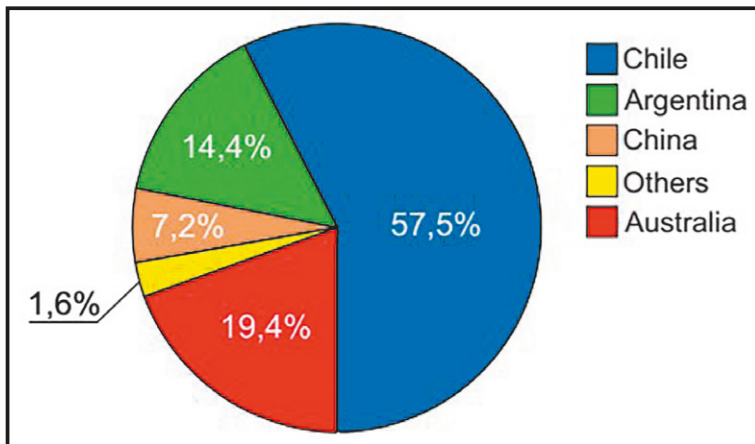


# EXPERIÊNCIA RECENTE NA OPERAÇÃO

O objetivo deste capítulo é apresentar um panorama atual do armazenamento por baterias de lítio, partindo desde a localização do insumo até uma visão geral das baterias e das aplicações realizadas no mundo.

Na Figura 4.1 é ilustrada a localização das reservas de lítio em 2018. O foco nas reservas se dá pela ampla importância que o material possui. Como se pode observar, o Chile possuía cerca 8 milhões de metros cúbicos, equivalente a 57,5 % das reservas mundiais, seguido pela Austrália, com cerca de 2,7 milhões de metros cúbicos (19,4 %), Argentina (14,4 %) e China (7,2 %). Apenas esses quatro países concentram 98,4 % das reservas mundiais.

Figura 4.1 Reservas de lítio ao redor do mundo em 2018  
(Statista, 2019; U.S. Geological Survey, 2019)

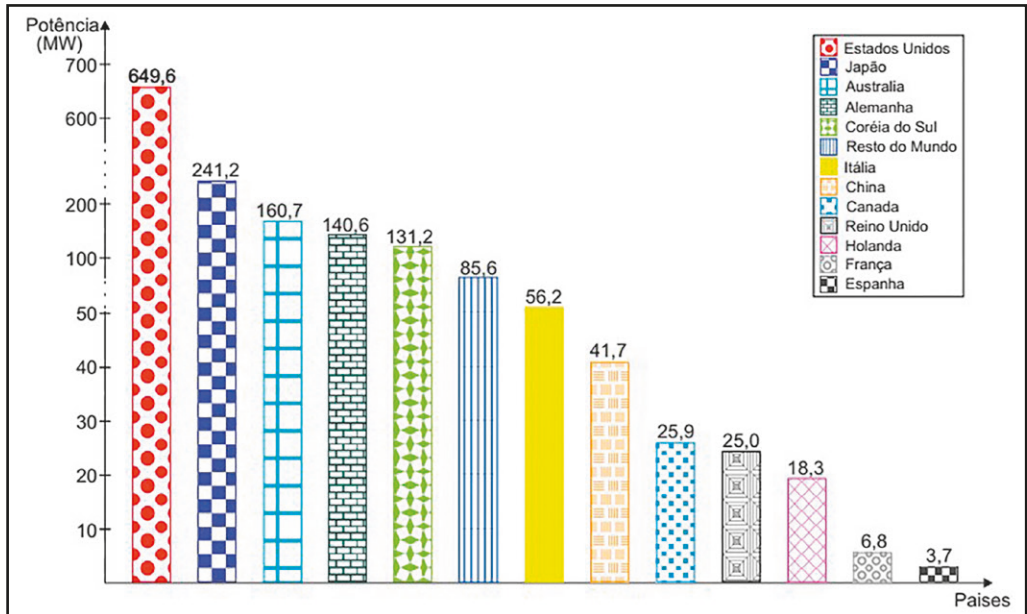


Apesar da maior disponibilidade ser no Chile, a principal extração é realizada na Austrália, que representa 43 % da produção mundial (Metso, 2019). Chile e a Argentina aparecem na sequência, com, respectivamente, 32,8 e 13,5 %.

A seguir é apresentado o atual cenário em termos de potência e energia das baterias instaladas ao redor do mundo, utilizando a base de dados do Departamento de Energia Americano (Department of Energy, 2019).

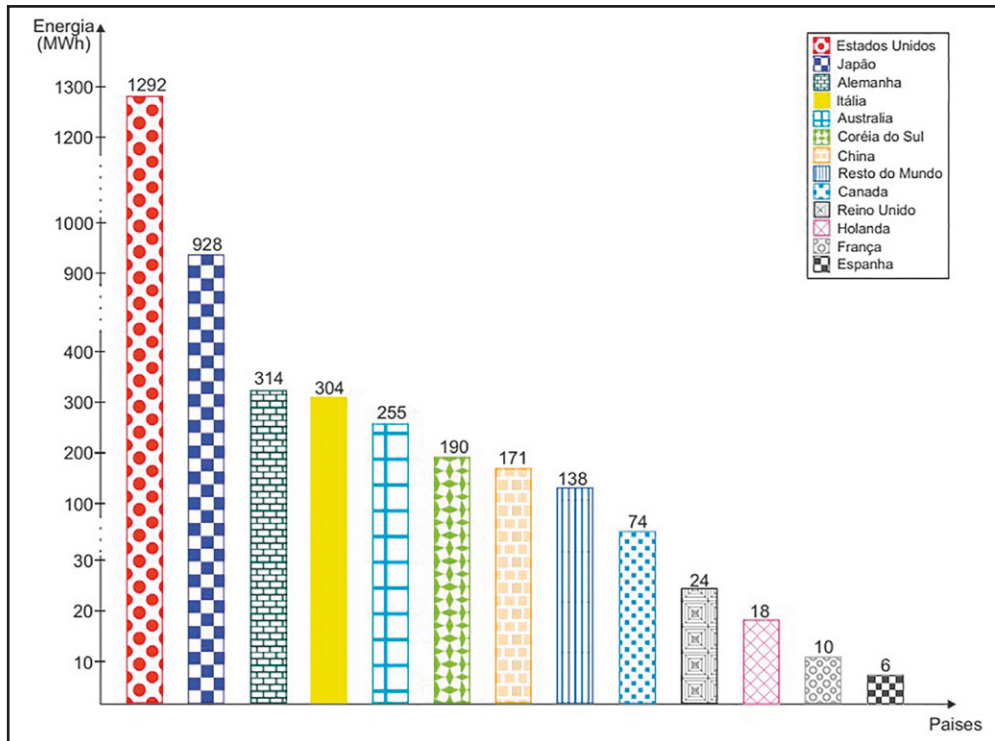
Como pode ser visto na Figura 4.2, os Estados Unidos têm a maior potência instalada, com cerca de 650 MW de potência. O país com a segunda maior potência instalada é o Japão, com cerca de 241 MW distribuídos em todo o seu território. Austrália, Alemanha e Coreia do Sul aparecem logo na sequência com potências superiores a 100 MW. Ainda merecem destaque Itália, China, Canadá, Reino Unido, Holanda, França e Espanha, finalizando a lista com os 12 países com maiores potências instaladas. O restante do mundo chega a apenas 85,6 MW, valor inferior aos cinco primeiros países da lista observados isoladamente.

Figura 4.2 Potência instalada de sistemas de armazenamento, tais como: baterias eletroquímicas e baterias de fluxo (Department of Energy, 2019)



No foco energético, a Figura 4.3 apresenta a capacidade de acúmulo de energia disponível ao redor do mundo. Na comparação com a Figura 4.2 observa-se que a ordenação dos países não é a mesma. Apenas Estados Unidos e Japão mantém suas posições em ambos os gráficos. A terceira maior capacidade de acúmulo de energia é observada na Alemanha, que possui cerca de 314 MWh. Itália, Austrália, Coreia do Sul e China fecham a sequência de países com energias maiores que 100 MWh.

