citados como uma das soluções para a minimização dos impactos do aumento da participação de fontes renováveis no *mix* energético dos países. A tecnologia de armazenamento elétrico em baterias é colocada como uma das possibilidades, tanto em grande escala, quanto em pequena escala, mas a maioria dos projetos não solidificaram propostas concretas para o desenvolvimento em escala dessas unidades.

Atualmente, a Alemanha e o Reino Unido são os dois países que mais avançaram no debate sobre o uso de baterias para armazenamento de energia elétrica. Ambos possuem uma estrutura de financiamento de pesquisas e novos projetos. O governo alemão conta com uma estrutura de microgeração em evolução, enquanto o sistema britânico inicia seu plano de investimento em sistemas de armazenamento, mas ainda não definiu com clareza qual tipo de tecnologia utilizarão. Os demais países analisam o potencial econômico e operacional da armazenagem de eletricidade, mas possuem apenas projetos pilotos, com reduzido apoio estatal para pesquisas voltadas para as baterias e os outros tipos disponíveis.

4.2 - Comparação do arcabouço regulatório

Os processos de liberalização e privatização ocorridos nos setores de infraestrutura na Europa transformaram os setores elétricos dos cinco países selecionados. As mudanças não ocorreram apenas na estrutura de geração de eletricidade, mas também no arcabouço regulatório do setor de energia. O surgimento do estado como agente regulador como debatido por Majone (1994), modificou a relação entre os agentes públicos e o setor elétrico. O governo deixou de ser o agente tomador de decisões no mercado de energia e passou a ser o agente regulador.

O processo de transição energética iniciado pela União Europeia, através de legislações próprias, foi parcialmente transferido para os países membros do bloco. A criação de um aparato regulatório e legal por parte dos países estudados neste trabalho foi um passo importante para a formalização das estratégias nacionais de desenvolvimento sustentável. A partir da década de

1990, os países incluíram em suas legislações referentes ao setor elétrico, mecanismos de incentivo e promoção do uso de fontes renováveis, metas para redução de emissões e aumento da eficiência energética.

O processo iniciado pela União Europeia conduziu os países analisados a uma reformulação dos seus aparatos legais e regulatórios. Ao longo das últimas três décadas tanto na Europa como nos países analisados, ocorreu um processo de alinhamento normativo e institucional. Além disso, a conscientização da sociedade em prol da proteção ambiental e do desenvolvimento sustentável foi um importante pilar para a elaboração de leis e regulações.

A construção do arcabouço regulatório foi realizada “de cima para baixo” com a criação das políticas energéticas do bloco europeu e depois a descentralização das estratégias para cada um dos países. Os planos de transição energética são constantemente revisados e atualizados para atender as demandas do setor elétrico e da sociedade. Como visto na seção anterior, os países estudados possuem desafios próprios e por isso, utilizam diferentes instrumentos para incentivar a presença de fontes renováveis na estrutura de produção de eletricidade e o desenvolvimento de tecnologias como o armazenamento de energia em baterias.

Na Alemanha, a instituição responsável pela regulação do setor elétrico é a BNetzA (*Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Posts and Railway*). O sistema elétrico alemão passa pela aprovação e fiscalização da BNetzA, exceto quando os projetos são de menor escala, pois são de responsabilidade das autoridades regionais. Em relação a adoção de um quadro legal para a difusão de fontes alternativas de energia, a Alemanha foi pioneira.

As reformas realizadas nos últimos anos no quadro regulatório alemão garantiram uma adequada estrutura de mecanismos que incentivam à difusão das fontes renováveis. Os principais instrumentos são: *market premium* para unidades geradoras de média e grande capacidade, as *feed-in tariffs* para instalações menores e subsídios públicos a instalação de baterias na rede. Além disso, o governo financia projetos que unem unidades de armazenamento elétrico e fontes renováveis para autoconsumo via o KfW. Apesar dos incentivos direcionados aos sistemas de armazenagem elétrica, a Alemanha não possui uma legislação específica para a tecnologia.

A Espanha possui a estrutura regulatória mais descentralizada entre os países selecionados. As autoridades responsáveis pela regulação são o Ministerio para la Transición

Ecológica, enquanto a nível regional os departamentos de energia e o de meio ambiente. Existe também o CNMC (*Comisión Nacional de los Mercados y La Competencia*) que atua como órgão de supervisão da regulação e comissão de análise da concorrência. O país passou por uma transformação no setor elétrico nas décadas de 1990 e 2000. Em 2013, o governo espanhol aprovou a nova legislação do setor, conhecida como a *Ley del Sector Eléctrico*, que tinha como objetivo reformar o quadro legal do sistema elétrico espanhol e resolver questões como o crescente déficit tarifário do setor. A estrutura descentralizada do sistema regulatório espanhol foi afetada pela nova legislação.

O principal instrumento à utilização de fontes renováveis no país é o mecanismo de *feed-in tariffs premium*, que permite competitividade em relação às fontes tradicionais. O autoconsumo se consolidou no setor elétrico espanhol, a expansão acompanhou o “boom” de instalações de painéis fotovoltaicos. Assim como na Alemanha, os sistemas de armazenamento de energia não possuem legislação própria, o que impõe barreiras ao desenvolvimento de novos projetos. Em 2017, a Catalunha conseguiu aprovar o autoconsumo compartilhado, a nova regulação regional provavelmente terá efeitos positivos na difusão de baterias na rede elétrica.

A França estabeleceu uma estrutura regulatória centralizada no governo central. O governo francês conta com autoridades reguladoras e concorrenciais para a regulação do setor elétrico no país. O CER (*Commission de Régulation de L'Énergie*) criado em 2000, durante o processo de liberalização do mercado francês. Atua junto com o CoRDIS (*Comité de Règlementation Différends et Sanctions*) na supervisão do sistema elétrico nacional e aplicação da legislação vigente. A França também conta com a *Autorité de La Concurrence* que trabalha em linha com o CER para prevenir e punir práticas anticompetitivas no setor elétrico.

A mais recente legislação francesa é a LTECV (*Loi Relative à la Transition Énergétique pour la Croissance Verte*). A legislação modificou a estrutura de incentivo à geração de energia renovável, dificultando o acesso as *feed-in tariffs* e incentivando instrumentos como o *market premium*. Assim como a Espanha o governo francês estabeleceu um marco regulatório para o autoconsumo em 2017. A nova legislação tem impacto positivo no processo de transição energética e na descentralização do setor elétrico. Atualmente, não existe nenhuma legislação específica para os sistemas de armazenamento de energia em baterias na França, mas a LTECV estabelece alguns mecanismos de incentivo fiscal às novas tecnologias no setor elétrico, sem fazer distinção.