Figura 4.3 Capacidade de acúmulo de energia de sistemas de armazenamento, tais como: baterias eletroquímicas e baterias de fluxo (Department of Energy, 2019)



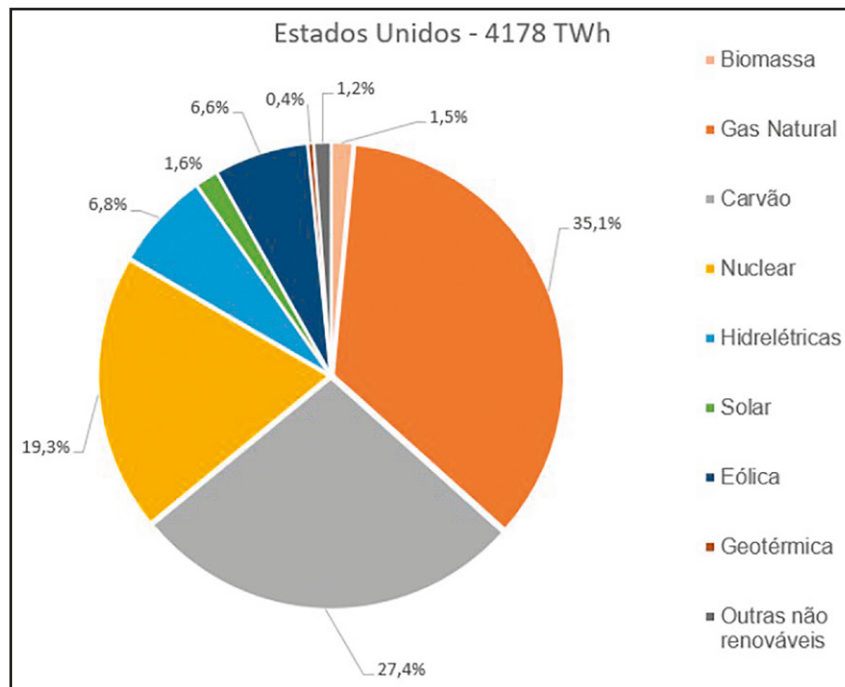
O ranqueamento dos 12 países com as maiores capacidades de acúmulo de energia é fechado com Canadá, Reino Unido, Holanda, França e Espanha.

Os principais países indicados nas figuras citadas são explorados em mais detalhe nos itens seguintes, com identificação das tecnologias de bateria utilizadas em paralelo às respectivas matrizes energéticas.

## 4.1 ESTADOS UNIDOS

Como pode ser observado na Figura 4.4, a geração total de energia nos Estados Unidos chegou a 4.178 TWh em 2018. As fontes mais representativas foram o gás natural (35,1 %), o carvão (27,4 %) e a nuclear (19,3 %). Destaca-se também que o fornecimento é majoritariamente termelétrico não renovável, com representatividade de 83 %. Dentre as renováveis, hidro e eólicas se destacam com mais de 6 % cada.

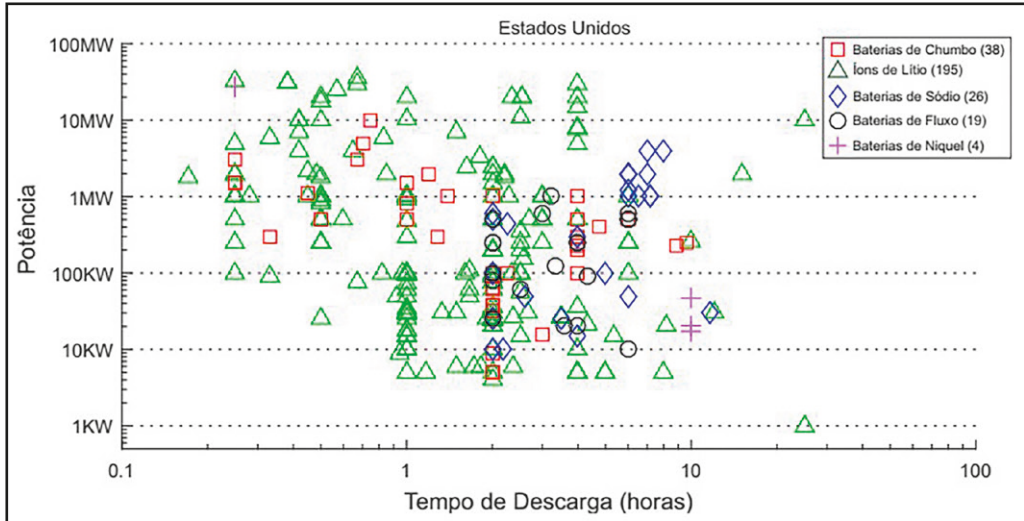
Figura 4.4 Geração por tipo de fonte nos Estados Unidos no ano de 2018 (EIA, 2019)



Como já ilustrado anteriormente, os Estados Unidos possuem a maior potência e a maior capacidade energética instalada do mundo. Entretanto, seu mercado de energia é dividido regionalmente, cada qual com sua gestão e operação independentes. A seguir são apresentados quatro desses mercados: PJM, CAISO, ERCOT e Havaí. Os três primeiros foram escolhidos por suas dimensões e importância, enquanto que o Havaí por ser um caso particular de sistema isolado.

Na Figura 4.5 é possível observar que as baterias de íons de lítio (em triângulos verdes) são as mais utilizadas nos Estados Unidos, totalizando 195 unidades instaladas, equivalente a 80 % do total. As baterias de chumbo aparecem em segundo lugar com 38 unidades instaladas. A lista também conta com baterias de sódio (26), de fluxo (19) e de níquel (4).

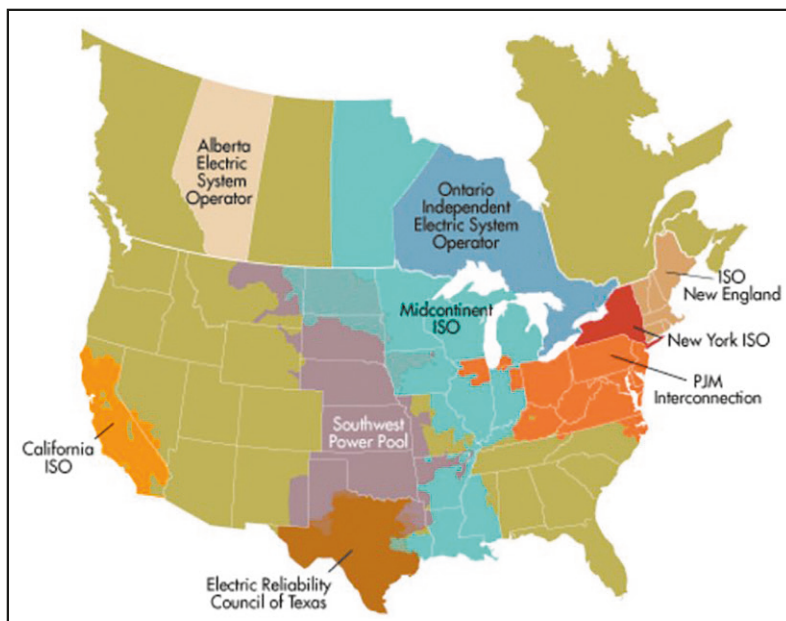
Figura 4.5 Baterias instaladas nos Estados Unidos, por tipo (Department of Energy, 2019)