A Itália possui um arcabouço regulatório composto por autoridades e empresas públicas criadas para regular o setor elétrico italiano. O MISE (*Ministero dello Sviluppo Economico*) é o principal órgão regulador no país, atuando na implementação da regulação setorial. A AEEGSI (*Autorità per L'Energia Elétrica il Gás edil Sistema Idrico*) tem como objetivo proteger os interesses dos consumidores. AEEGSI conta com a ajuda da autoridade antitruste italiana para desempenhar os papéis de fiscalização e implementação de regras no setor. O governo italiano também controla a GSE (Gestora Servizi Energetici) e GME (Gestore dei Mercatu Energetici) que implementam estratégias voltadas para fontes renováveis e gerenciam o mercado de eletricidade respectivamente.

O governo italiano possui um quadro legal fragmentado em diferentes legislações. A formulação de leis e decretos referentes ao setor elétrico ocorreu na década de 1990 e no início dos anos 2000. O governo italiano estabeleceu estratégias para que as legislações tivessem progressivo impacto no plano nacional de transição energética. Os sistemas de armazenamento de energia se beneficiam dos mecanismos de suporte oferecidos pelo governo, como *feed-in tariffs* e *net-metering*. Apesar do crescimento da participação das fontes alternativas na estrutura italiana de geração de eletricidade, atualmente, não existe uma legislação direcionada a armazenagem de energia.

O Reino Unido montou seu sistema regulatório em torno do GEMA (*Gas and Electricity Market Authority*), que é a autoridade reguladora do setor elétrico britânico. O GEMA opera através do Ofgem (*Office of Gas and Electricity Markets*). Atualmente, o sistema de regulação britânico é concentrado no governo central, com algumas exceções na Irlanda do Norte e País de Gales. O Ofgem conta com o apoio do CMA (*Competition and Markets Authority*), autoridade responsável pela concorrência no Reino Unido. Por fim, a estrutura regulatória também conta com o BEIS (*Department for Business, Energy and Industrial Strategy*) e DFE (*Department for the Economy*) responsáveis pelas políticas energéticas no Reino Unido e na Irlanda do Norte respectivamente.

O governo britânico estabeleceu sua principal legislação do setor elétrico no final dos anos 80. O *Electricity Act 1989* foi responsável pela formulação do quadro legal do setor elétrico britânico. No início dos anos 2000 iniciou-se um processo de reformulação da legislação, incluindo novas demandas, como a presença de fontes renováveis e incentivos à estratégia de transição energética nacional.

A reformulação do quadro regulatório britânico através do *Energy Act 2013* instituiu uma série de mecanismos de incentivo ao uso de energia renovável no sistema elétrico do Reino Unido. Os instrumentos mais importantes são, o *Contracts for Difference*, as *feed-in tariffs* e o *Carbon Price Floor*.

O governo britânico não fornece subsídios diretos a implantação de sistemas de armazenamento, mas as autoridades trabalham na resolução das principais barreiras ao desenvolvimento de projetos que utilizem baterias conectadas à rede. Apesar do crescimento do mercado de armazenamento de energia, a legislação britânica não possui regras específicas para as unidades.

Recentemente, a mudança nas regras para contratação de baterias via leilões de capacidade impactou o mercado de unidades de armazenamento de energia de curto e longo prazo. O governo britânico justificou a mudança por motivos de segurança da rede.

A descentralização dos poderes regulatórios em instituições regionais e nacionais é um modelo seguido pela maioria dos países estudados. Somente a França e o Reino Unido possuem uma estrutura de regulação mais centralizada.

A reforma do quadro regulatório espanhol reduziu a influência dos órgãos regionais nas decisões de política nacional, mas a reivindicação da região autônoma da Catalunha para regular regionalmente o autoconsumo compartilhado, mostra que as regiões espanholas ainda possuem certa independência para regular e legislar.

O caso do Reino Unido é um pouco diferente, pois é composto por diferentes países e por esse motivo possui em alguns casos diferentes órgãos reguladores para a mesma função. O escopo das principais agências reguladoras na Itália e na Alemanha se limita aos projetos de médio e grande porte no setor elétrico, enquanto, projetos de menor capacidade ficam sobre fiscalização de autoridades regionais.

Tabela 4.2 – Órgãos reguladores dos países selecionados e área de abrangência da regulação

País	Órgãos reguladores	Abrangência / Governança
Alemanha	BNetzA (Federal Network Agency for Electricity, Gas, Telecommunications, Posts and Railway)	Centralização da regulação: Projetos de grande porte / Descentralização da regulação: Projetos de médio e pequeno porte
Espanha	Ministerio para la Transición Ecológica	Descentralização da regulação: Projetos de grande, médio e pequeno porte
	Comisión Nacional de los Mercados y La Competencia (CMNC)	
França	Commission de Régulation de L'Énergie (CRE)	Centralização da regulação: Projetos de grande, médio e pequeno porte
	Comité de Règlementation Différents et Sanctions (CoRDIS)	
	Autorité de La Concurrence	
Itália	Ministero dello Sviluppo Economico	Centralização da regulação: Projetos de grande porte / Descentralização da regulação: Projetos de médio e pequeno porte
	Autorità per L'Energia Elétrica Il Gás Ed il Sistema Idrico (AEEGSI)	
	Gestora Servizi Energetici (GSE)	
	Gestore dei Mercatu Energetici (GSI)	
Reino Unido	GEMA (Gas and Electricity Markets Authority) / Ofgem (Office of Gas and Electricity Markets)	Centralização da regulação: Projetos de grande, médio e pequeno porte / Como é composto por diversos países, os poderes regulatórios das agências federais são menores
	Competition and Markets Authority (CMA)	
	Department for Environment, Food and Rural Affairs	
	BEIS (Department for Business, Energy and Industrial Strategy) e DFE (Department for the Economy)	

Fonte: Elaboração própria

Os cinco países selecionados também possuem suas instituições reguladoras que além de adotar as regras definidas pela União Europeia também elaboram e propõem novas regras para o setor elétrico à nível nacional. Essa estrutura com múltiplos agentes e instituições têm sido debatida no bloco europeu e nos países analisados.

Além do arcabouço regulatório europeu e nacional, é necessário entender o desenvolvimento de leis e regras que moldam e conduzem os processos de transição energética nos países analisados. As legislações foram criadas e atualizadas de acordo com as necessidades de cada um dos países, entretanto, é possível notar uma homogeneidade na trajetória dos quadros legais. As legislações voltadas para o processo de transição energética e novas tecnologias do setor elétrico tiveram inicialmente o objetivo de fomentar o uso de fontes

renováveis através de mecanismos como as *feed-in tariffs* e regras especiais para a concessão de licenças.