#### 4.1.1 Mercados de Energia Americanos

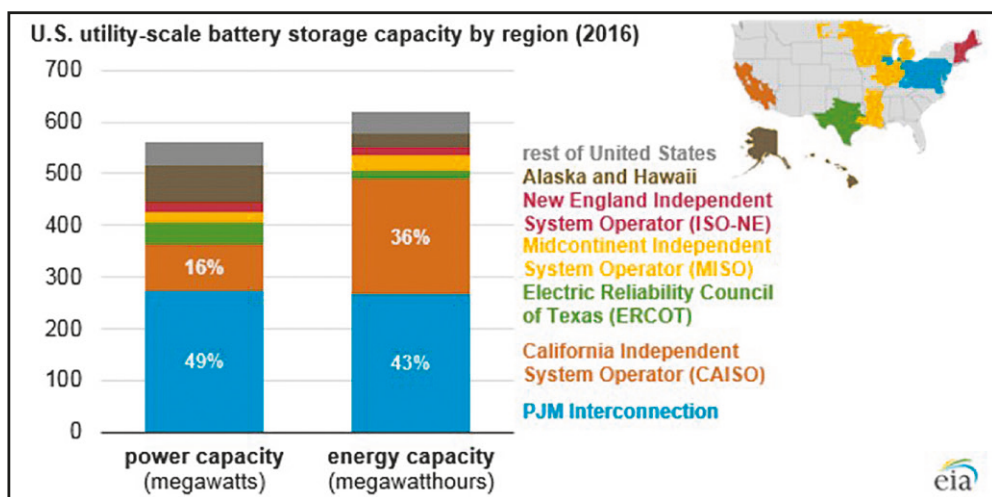
Os Estados Unidos possuem mercados de energia que se estendem, muitas vezes, por diversos estados. Nesses casos as empresas de energia se associam com o objetivo de buscar melhor eficiência e menor custo de atendimento. A Figura 4.6 apresenta os sete mercados de energia associados, que, quando somados, representam consumo de 2.200 TWh/ano, equivalente a cerca de 52 % do total de energia gerado nos Estados Unidos.

Figura 4.6 Mercados de energia americanos (CAISO, 2019)



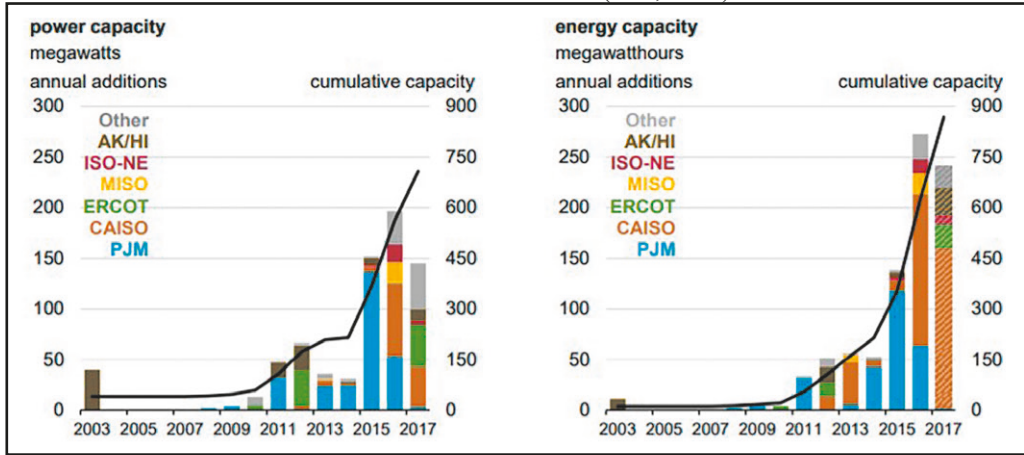
A Figura 4.7 ilustra a capacidade de armazenamento de cada mercado, onde se observa que os três com a maior capacidade em termos de potência são PJM, CAISO e ERCOT.

Figura 4.7 Capacidade de armazenamento dos Estados Unidos por operador do sistema (EIA, 2018)



Na Figura 4.8 é apresentada a evolução da capacidade instalada de sistemas de armazenamento nos operadores de mercado de energia americanos. Na última década, PJM e CAISO foram os mercados que mais aumentaram a participação de baterias em seus sistemas.

Figura 4.8 Evolução da potência instalada e da capacidade de armazenamento de energia instalada entre 2003 e 2017 (EIA, 2018)

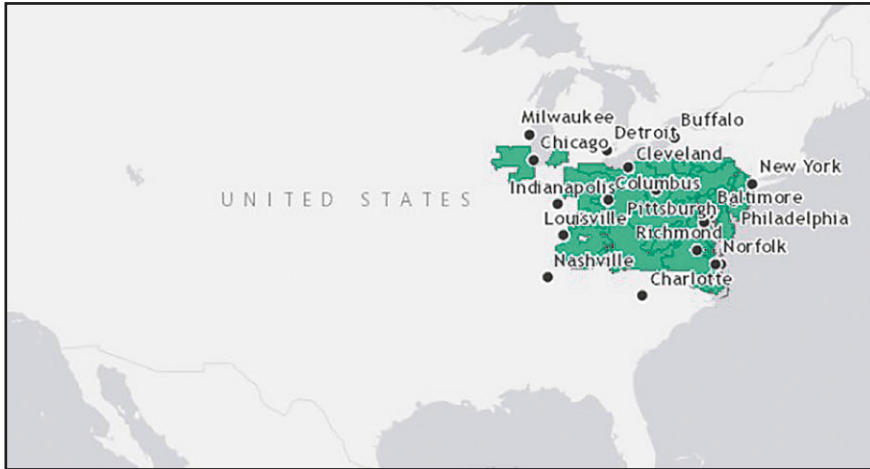


## PJM

A sigla PJM vem da interconexão entre Pensilvânia, Nova Jersey e Maryland. Essa interconexão começou em 1927, com três usinas instaladas em Pensilvânia e Nova Jersey, e recebeu em 1956 a entrada de usinas de Maryland. Em 1997 o PJM se tornou uma organização independente e começou a operar como um mercado de energia baseado no custo, se tornando, em 1998, o primeiro mercado baseado no preço marginal locacional. O mapa da região atendida e operada pelo PJM é apresentado na Figura 4.9.

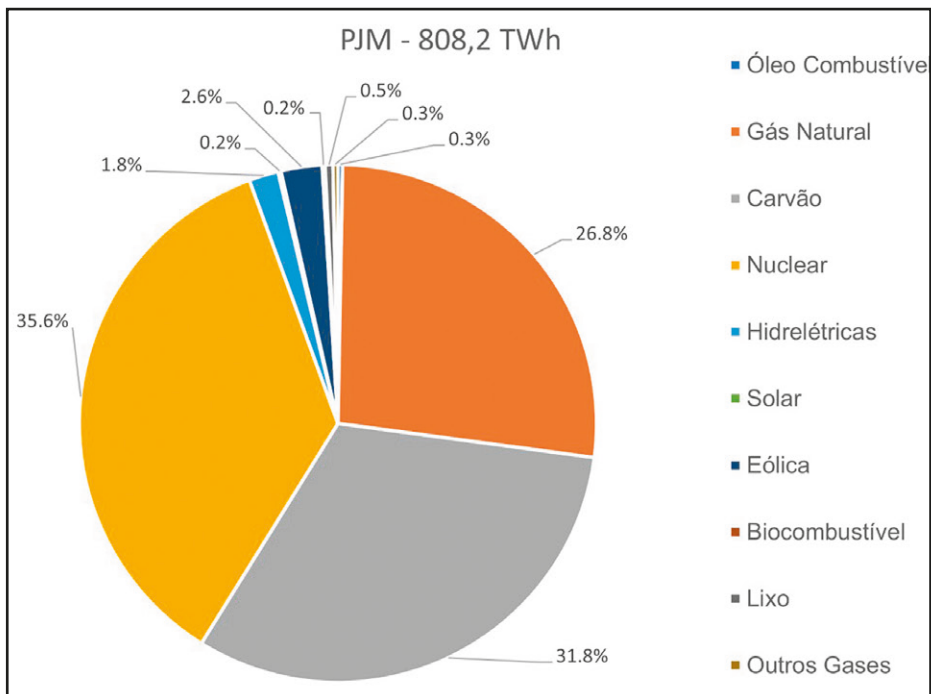


Figura 4.9 Mercado PJM (PJM, 2019)



Na Figura 4.10 é apresentada a contribuição de cada fonte na geração de energia em 2017, totalizando 808 TWh. Assim como na totalização nacional, gás natural, carvão e nuclear se destacam e representam, no caso, 94 % da geração.

Figura 4.10 Geração de energia no PJM em 2017 (Monitoring Analytics, 2018)

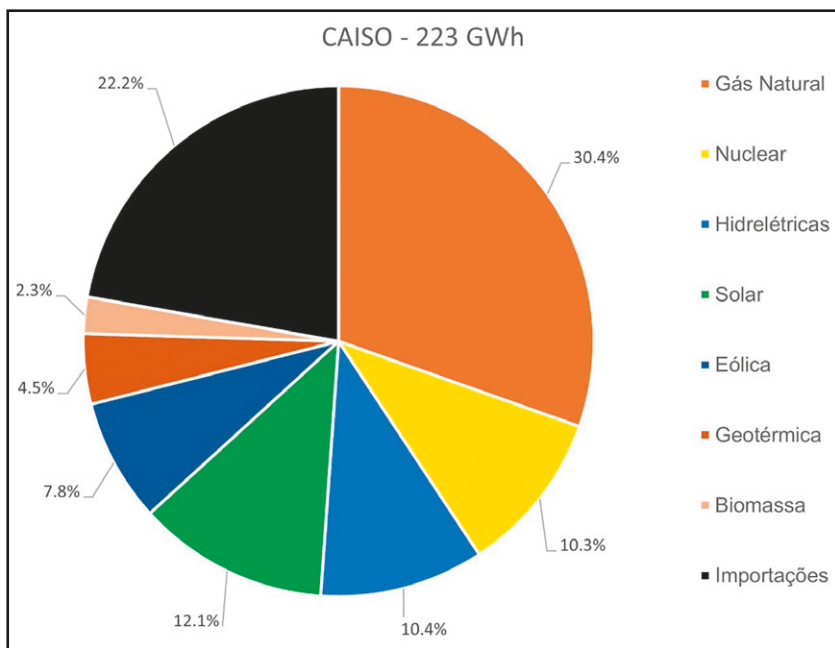


## CAISO

O Operador Independente do Sistema da Califórnia, CAISO, do inglês *California Independent System Operator*, opera no mercado de energia que inclui 80 % da Califórnia e uma pequena parte do estado de Nevada. A carga atendida por esse mercado corresponde a cerca de 35 % da carga da costa oeste.

No ano de 2018 o CAISO consumiu 223 GWh, tendo como principal fonte o gás natural, com 30,4 % de participação. Destaca-se que a Califórnia é uma das regiões dos EUA com maiores políticas sustentáveis, refletindo na participação de renováveis com maior representatividade que outros mercados. Ainda assim, gás natural, nuclear e importações ainda representam quase dois terços do consumo (California ISO, 2019).

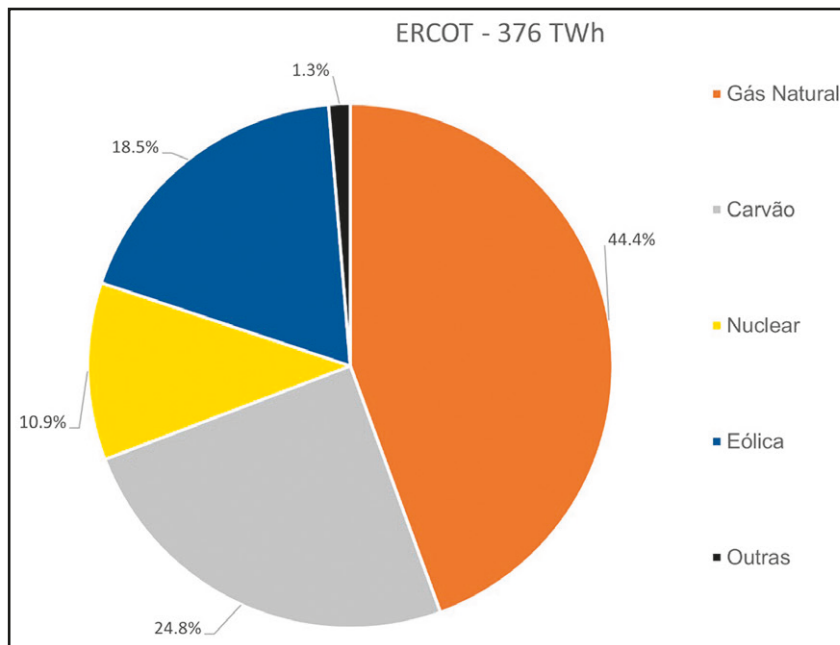
Figura 4.11 Geração de energia no CAISO (California ISO, 2019)



## ERCOT

O Conselho de Confiabilidade Elétrica do Texas, ERCOT, do inglês *Electric Reliability Council of Texas*, foi criado para gerenciar o fluxo de potência elétrica do estado do Texas. Apenas 10 % do estado do Texas não é gerenciado por esse mercado.

Figura 4.12 Geração de energia no ERCOT, por fonte de energia, no ano de 2018 (John, Greentech Media, 2019)



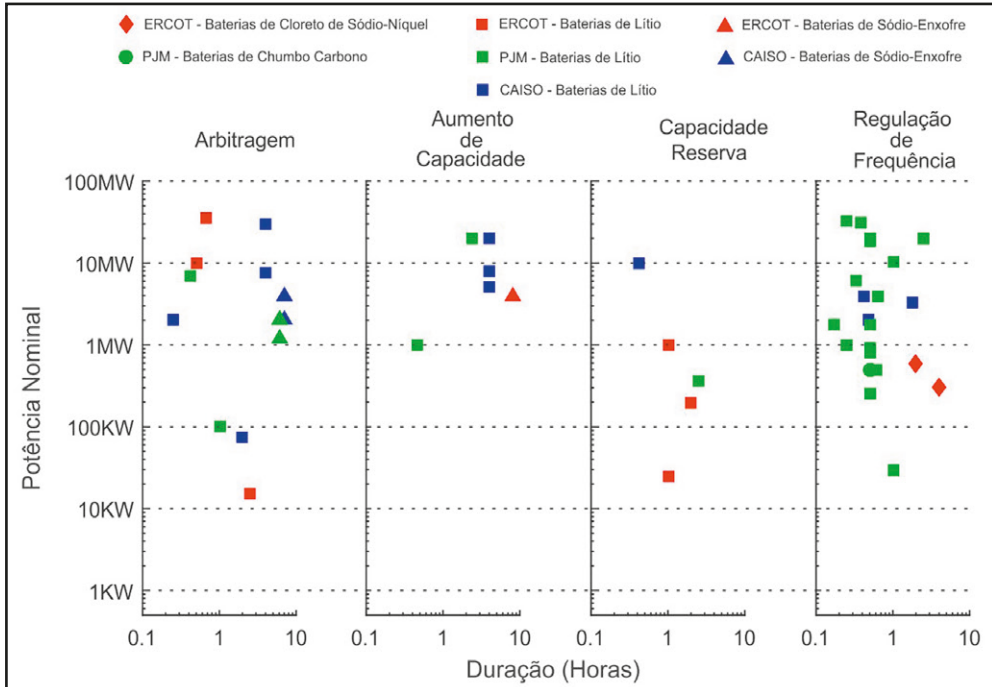
No ano de 2018 o ERCOT foi responsável por 376 TWh de energia. As três fontes termelétricas típicas dos EUA mantêm seu destaque com cerca de 80 % da geração.

#### 4.1.2 Aplicações típicas

Na Figura 4.13 são apresentadas as quatro funções mais exercidas pelas baterias nos três mercados citados. A regulação de frequência é a função mais recorrente, com destaque para sua aplicação no PJM, com 24 baterias, das quais 23 são de íons de lítio. CAISO e ERCOT vêm na sequência com 3 e 2 baterias, respectivamente. Uma curiosidade é que embora as baterias de íons de lítio sejam amplamente empregadas no PJM e no CAISO para regulação de frequência, no ERCOT são preferidas as de cloreto de sódio-níquel.

A segunda aplicação mais utilizada é a de arbitragem, com 15 baterias instaladas nos três mercados, sendo PJM e CAISO com seis cada e as três restantes no ERCOT. Este último possui apenas íons de lítio, no PJM a maioria é do tipo sódio-enxofre e no CAISO existem 3 de cada.