Em uma segunda fase, os países voltaram a discutir os instrumentos utilizados, como incentivo à sustentabilidade da geração de energia elétrica, visto que os custos dos incentivos fiscais e regras específicas estavam crescendo. O caso espanhol é um exemplo de como a legislação do setor elétrico foi modificada para adequar-se ao novo panorama fiscal do país.

A estratégia adotada pelos países estudados foi a substituição dos mecanismos utilizados na primeira fase por novos instrumentos de estímulo as fontes renováveis e tecnologias do setor. As mudanças legais realizadas nas legislações do setor impactam o planejamento energético dos países.

Um exemplo é o quadro legal do autoconsumo de eletricidade nos países estudados que, ao sofrer alterações, impacta no desenvolvimento de tecnologias, como os sistemas de armazenamento de energia. Isso ocorre devido à interdependência das novas tecnologias em relação às fontes renováveis de geração de eletricidade.

Outro exemplo é a mudança nas regras para leilões de capacidade no Reino Unido. A alteração das normas exigidas para a participação no leilão teve impacto direto na difusão de baterias no sistema elétrico britânico. Dessa forma, o instrumento criado para incentivar a presença de fontes renováveis na rede elétrica também serve como impulso a instalação de unidades de armazenamento de energia.

Tabela 4.3 – Instrumentos financeiros para estímulo as fontes de energia renovável

País	Instrumentos e mecanismos
Alemanha	<ul style="list-style-type: none"> - Feed-in tariff - Programa de armazenamento de energia renovável (KfW) - Market Premium
Espanha	<ul style="list-style-type: none"> - Autoconsumo (2018) - Market Premium - Régimen retributivo específico
França	<ul style="list-style-type: none"> - Feed-in tariff - Market Premium - LTECV I - LTECV II - LTECV III
Itália	<ul style="list-style-type: none"> - Net - Metering - Market Premium - Ritiro dedicato
Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> - Feed-in tariff - Contratos por diferença - Carbon Price Floor

Fonte: Elaboração Própria

O alinhamento dos instrumentos de incentivo e a política de experimentação de estratégias foi importante para o desenvolvimento de mecanismos para o autoconsumo e para a difusão das energias renováveis na rede. Atualmente, todas as estratégias nacionais de transição energética citam a necessidade de um arcabouço regulatório para baterias, visto que, o incentivo hoje utilizado, foi pensado e desenhado para as fontes renováveis.

No entanto, nenhum dos países estudados neste trabalho possui legislação específica para sistemas de armazenamento de energia em baterias. Os projetos em funcionamento ou em construção utilizam o quadro legal já existente, mas enfrentam dificuldades como a dupla tributação. A presença de mecanismos de incentivo aos sistemas de armazenamento de energia em baterias ainda é pequena. Apenas a Alemanha e França possuem instrumentos diretos de incentivos as baterias, como descontos tributários e linhas de financiamento a projetos ligados a instalações fotovoltaicas.

Todos os países analisados formularam suas legislações buscando atender a estratégia de transição energética europeia e nacional, além de garantir a sustentabilidade do setor elétrico. Durante as últimas duas décadas, revisões foram feitas no quadro legal referente a transição energética, mas ainda é necessário percorrer um longo caminho em relação a tecnologias como o armazenamento de energia. Apesar dos órgãos responsáveis pelos sistemas elétricos nacionais terem iniciado debates sobre a importância da inserção de tecnologias na estrutura de geração de energia, o arcabouço regulatório ainda não possui mecanismos e instrumentos suficientes para incentivar a difusão das baterias no setor elétrico.

4.3 - Comparação das oportunidades e barreiras

A presença de sistemas de armazenamento de energia em baterias no setor elétrico dos cinco países selecionados aumentou na última década. Apesar da falta de regulação específica as baterias ganharam espaço e atualmente já constituem um importante mercado na Europa. A queda nos custos das unidades de armazenamento permitiu a difusão das baterias de baixa capacidade, que geralmente são utilizadas em conjunto com instalações fotovoltaicas.

Em todos os cinco países, o mecanismo de autoconsumo de energia elétrica é o principal indutor de unidades de armazenamento de energia na rede. Entretanto, atualmente, existem outros desenhos de mercado possíveis para a implementação da tecnologia de armazenagem. A Tabela 4.4 apresenta as principais oportunidades e barreiras a difusão dos sistemas de armazenamento de energia em baterias.

Tabela 4.4 – Principais oportunidades e barreiras a difusão dos sistemas de armazenamento de energia em baterias

Países	Oportunidades	Barreiras
Alemanha	Projetos de Eletromobilidade: Battery 2020 e Green eMotion Frequency Containment Reservers (FCR) Unidades de grande porte (Baterias): STEAG e Eneco Autoconsumo Financiamento público e privado para P&D	Incerteza financeira Qualificação para FCR Custo de operação Arcabouço regulatório inexistente Estrutura de incentivo à renováveis
Espanha	Unidades de grande porte (Baterias): Almacen e StoRE Redes inteligentes: Smart City (Malaga e Barcelona) Financiamento público e privado para P&D Autoconsumo	Flexibilidade do sistema elétrico Complexidade da legislação Arcabouço regulatório inexistente
França	Projetos de Eletromobilidade: Grid Motion Autoconsumo Unidades de grande porte (Baterias): Advanced Battery Storage Financiamento público e privado para P&D	Incerteza financeira Reduzida presença de renováveis Fontes tradicionais (Energia nuclear) Arcabouço regulatório inexistente
Itália	Mercado descentralizado (Players) Unidades de grande porte (Baterias): Storage Lab Financiamento público e privado para P&D Autoconsumo	Incerteza financeira Arcabouço regulatório inexistente Custo de instalação
Reino Unido	Financiamento público e privado para P&D Enhanced Frequency Response (EFR) Projetos de Eletromobilidade: My Electric Avenue Autoconsumo	Incertezas financeiras Custo de operação Restrições a licenças Arcabouço regulatório inexistente

Fonte: Elaboração Própria

As empresas ligadas aos setores de geração, distribuição e transmissão de energia elétrica têm se mostrado abertas a investimentos em unidades de armazenamento de energia em baterias. Como debatido no capítulo 2, a tecnologia oferece as empresas serviços, como flexibilização e maior eficiência da rede elétrica. A crescente participação das fontes renováveis na estrutura de geração de eletricidade nos países analisados, estimulou o desenvolvimento de projetos que utilizam as unidades de armazenamento para solucionar problemas como o congestionamento de rede e o controle de frequência.