Figura 4.13 Baterias instaladas no ERCOT, PJM e CAISO

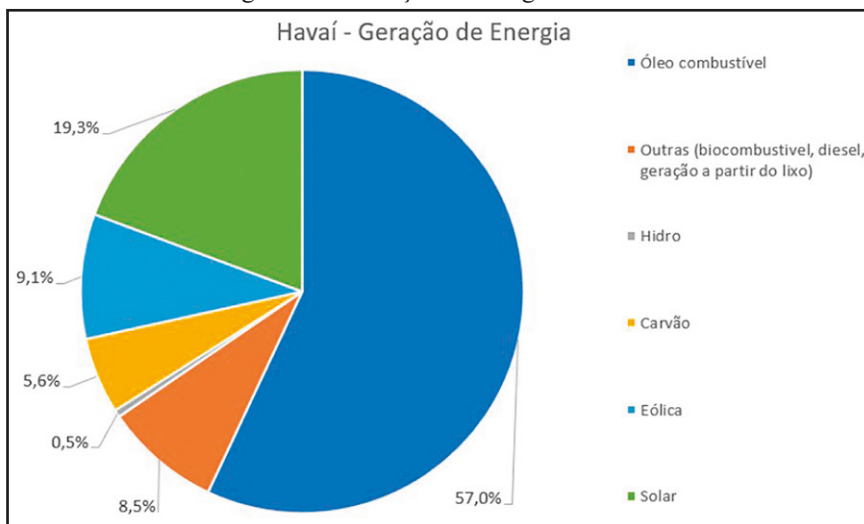


Quando se observa a função de capacidade reserva, pode-se constatar que a maior parte das baterias usadas está no mercado texano, com 3 baterias instaladas. PJM e CAISO têm apenas uma cada. Todas as baterias instaladas para essa função são de íons de lítio. No caso de aumento da capacidade o CAISO se destaca com seis unidades, cinco de íons de lítio e uma de sódio-enxofre.

### 4.1.3 Havaí

O sistema elétrico do Havaí é 95 % alimentado pelas companhias elétricas havaianas (Hawaiian Electric, Maui Electric e Hawai'i Electric Light), sendo que cerca de 57 % da geração é procedente da queima de óleo combustível. O restante das termelétricas não é expressivo como nos outros estados, sendo o carvão a segunda mais significativa, com apenas 5,6 %. A energia solar, oriunda principalmente de instalações dos próprios consumidores, é bastante significativa, representando 19,3 % da produção total. De acordo com (Hawaii State Energy Office, 2018) o Havaí possui um ousado plano de, a partir de 2045, gerar toda sua energia de fontes 100 % renováveis e já vem fazendo análises de interligações entre suas ilhas.

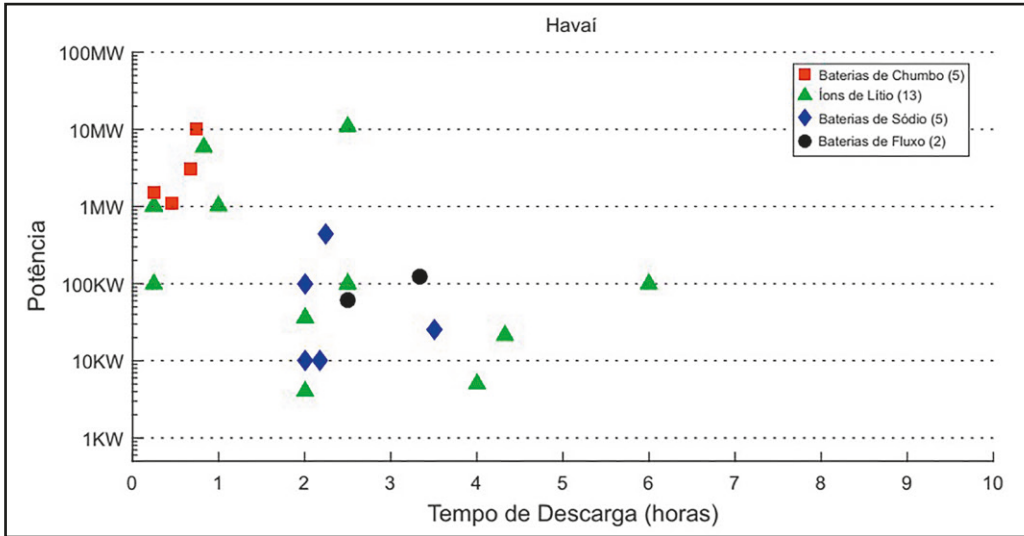
Figura 4.14 Geração de energia no Havái



Na Figura 4.15 são apresentadas as baterias instaladas no Havái. Ao todo 25 baterias estão em operação, com predominância de íons de lítio (13). Observa-se que as baterias de chumbo operam apenas com elevadas potências e curtos períodos de descarga, ao contrário das de sódio e de fluxo, destinadas para intervalos superiores a duas horas e potências da ordem de dezenas ou centenas de kW. O lítio é utilizado em todas as aplicações, com boa variação de potência e de duração.

As duas baterias de fluxo em operação são usadas para restauração do sistema elétrico (*black start*), após o desligamento dos geradores e um consequente desligamento total ou parcial da rede. Das oito baterias com duração inferior a uma hora, cinco são utilizadas para regulação de frequência, sendo três de íons de lítio e duas de chumbo.

Figura 4.15 Baterias instaladas no Havai

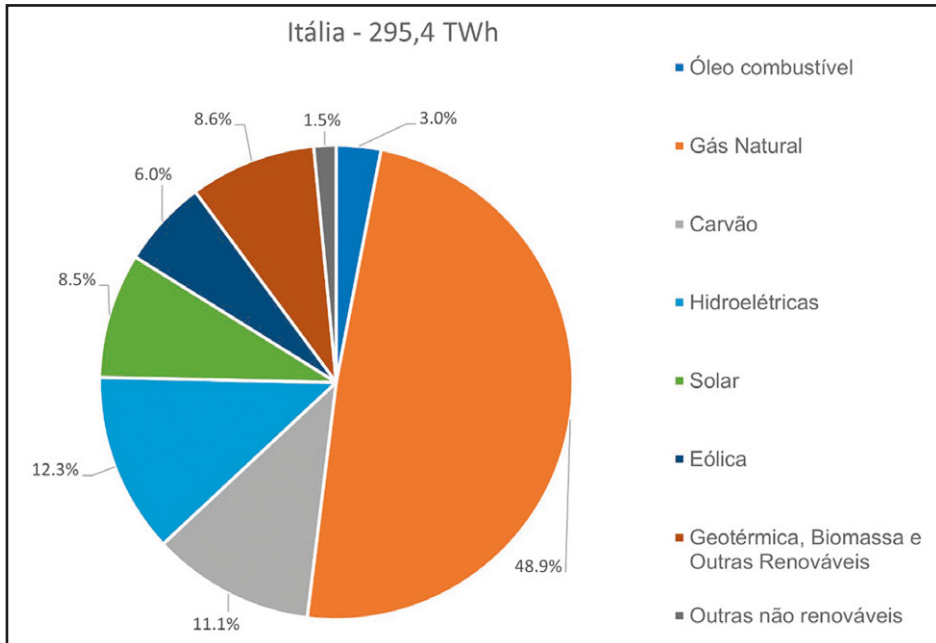


Um projeto de destaque em operação está localizado em Ulupalakua Ranch, a cerca de 20 km sudoeste de Maui, junto ao Projeto Eólico de Auwahi, composto por oito turbinas Siemens, de 3 MW cada, e baterias de lítio com capacidade de 11 MW/27,5 MWh. Esse sistema de armazenamento tem por finalidade auxiliar a geração para atender requisitos operacionais de partida e de desligamento em rampa, sem causar variações repentinas à rede convencional.

## 4.2 ITÁLIA

A Itália é lembrada como pioneira na troca massiva de seus medidores de energia convencionais para medidores inteligentes, facilitando a inserção de geração de energia distribuída, porém o gás natural ainda é sua principal fonte de energia. Na Figura 4.16 são apresentados os percentuais das fontes de energia na geração de eletricidade na Itália em 2017.

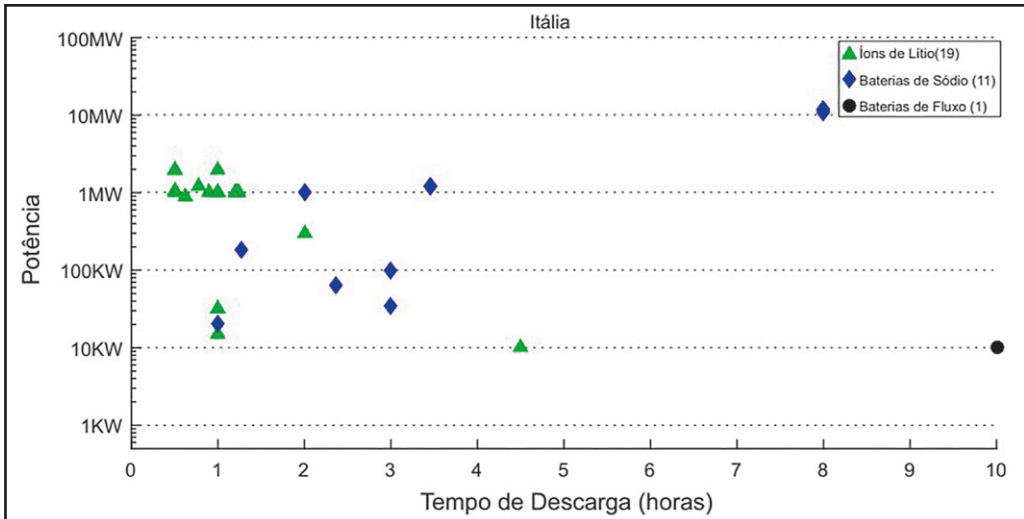
Figura 4.16 Geração de energia na Itália em 2017



A principal fonte italiana é o gás natural, sendo responsável por quase metade do atendimento de eletricidade do país. Dentre as restantes se destaca a solar, com 8,6 %. Esse valor é bastante significativo por ser um recurso que começou a ser explorado comercialmente há menos de uma década e já tem quase a mesma representatividade do carvão e de hidrelétricas.

A aplicação de sistemas de armazenamento é apresentado na Figura 4.17, sendo composto por 31 baterias, com destaque para potências de 20 kW a 2 MW e predominância do lítio (19), seguido pelo sódio (11).

Figura 4.17 Baterias em operação na Itália em 2019



Destaca-se que quase metade das baterias de lítio são dedicadas para *black start*, sendo seis delas com 1 MW de potência. Outras duas são utilizadas para regulação de frequência e duas para suporte de tensão. A bateria de íons de lítio com maior duração está instalada em uma planta de energia renovável e tem capacidade de atendimento de quatro horas e meia, com 10 kW, e é da variação LiTiO (óxido de titanato de lítio). Seu objetivo é deslocar a geração no tempo, utilizando a energia em um momento de maior necessidade.

As baterias de sódio utilizadas têm, em geral, tempo de descarga maior, além se destacarem como as três de maior potência instalada, superiores a 10,8 MW para descargas de oito horas. Essas três são prioritariamente utilizadas para regulação de frequência, mesmo com a elevada capacidade de acúmulo de energia. Por fim, há apenas uma bateria de fluxo do tipo VRFB (*Vanadium Redox Flow Battery*) com 10 kW e 10 horas de duração, utilizada para aumentar a capacidade firme de renováveis.

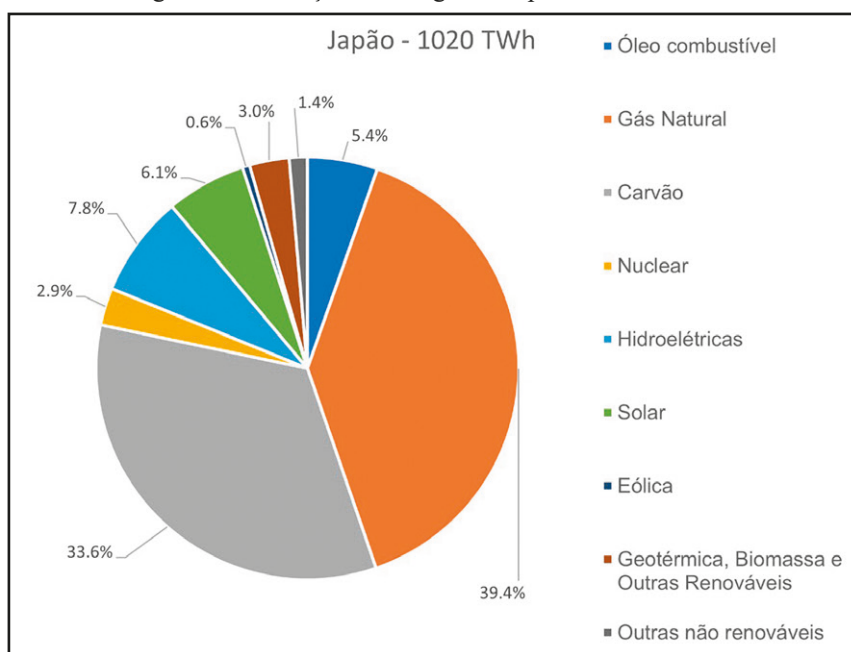
O projeto de maior potência, 35 MW, pertence à Terna Electric e tem três funções: regulação de frequência, suporte de tensão e alívio da rede de transmissão. As baterias são de sódio-enxofre e foram instaladas em Castelfranco, Flumeri e Avellino. As capacidades são as três maiores supracitadas de, respectivamente, 12, 12 e 10,8 MW. Uma segunda fase do projeto deve ser realizada na Sicília e na Sardenha, compreendendo 16 MW e as tecnologias de lítio e de fluxo (Bellini, 2018).



## 4.3 JAPÃO

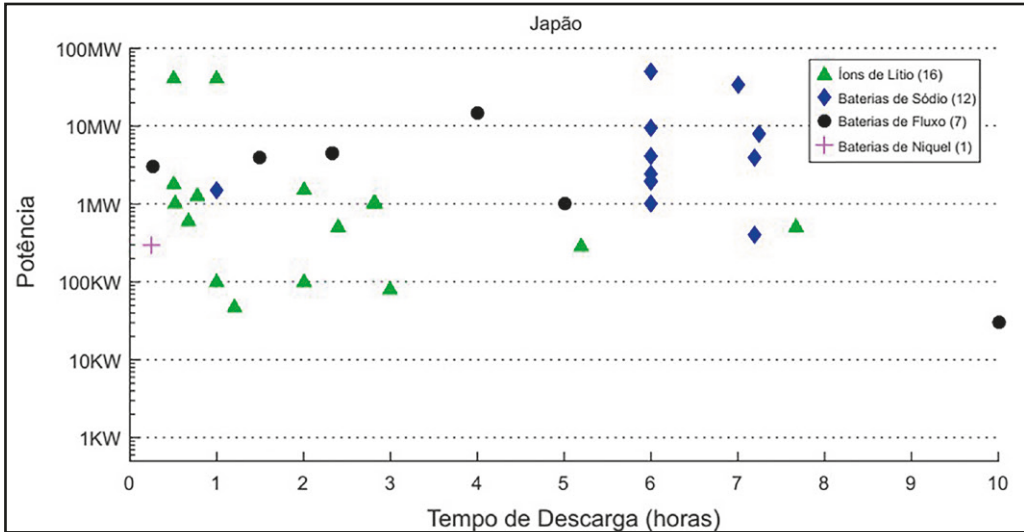
O Japão foi sempre conhecido por sua geração nuclear, porém, após o acidente de Fukushima, sua estratégia vem sendo modernizada. Como pode ser visto na Figura 4.18, em 2017 a geração de energia do Japão foi majoritariamente atendida por gás natural (39,4 %) e carvão (33,6 %). A geração renovável, de aproximadamente 17 %, está em ampliação, com tendência de novos projetos principalmente de fonte eólica no mar.