Atualmente, a maioria dos projetos em atividade são considerados protótipos pelas empresas que os administram. O objetivo das empresas do setor elétrico europeu é mapear as

funcionalidades das baterias e utilizá-las em projetos de menor escala, normalmente instalados em áreas remotas ou regiões que apresentam as características desejáveis para os testes.

A participação do setor público e do setor privado, também, é um fator importante para difusão das baterias no setor elétrico. Todos os países analisados apresentam estruturas de financiamento de novos projetos e P&D. O investimento realizado em tecnologias disruptivas como a do armazenamento de energia, oferece as indústrias locais a possibilidade de se tornarem líderes no setor. Por isso, algumas estratégias nacionais de transição energética também tratam da capacitação técnica resultante dos investimentos realizados em tecnologias para o setor elétrico. O Reino Unido, a França e a Alemanha detalham em seus planos de transição o objetivo de se tornarem líderes na implantação da indústria 4.0 voltada para tecnologias elétricas.

Uma oportunidade comercial para as unidades de armazenamento presentes na maioria dos países, é o investimento em eletromobilidade e *SmartCities*⁴². A União Europeia e alguns países do bloco já definiram regras para a total substituição da frota de veículos convencionais por elétricos. Além disso, os projetos relacionados à automóveis elétricos também levam em conta a conexão direta entre a rede elétrica e os carros, que por sua vez, se tornam parte do sistema, comprando ou vendendo energia elétrica da rede.

Os dois principais desenhos de mercado para o uso de baterias conseguiram superar a falta de regulação. O autoconsumo, atualmente, utiliza os principais mecanismos para incentivo as fontes renováveis para penetrar no sistema elétrico. As constantes revisões e atualizações da estrutura de instrumentos e mecanismos de incentivo como *feed-in tariffs* e *net-metering* têm reduzido o programa de estímulo a tarifas diferenciadas. A redução gradual desses mecanismos impacta positivamente o modelo de negócios que une baterias e fontes renováveis de energia.

O controle de reserva já é realidade na Alemanha e no Reino Unido, tanto para baterias de maior capacidade como para modelos de agregação com a presença de baterias de baixa capacidade. O aumento da participação das fontes renováveis na estrutura de produção de eletricidade gera a necessidade de uma maior estrutura para controle de frequência no sistema

⁴²SmartCities são projetos nos quais um determinado espaço urbano é palco de experiências de uso intensivo de tecnologias de comunicação e informações sensíveis ao contexto, de gestão urbana e ação social dirigidos por dados

elétrico. A falta de uma regulação específica para as unidades de armazenamento não impediu a entrada das baterias no sistema de controle de reserva.

A incerteza financeira, atualmente, é uma das principais barreiras ao desenvolvimento das unidades de armazenamento de energia. A inexistência de um arcabouço regulatório específico inibe a realização de contratos de longo prazo para serviços remunerados como o de controle de reserva. Outras barreiras são os custos para instalação e para operação dos sistemas de armazenamento de energia em baterias. Apesar da queda nos custos da tecnologia nos últimos anos, as unidades ainda são caras, se comparadas com as fontes convencionais.

De acordo com o relatório da EC (2016), o processo de eletrificação é um dos principais caminhos para a descarbonização da economia europeia. Nesse contexto, as unidades de armazenamento de energia se tornarão um dos principais *drivers* para o processo de transição energética na Europa. O relatório analisa que dada a capacidade de integrar mais fontes de energia renováveis nos sistemas elétricos e capacidade de reduzir o impacto ambiental de setores como a indústria e o transporte, as baterias se tornarão uma tecnologia estratégica para a transição da União Europeia e de cada um dos países analisados.

CONCLUSÃO

A difusão dos sistemas de armazenamento de energia em baterias está diretamente relacionada com os processos de inovação tecnológica em curso e a adaptação dos marcos regulatórios. Tal como destacado na discussão teórica apresentada nos capítulos 1 e 2, apesar de se mostrarem uma tecnologia promissora para o setor elétrico, ainda não possuem regras claras e específicas para o desenvolvimento de novos modelos de negócio.

Como analisado por Blind (2012) e Hoppe et al (2018), o trabalho discutiu como o sistema regulatório impacta o processo inovativo e vice-versa de forma direta e indireta. A literatura identifica o sistema de regulação como um dos instrumentos de incentivo a inovação, enquanto as novas tecnologias permitem que o mercado e a sociedade proponham novos processos e produtos.

Esta dissertação buscou contribuir para a discussão sobre o arcabouço regulatório referente à tecnologia de armazenamento de energia em baterias. Para tal, a análise comparativa, feita a partir das experiências observadas na Alemanha, Espanha, França, Itália e Reino Unido, permitiu o mapeamento dos aspectos comuns, diferenças, oportunidades e barreiras associadas à difusão sistemas de armazenamento de energia em baterias, com ênfase nas questões associadas à elaboração de suas próprias políticas, legislações e regulação.

Com relação à comparação das estratégias de transição energética, encontram-se várias diferenças entre os países, devido às particularidades de suas situações atuais em termos de estrutura energética, legislação, regulação e desafios econômicos. A Alemanha foi pioneira no processo de transição energética na Europa e na integração de novas tecnologias no setor elétrico. Espanha e Itália obtiveram avanços importantes nas últimas décadas e recentemente atualizaram suas estratégias energéticas atualizadas para os próximos anos. A França por sua vez, busca investir em uma estrutura sustentável no setor elétrico, mas ainda possui forte dependência da geração de energia nuclear. Por último, o Reino Unido acelerou o processo de inserção das fontes renováveis na geração de energia elétrica na última década e elaborou um programa de difusão de novas tecnologias no setor.

Apesar das diferentes trajetórias, o processo de transição energética nos países estudados também possui similaridades. As estratégias nacionais têm como ponto focal a integração de fontes renováveis no setor elétrico e tecnologias que possam facilitar o processo de descarbonização da economia e em especial do setor elétrico.

Todos os países estudados debatem em seus planos a importância do desenvolvimento sustentável e como os sistemas elétricos podem se adequar as novas demandas ambientais, financeiras e sociais. A busca por um sistema elétrico com maior participação das fontes renováveis, menor emissão de poluentes e maior eficiência energética, faz parte da prioridade de todos os planos nacionais analisados.

Foi possível constatar, a partir da análise comparativa, que os sistemas de armazenamento de energia em baterias são citados em todas as estratégias de transição energética, mas apenas a Alemanha e o Reino Unido aprofundam o debate em relação a tecnologia. Vale notar que o crescimento da presença de fontes alternativas no *mix* energético é uma realidade no setor elétrico europeu. Essa transformação estrutural gera novos desafios para as autoridades responsáveis, mas faz parte do planejamento energético dos países analisados neste trabalho.