Figura 4.18 Geração de energia no Japão no ano de 2017



As baterias instaladas no Japão, ilustradas na Figura 4.19, têm tempo de descarga variado e, em geral, potências superiores a 100 kW. Ao todo são 36 unidades, das quais sete fazem regulação de frequência, cinco arbitragem e 11 têm aplicação que envolve geração renovável. Destaca-se a representatividade de baterias de sódio com mais de 1 MW e 6 horas de duração, utilizadas em sua maioria para realizar corte de consumo em horário de ponta.

Figura 4.19 Baterias em operação no Japão em 2019



Dois projetos operacionais merecem destaque. O primeiro é fruto de uma parceria entre Toshiba e a Tohoku Electric e está localizado nas proximidades de Fukushima. Ele conta com baterias de íons de lítio de 40 MW/40 MWh e tem como finalidade o deslocamento da energia gerada por renováveis para melhorar sua previsibilidade (Kaneko, 2016).

O segundo projeto foi implantado na cidade de Buzen pelas empresas Mitsubishi Electric, NGK Insulators e Kyushu Electric Power. Ao todo são 252 contêineres em uma área de 14.000 m<sup>2</sup>, com baterias de sódio enxofre de 50 MW/300 MWh. O objetivo é melhorar a regulação de frequência e elevar o nível de previsibilidade da energia gerada pelas renováveis (NGK Insulators, 2016).

## 4.4 COREIA DO SUL

Na Coreia do Sul a geração de energia é majoritariamente de termoelétricas, sendo 93 % oriundo de carvão, gás natural e nuclear. As energias renováveis são insignificantes na produção total. A Figura 4.20 ilustra a matriz energética completa.



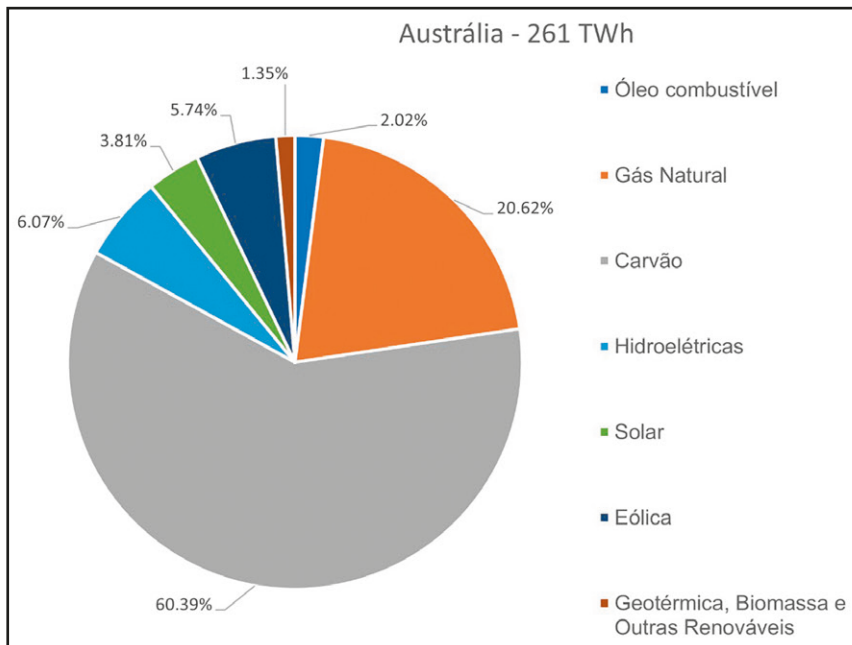
Entre os projetos citados, três merecem destaque especial:

- Uma aplicação de três baterias de lítio com óxido de níquel manganês cobalto ( ) para regulação de frequência, que totalizam 56 MW / 20 MWh;
- A instalação na fábrica da LG Chem em Iksan, com 3 MW / 23 MWh para operação complementar à usina fotovoltaica local. Espera-se economizar 1,2 milhões de dólares anualmente, além da melhoria na continuidade do atendimento elétrico local;
- Na subestação de West Ansong, com 28 MW / 89,6 MWh para finalidade múltipla: regulação de frequência, alívio da rede de transmissão e suporte de tensão.

## 4.5 AUSTRÁLIA

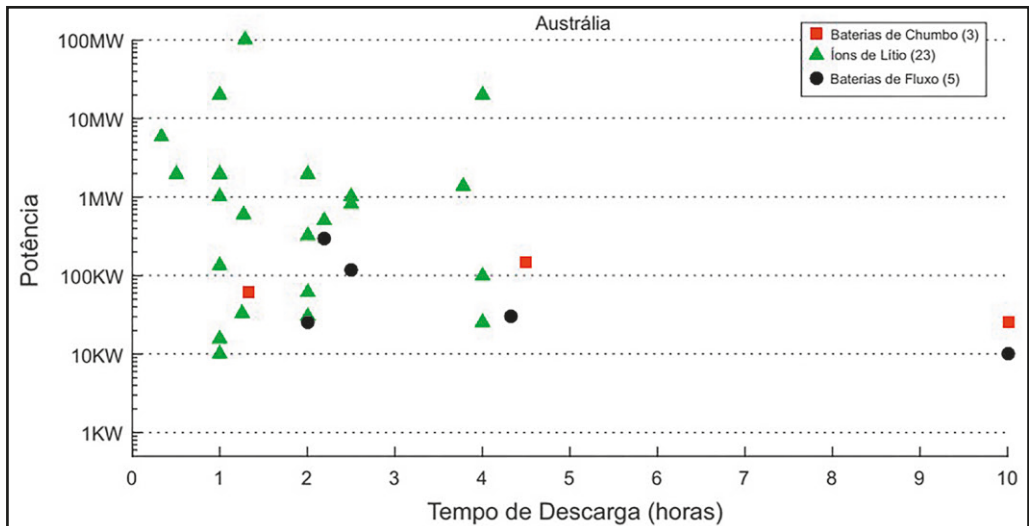
A Figura 4.22 apresenta as participações das fontes na geração de energia da Austrália, onde observa-se principalmente o uso do carvão e do gás natural. A geração renovável com característica intermitente é de quase 10 %, equivalente a 261 TWh.

Figura 4.22 Geração de energia na Austrália em 2018



As baterias instaladas, indicadas na Figura 4.23, se concentram especialmente na faixa entre 10 kW e 10 MW, com duração de até 5 horas. Assim como na maioria dos outros países, a tecnologia de íons de lítio é predominante. A aplicação mais frequente é a gestão da energia gerada para atendimento à carga em horário distinto. Por outro lado, duas aplicações atípicas se destacam com duração de 10 horas, sendo uma de chumbo, para estratégias de preço da demanda, e outra de fluxo, para controle da demanda em termos energéticos.

Figura 4.23 Baterias instaladas na Austrália

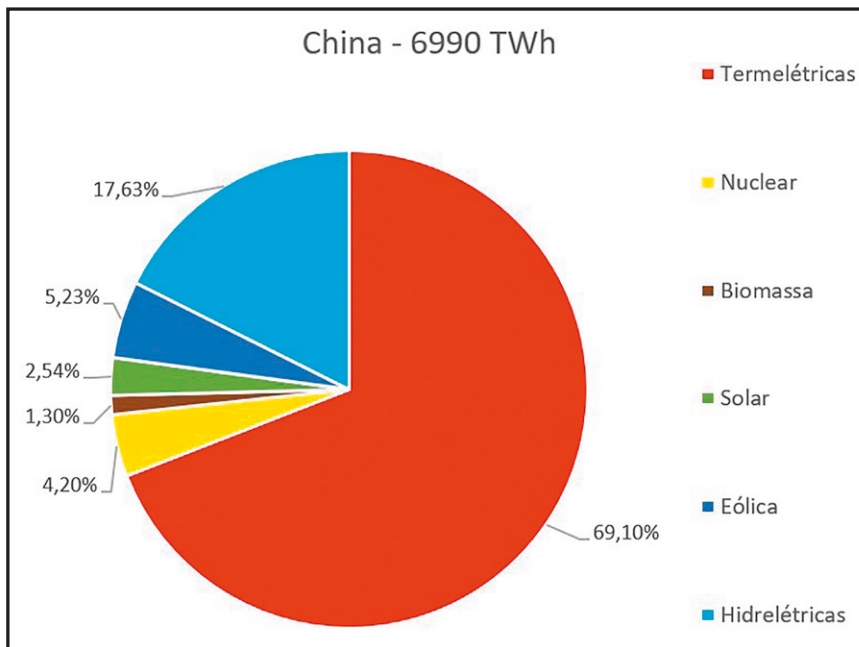


O projeto de maior potência, com 100 MW/129 MWh, está instalado junto à subestação de *Mount Lock*, na rede elétrica do estado da Austrália do Sul, a 220 km de sua capital Adelaide. O sistema opera de forma casada à usina eólica de Hornsdale, de 315 MW, e tem por objetivo aumentar a confiabilidade da rede e prover serviço de regulação de frequência.