Com relação ao arcabouço regulatório, é importante identificar como cada um dos países organiza sua estrutura de regulação do setor elétrico. A maioria dos países analisados possuem uma estrutura regulatória descentralizada e agências reguladoras específicas para o setor. As autoridades exercem funções como supervisão e fiscalização das atividades, além disso, também contam com a experiência de órgãos relacionados a defesa da concorrência.

Os principais projetos de infraestrutura elétrica passam pelo crivo regulatório do governo central, enquanto, os projetos de baixa capacidade ficam a cargo das autoridades regionais. Essa estrutura regulatória favorece a implantação de diretrizes colocadas nos planos de transição energética, pois estabelece um sistema de regulação central no estilo *top down*. Apesar disso, nos últimos anos o processo de descentralização da tomada de decisões trouxe para os reguladores desafios, como a necessidade de gerenciar vários agentes no processo regulatório / de decisão (bloco europeu, autoridades nacionais e regionais).

Uma outra observação relevante é que a legislação referente aos sistemas de armazenamento de energia em baterias ainda é inexistente no quadro regulatório do setor elétrico dos cinco países estudados. O processo de liberalização do mercado elétrico na década de 1990 na Europa foi um fator importante para a reformulação das leis vigentes no setor, entretanto, foi o surgimento dos planos nacionais de transição energética que inseriram na legislação setorial os mecanismos e instrumentos de incentivo às fontes renováveis e as novas tecnologias.

Apesar de não existirem legislações específicas para as baterias e unidades de armazenamento de energia elétrica, este trabalho mostra como as demais leis influenciam no desenvolvimento de projetos ligados ao processo de transição energética. Atualmente, a Alemanha, o Reino Unido e a Itália debatem a presença das baterias no controle de reserva do setor elétrico, oportunidade para difundir a tecnologia de armazenamento de eletricidade. Enquanto isso, Espanha e França debatem a atual legislação referente ao autoconsumo, que no caso espanhol teve impacto negativo na primeira formulação da legislação, mas teve suas regras alteradas recentemente. Dessa forma, é indispensável que as autoridades responsáveis pelo setor elétrico se atentem as transformações do quadro legal, pois mesmo sem uma legislação própria os sistemas de armazenamento de energia em baterias são impactados por outros projetos em paralelo no sistema elétrico.

Com relação às oportunidades e barreiras, o setor privado tem assumido um papel ativo na elaboração de novos modelos de negócios para unidades de armazenamento elétrico. As geradoras, distribuidoras e transmissoras tem investido em protótipos para a realização de testes em sistemas que utilizam baterias, mas ainda sofrem com as barreiras tarifárias, regulatórias e legais para a expansão dos investimentos e das unidades para o restante da rede. Além disso, o setor público tem financiado projetos e pesquisas relacionadas a baterias, sendo assim, um importante indutor do desenvolvimento da tecnologia.

O custo dos sistemas de armazenamento de energia em baterias também é outro desafio para as empresas interessadas na tecnologia, visto que, a viabilidade financeira é um dos principais fatores na tomada de decisão para novas plantas e unidades. Atualmente, o setor público tem como principal objetivo a elaboração de legislações mais completas em relação as novas tecnologias e a integração das inovações no setor elétrico.

Por fim, a conclusão mais geral deste trabalho é que existe um movimento de alinhamento institucional e normativo, em resposta à convergência tecnológica e regulatória iniciada pela União Europeia nos anos 90. A falta de uma legislação específica não impediu que a tecnologia de armazenamento de energia em baterias se desenvolvesse dentro de cada um dos países estudados, mas as mudanças no quadro legal ocorridas em paralelo tem afetado de forma indireta a difusão e a viabilidade da tecnologia de baterias na Europa.

BIBLIOGRAFIA

AECOM. **Energy Storage Study: Funding and knowledge sharing priorities**. AECOM Technology Corporation, 2015

AGHION, P.; HOWITT, P. **The Economics of Growth**. The MIT Press: Cambridge, MA, USA, 2009

AGORA. **10 Q&A on the German Energiewende: A contribution to the Japanese energy debate**. Agora Energiewende, 2017

ALMENAR, J.; TALLÓN, C. **Spain**. CMS Guide to Energy Storage, 2018. Disponível em <<https://cms.law/en/INT/Expert-Guides/CMS-Expert-Guide-to-Energy-Storage/Spain>>. Acessado em 09/09/2019

ARAÚJO, K. The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. **Energy Research & Social Science**, v.1, p. 112-121, 1 mar. 2014.

AVERCH, H.; JOHNSON, L. Behavior of the firm under regulatory constraint. **American Economic Review**. v. 52, p. 1052 – 1069, 1962

BADER, K.; BAUER, C. **Is Germany finally adopting battery storage solutions?**, Norton Rose Fulbright, 2018. Disponível em <<https://www.nortonrosefulbright.com/en/knowledge/publications/1bc8043f/is-germany-finally-adopting-battery-storage-solutions>>. Acessado em 11/09/2019

BEIS. **The Clean Growth Strategy: Leading the way to a low carbon future**. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2017

BEIS. **Capacity Market Consultation – Improving the Framework: Government Response**. Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2017b. Disponível em https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/664272/capacity-market-consultation-improving-framework-response.pdf Acessado em 16/09/2019

BEMELMANS - VIDEK, M.; RIST, R.; VEDUNG, E. **Carrots, Sticks, and Sermons: Policy Instruments and Their Evaluation**. Transaction Publishers: Piscataway, NJ, USA, 1998

BENNET, L. How to Think about Law, Regulation and Technology: Problems with “Technology” as a Regulatory Target. **Law Innovation Technology**. v.5, p. 1 – 20, 2013

BHATNAGAR, D.; CURRIER, A.; HERNANDEZ, J.; MA, O.; KIRBY, B. **Market and Policy Barriers to Energy Storage Deployment - A Study for the Energy Storage Systems Program**. Sandia Report, 2013

BLACK, J. **What is Regulatory Innovation?** Regulatory Innovation. Cheltenham., UK, 2005.

BLIND, K. **The Impact of Regulation on Innovation: Compendium of Evidence on the Effectiveness of Innovation Policy Intervention**. Manchester Institute of Innovation Research, 2012

BMBF. **Bekanntmachung**. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2016. Disponível em < <https://www.bmbf.de/foerderungen/bekanntmachung-1146.html>> Acessado em 10/09/2019

BNEF. **New Energy Outlook 2018**. Bloomberg New Energy Finance, 2018

BP. **Energy Outlook: 2018 Edition**. London: British Petroleum Co., 2018

BUTENKO, A.; LAROUCHE, P. Regulation for innovativeness or regulation of innovation? **Law Innovation Technology**. v.7, p. 52 – 82, 2015

BMWi. **Energy Concept for an Environmentally Sound, Reliable and Affordable Energy Supply**. The Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2010

BMWi. **The Energy Transition: Our energy transition for an energy supply that is secure, clean and affordable**. The Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2017. Disponível em: < <https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Dossier/energy-transition.html> >. Acessado em 09/09/2019

BMWi; DEA. **Germany's renewable energy sector in the context of energy transition**. The Federal Ministry for Economic Affairs and Energy e Deutche Energie-Agentur, 2015. Disponível em: < <https://www.slideshare.net/ccenergia/germanys-renewable-energy-sector-in-the-context-of-energy-transition>>. Acessado em 09/09/2019

CARLIN, W.; SOSKICE, D. **Macroeconomics: Imperfections, Institutions & Policies**. Oxford University Press: Oxford, 2006

CIMINELLI, M.; CAVASOLA, P. **Italy**. CMS Guide to Energy Storage, 2018. Disponível em <<https://cms.law/en/INT/Expert-Guides/CMS-Expert-Guide-to-Energy-Storage/Italy>> Acessado em 07/09/2019

CHEN, H.; CONG, T.; YANG, W.; TAN, C.; LI, Y.; DING, Y. Ding, Progress in electrical energy storage system: A critical review, **Natural Science**, v.19, p. 291 – 312, 10 mar. 2009

CLAIM. **Knowledge Platform: Classification of Instruments**. Common agricultural policy in Landscape valorisation: Improving the knowledge base of the contribution of landscape Management to the rural economy, 2010 Disponível em <http://www.claimknowledgeplatform.eu/claim.1.0.php> Acessado em 11/09/2019

CRAFTS, N. Regulation and productivity performance. **Oxford Review of Economic Policy**.v.22, p. 186 – 202, 2006

DECC. **The UK Low Carbon Transition Plan: National strategy for climate and energy**. Department for Energy & Climate Change, 2009

DECC. **Delivering UK Energy Investment: Low Carbon Energy**. Department for Energy & Climate Change, 2015

DE JONG, M.; STOUT, H.; SUN, L. Seeing the People's Republic of China through the Eyes of Montesquieu: Why Sino-European Collaboration on Eco City Development Suffers from European Misinterpretations of "Good Governance". **Sustainability**. v. 9, 2017

DELSAUX, A.; EMMETT, K.; BAUER, C.; VAN LEEUWEN, M.; KORINTHIOS, C.; ASSIMAKIS, D.; BELISAIRE, A. **Regulatory progress for energy storage in Europe**. Norton Rose Fulbright, 2019. Disponível em <<https://www.nortonrosefulbright.com/en-lu/knowledge/publications/8b5285f4/regulatory-progress-for-energy-storage-in-europe#section4>> Acessado em 11/09/2019

EC. **Battery Promoting Policies in Selected Member States: Batstorm work package 5.** European Commission, 2018

EC. **Support to R&D strategy for battery based energy storage: Cost and benefits for deployment scenarios of battery system.** European Commission, 2016

EPRI; DOE. **Handbook of Energy Storage for Transmission & Distribution Applications.** Electric Power Research Institute e U.S. Department of Energy, 2003

ESPOSTI, A. **Italy**, The Energy Regulation and Markets Review, 2017

FAGES, F.; SAARINEN, M. **France**. The Energy Regulation and Markets Review, 2017

FAIAS, S.; SOUSA, J.; CASTRO, R. Embedded Energy Storage Systems in the Power Grid for Renewable Energy Sources Integration. **Renewables Energy**, 2009

FMI. **World Economic Outlook Database.** Fundo Monetário Internacional, 2019. Disponível em: < <https://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2019/01/weodata/index.aspx>>. Acessado em: 06/09/2019

GALLAGHER, K. S.; HOLDREN, J. P.; SAGAR, A. D. Energy-Technology Innovation. **Annual Review of Environment and Resources**. vol. 31, p. 193 – 237, nov. 2006

GROTENBREG, S.; VAN BUUREN, A. Facilitation as a Governance Strategy: Unravelling Governments Facilitation Frames. **Sustainability**. v.9,2017

GRUNEWALD, P.; COCKERILL, T.; CONTESTABILE, M.; PEARSON, P. The role of large scale storage in a GB low carbon energy future: Issues and policy challenges. **Energy Policy**. v.39, p. 4807 – 4815, 2011

GUÉNAIRE, M.; LIENHARDT, P.; JOTHY, B.; RAMBAUD, A.; DUFOUR, T. **Electricity Regulation in France: Overview.** Thomson Reuters Practical Law, 2017. Disponível em <[https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/7-629-7567?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true&bhcp=1](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/7-629-7567?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true&bhcp=1)> Acessado em 10/09/2019

GTAI. **The Energy storage market in Germany.** Germany Trade & Invest, 2019

GWEC. **Annual Market Update 2017.** Global Wind Report, 2018

HASSAN, M.; RADU F. United Kingdom. **The Energy Regulation and Markets Review**, 2017

HASSAN, M.; TALLÓN, L. **United Kingdom.** CMS Guide to Energy Storage, 2018. Disponível em <<https://cms.law/en/INT/Expert-Guides/CMS-Expert-Guide-to-Energy-Storage/United-Kingdom>> Acessado em 09/09/2019

HASSAN, M.; MAJUMDER-RUSSEL, D. **Electricity Regulation in United Kingdom: Overview.** Thomson Reuters Practical Law, 2014. Disponível em <[https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/1-523-9996?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true&bhcp=1](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/1-523-9996?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true&bhcp=1)> Acessado em 10/09/2019

HOPPE, T.; BUTENKO, A.; HELDEWEG, M. Innovation in the European Energy Sector and Regulatory Responses to it: Guest Editorial Note. **Sustainability**. vol. 10, p. 1 – 16, 2018

HUFEN, J. Cheat Electricity? The Political Economy of Green Electricity Delivery on the Dutch Market for Households and Small Business. **Sustainability**. v.9, p. 1 – 18, **2016**

IBRAHIM, H.; ILINCA, A.; PERRON, J. Energy storage systems – Characteristics and comparisons. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.12, p. 1221 – 1250, jun. 2008

IEA. **Status of Power System Transformation: Advanced Power Plant Flexibility**. International Energy Agency, 2008

IEA. **Technology roadmap – Energy storage**. International Energy Agency, 2014

IEA, **Energy Policies of IEA Countries: Spain 2015 Review**. International Energy Agency, Paris, 2015

IEA. **Energy Policies of IEA Countries: Italy 2016 Review**. International Energy Agency, Paris, 2016

IEA. **Energy Policies of IEA Countries: France 2016 Review**. International Energy Agency, Paris, 2016b

IEA. **Royal Decree 900/2015 on self-consumption**. International Energy Agency, 2017
Disponível em <[IEA. **Market Report Series: Renewables 2018**, IEA, 2018a](https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/spain/name-152980-en.php?s=dHlwZT1yZSZzdGF0dXM9T2s,&return=PG5hdiBpZD0iYnJlYWRjcnVtYiI-PGEgaHJlZj0iLyI-SG9tZTwwYT4gJnJhcXVvOyA8YSBocmVmPSIvcG9saWNpZXNhbmRtZWZzdXJlcy8iPIBvbGljaWVzIGFuZCBNZWFzdXJlczwvYT4gJnJhcXVvOyA8YSBocmVmPSIvcG9saWNpZXNhbmRtZWZzdXJlcy9yZW5ld2FibGVlbnVyZ3kvIj5SZW5ld2FibGUgRW5lcmd5PC9hPjwvbmF2Pg> Acessado em 10/09/2019</p>
</div>
<div data-bbox=)

IEA. **Global Energy & CO₂ Status Report 2018**. International Energy Agency, 2018b

IEA. **World Energy Outlook 2018**. International Energy Agency, 2018c

IEA. **Energy Storage: Tracking Clean Energy Progress**. International Energy Agency 2019. Disponível em: <<https://www.iea.org/tcep/energyintegration/energystorage/>>. Acessado em: 06/09/2019

IEA. **Energy Policies of IEA Countries: United Kingdom 2019 Review**. International Energy Agency, 2019b

IEC. **Electrical Energy Storage**. International Electrotechnical Commission, 2010

ISPE. **Has time for batteries in Italy arrived or not?**. Italian Institute for International Political Studies, 2015. Disponível em <<https://www.ispionline.it/en/energy-watch/has-time-batteries-italy-arrived-or-not-13748>> Acessado em 09/09/2019

IPCC. **Special Report: Global Warming of 1.5°C**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018

IRENA. **Battery storage for renewables: market status and technology outlook**. International Renewable Energy Agency. 2015

IRENA. **The power to change: solar and wind cost reduction potential to 2025.** International Renewable Energy Agency, 2016

IRENA. **Boosting Solar PV Markets: The Role of Quality Infrastructure.** International Renewable Energy Agency, 2017

IRENA. **Renewable Energy Auctions: Analysing 2016.** International Renewable Energy Agency, 2017b

IRENA. **Electricity Storage and Renewables: Costs and markets to 2030.** International Renewable Energy Agency, 2017c

IRENA. **Global Energy Transformation: A Roadmap to 2050.** International Renewable Energy Agency, 2018

IRENA. **Corporate sourcing of renewable energy: market and industry trends.** International Renewable Energy Agency, 2018b

IRENA. **A New World, The Geopolitics of the Energy Transformation,** International Renewable Energy Agency, 2019

JANZEN, D. **Germany.** CMS Guide to Energy Storage, 2018. Disponível em <<https://cms.law/en/INT/Expert-Guides/CMS-Expert-Guide-to-Energy-Storage/Germany> >. Acessado em: 12/09/2019

JIMENO, M. **Spain: Summary.** RES LEGAL Europe, 2019. Disponível em < <http://www.res-legal.eu/search-by-country/spain/summary/c/spain/s/res-e/sum/196/lpid/195/>> Acessado em 10/09/2019

KANDER, A.; MALANIMA, P.; WARDE, P. **Power to the People: Energy in Europe over the Last Five Centuries.** Princeton University Press, 2013

KEMFERT, C.; HORNE, J. **Good Governance of the Energiewende in Germany: wishful thinking or manageable?.** Hertie School of Governance, 2013. Disponível em <https://www.claudiakempf.de/wp-content/uploads/2016/03/Good_Governance_of_the_Energiewende_in_Deutschland.pdf> Acessado em 09/09/2019

KEMP, R. **Environmental regulation and innovation: key issues and questions for research,** In The Impact of EU Regulation on Innovation of European Industry. p.12-39, 1998

KENNING, T. **Shared installation marks Spain's self-consumption rethink.** Energy Storage News, 2017. Disponível em < <https://www.energy-storage.news/news/shared-installation-marks-spains-self-consumption-rethink>> Acessado em 11/09/2019

KHEMANI, R. S.; SHAPIRO, D. M. **Glossary of industrial organization economics and competition law.** OECD, 1993.

KUITTINEN, H.; VELTE, D. **Case Study Report: Energiewende.** European Commission, 2018

LEAL-ARCAS, R. Energy decentralization in the European Union. **Queen Mary University of London School of Law Legal Studies,** Research paper n. 307, 2019

LINDSEY, R. **Climate and Earth's energy budget**, Earth Observatory. NASA, 2009 Disponível em < <https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance>> Acessado em 06/09/2019

MAJONE, G. The rise of the regulatory state in Europe. **West European Politics**. v.17, p. 77 – 101, 1994

MAROULIS, G. **United Kingdom: Promotion in United Kingdom**. RES LEGAL Europe, 2019. Disponível em <<http://www.res-legal.eu/search-by-country/united-kingdom/tools-list/c/united-kingdom/s/res-e/t/promotion/sum/204/lpid/203/>> Acessado em 12/09/2019

MEYERS, M. A. **Happy Accidents: Serendipity in Modern Medical Breakthroughs**. Arcade Publishing: New York, NY, USA, 2007.

MITECO. **Marco Estratégico de Energía y Clima: Una oportunidad para la modernización de la economía española y la creación de empleo**. Ministerio para la Transición Ecológica, 2019. Disponível em <<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/participacion-publica/marco-estrategico-energia-y-clima.aspx>> Acessado em 09/09/2019

MITECO. **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030**. Ministerio para la Transición Ecológica, 2019b

MONTELLA, C.; MARTORANA, C.; TEDESCHI, A. **Electricity Regulation in Italy: Overview**. Practical Law, 2018. Disponível em <[https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/4-525-4301?transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)&firstPage=true&bhcp=1](https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/4-525-4301?transitionType=Default&contextData=(sc.Default)&firstPage=true&bhcp=1)> Acessado em 09/09/2019

MORALES, A. **Spain**. The Energy Regulation and Markets Review, 2017

MOTYKA, M.; SLAUGHTER, A.; AMON, C. **Global renewable energy trends: solar and wind move from mainstream to preferred**. Deloitte Insights, Deloitte, 2018. Disponível em < https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/global-renewable-energy-trends.html?id=us:2sm:3fb:4di_gl:5eng:6di> Acessado em 06/09/2019

MSE; MATTM; **Strategia Energetica Nazionale**. Ministero dello Sviluppo econômico e Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, 2017

MTES. **Projet de Stratégie Nationale Bas-Carbone: La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone**. Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017

MTES. **Programmation Pluriannuelle de l'énergie: Stratégie Française pour l'énergie et le climat**. Ministère de la transition écologique et solidaire, 2017b

NATIONAL GRID. **Final Auction Results: T-4 Capacity Market Auction for 2020/21**. National Grid, 2016. Disponível em <<https://www.emrdeliverybody.com/Capacity%20Markets%20Document%20Library/Final%20Results%20Report%20-%20T-4%202016.pdf>> Acessado em 14/09/2019

OIES. **The rise of renewables and energy transition**. The Oxford Institute for Energy Studies, 2018

OTEMAN, M.; KOOIJ, H.; WIERING, M. Pioneering renewable energy in an economic energy policy system: The history and development of Dutch grassroots initiatives. **Sustainability**. v.9, 2017

PNIEC.

PRITZSCHE, K.; SACK, J.; HODA, H.; LOSH, R. **Germany**, The Energy Regulation and Markets Review, 2017

REA. **Energy Storage in the UK: An Overview**, Renewable Energy Association, 2016. Disponível em <https://www.r-e-a.net/upload/rea_uk_energy_storage_report_november_2015_-_final.pdf> Acessado em 06/09/2019

REN21. **Renewables 2018 - Global Status Report**. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2018

REN21. **Renewables 2019: Global Status Report**. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2019

ROGERS, E. **Diffusion of Innovations**. Free Press, New York, 1983

ROJAS, A.; CARRENÑO, P. **The Reform of the Spanish electricity sector**. Spanish Economic and Financial Outlook, vol. 3, no. 2, 2014.

ROULOT, J.; RAINERI, R. The impacts of photovoltaic electricity self- consumption on value transfers between private and public stakeholders in France. **Energy Policy**, v. 122, 2018

RUIZ, J.; BENITO, M.; MENÉNDEZ, U. **Electricity regulation in Spain: Overview**. Practical Law, 2018. Disponível em <<https://uk.practicallaw.thomsonreuters.com/4-529-8116?transitionType=Default&contextData=%28sc.Default%29>>. Acessado em 11/09/2019

SAINTIER, S. Community Energy Companies in the UK: A Potential Model for Sustainable Development in “Local” Energy? **Sustainability**. v.9, 2017

SCHOLTEN, D.; KUNNEKE, R. Towards the comprehensive design of energy infrastructures. **Sustainability** 2016

SCHOLTZ, U.; ANTE, J. **Electricity Regulation in Germany: Overview**. Thomson Reuters Practical Law, 2018

SCHWARZ, J. **Italy: Promotion in Italy**. RES LEGAL Europe, 2019. Disponível em <<http://www.res-legal.eu/search-by-country/italy/tools-list/c/italy/s/res-e/t/promotion/sum/152/lpid/151/>> Acessado em 09/09/2019

SHELL. **Sky Scenario 2018 – Meeting the goals of the Paris Agreement**. Shell Global, 2018

SILVA, B. **Estudo de Soluções Alternativas de Armazenamento de Energia para Diferentes Horizontes Temporais**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores – Porto: Universidade do Porto, mar. 2008

SILVA, Y.; BORTONI, E. Sistemas de armazenamento de energia elétrica em redes inteligentes: características, oportunidades e barreiras. **Revista Brasileira de Energia**. v.22, n.1, 1º Sem. 2016

SMIL, V. World History and Energy. In: **Encyclopedia of Energy**. [s.l.] Elsevier, 2004, p. 549-561

SOVACOOOL, B. K. Diversity: Energy studies need social science. **Nature**, v.511, p. 529-530, 30 jul 2014

SOVACOOOL, B.; GEELS, F., Further reflections on the temporality of energy transitions: A response to critics. **Energy Research & Social Science**, v.22, p. 232-237, 1 dez. 2016

SOVACOOOL, B.; HESS, D. Ordering theories: Typologies and conceptual frameworks for sociotechnical change. **Social Studies of Science**, v.47, n.5, p. 703-750, 1 out 2017

STERN, N. **The Economics of Climate Change: The Stern Review**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007

STERNKOPF, T. Germany: Support Schemes Summary. RES LEGAL Europe, 2019. Disponível em < <http://www.res-legal.eu/search-by-country/germany/summary/c/germany/s/res-e/sum/136/lpid/135/>> Acessado em 10/09/2019

STEWART, L. **The Impact of Regulation on Innovation in the United States: A Cross-Industry Literature Review**. Information Technology & Innovation Foundation, 2010

TAVARES, F. D. **Política energética em um contexto de transição: a construção de um regime de baixo carbono**. Tese de Doutorado em Economia – Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019

TERNA. **Experiences and Initial results from Terna's Energy Storage Projects. Presentation Grid plus storage workshop**. Terna, 2016. Disponível em < <http://www.gridplusstorage.eu/workshops/6-workshop-7-croatia-italy-malta-slovenia-switzerland>>Acessadoem 12/07/2019

US DOE. **Global Energy Storage Database**. United States Department of Energy, Office of Electricity & Energy Reliability, 2017

UNEP. **Emissions Gap Report 2018**. UN Environment Programme, 2018

WARBROEK, B.; HOPPE, T. Modes of governing and policy of local and regional governments supporting local low-carbon energy initiatives: Exploring the cases of the Dutch regions of Overijssel and Fryslân. **Sustainability**. v.9, 2017

WEC. **Energy for Tomorrow's World – Acting Now**. World Energy Council, 2000

WEC. **Energy for People, Energy for Peace**. World Energy Council, 2002

WEC. **Renewable Energy Projects Handbook**. World Energy Council, 2004

WEF. **Fostering Effective Energy Transition: 2019 edition**, World Economic Forum, 2019

WILLIAMSON, O. Transaction cost economics: The governance of contractual relations. **Journal of Law and Economics**. v.22, p. 233 – 261, 1979

ZAREIPOUR, H. **Tutorial Energy Storage: An Introduction to Technologies, Applications and Best Practices. Part 1**. IEEE PES General Meeting 2015. jul. 2015.