## 4.6 CHINA

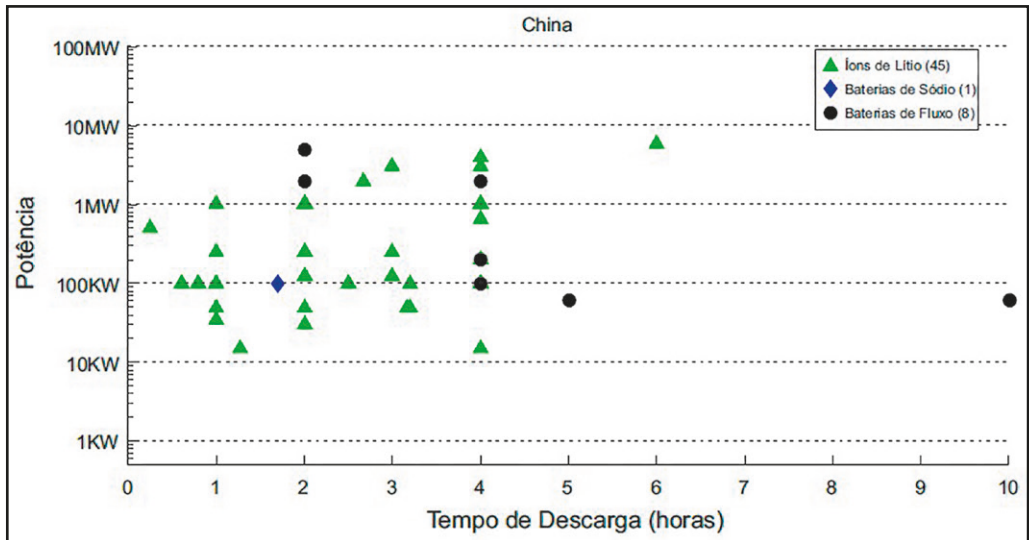
A Figura 4.24 apresenta a participação das fontes na matriz de geração de energia elétrica da China. As termelétricas em geral atendem mais de 70 % da demanda, com participação de renováveis intermitentes de quase 8 %.

Figura 4.24 Geração de Energia na China em 2018



A China é o segundo país com maior número de baterias instaladas, com 53 unidades. A Figura 4.25 apresenta a distribuição de capacidades e tecnologias, onde cerca de 85 % são de íons de lítio e a grande maioria tem duração inferior a quatro horas. O banco de dados do departamento de energia americano não relata nenhuma bateria instalada acima de 10 MW ou abaixo de 10 kW, provavelmente por sigilo industrial. Aproximadamente metade das instalações é associada à geração de renováveis, com outras 14 dedicadas à regulação de frequência. As unidades restantes são utilizadas para arbitragem ou *black start*.

Figura 4.25 Baterias instaladas na China

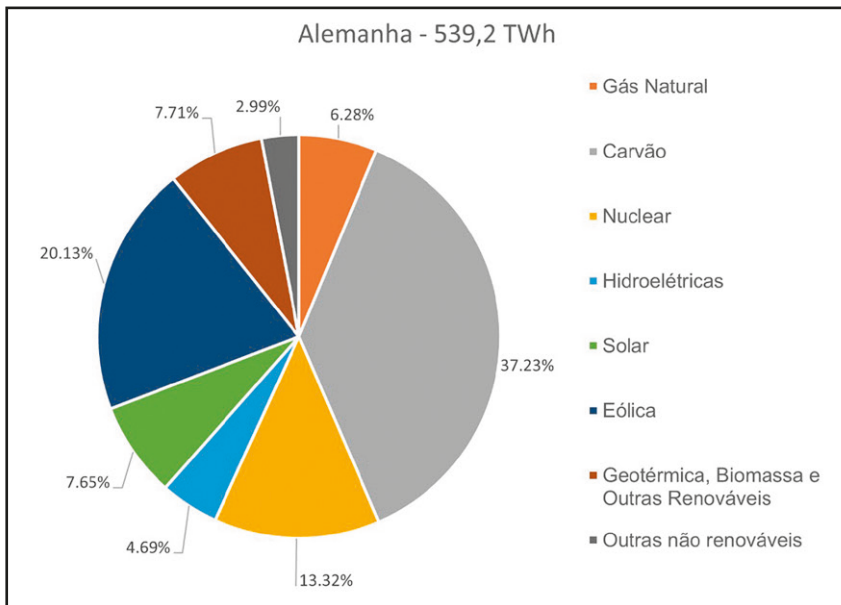


Um dos principais projetos em operação na China foi desenvolvido pela *Zhangbei National Wind and Solar* para operação conjunta à sua usina, composta por 100 MW eólico e 40 MW solar. A instalação é composta por cinco bancos de bateria, sendo quatro de lítio do tipo , totalizando 14 MW/63 MWh, e uma de fluxo, de 2 MW/8 MWh. Os sistemas são utilizados para regulação de frequência, suporte à rampa de geração e deslocamento da produção, com uma das unidades ainda realizando suporte de potência reativa.

## 4.7 ALEMANHA

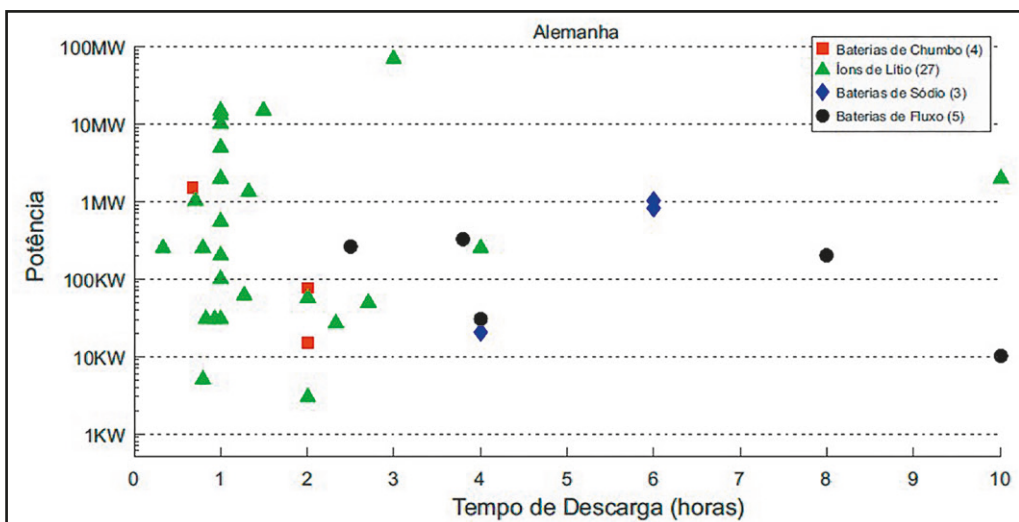
O atendimento à demanda de eletricidade da Alemanha é realizado principalmente por termelétricas, porém há significativa participação de renováveis, com destaque para eólica (20,1 %) e solar (7,7 %). A Figura 4.26 ilustra as fontes em detalhe. Destaca-se que o país passa por um processo de transição, atendendo principalmente a um plano de desligar todas as nucleares até 2022.

Figura 4.26 Geração de Energia na Alemanha em 2018



Em março de 2019 a Alemanha possuía 39 baterias instaladas, distribuídas conforme ilustrado na Figura 4.27. A tecnologia de íons de lítio é a mais frequente, especialmente em aplicações de baixa duração.

Figura 4.27 Baterias instaladas na Alemanha



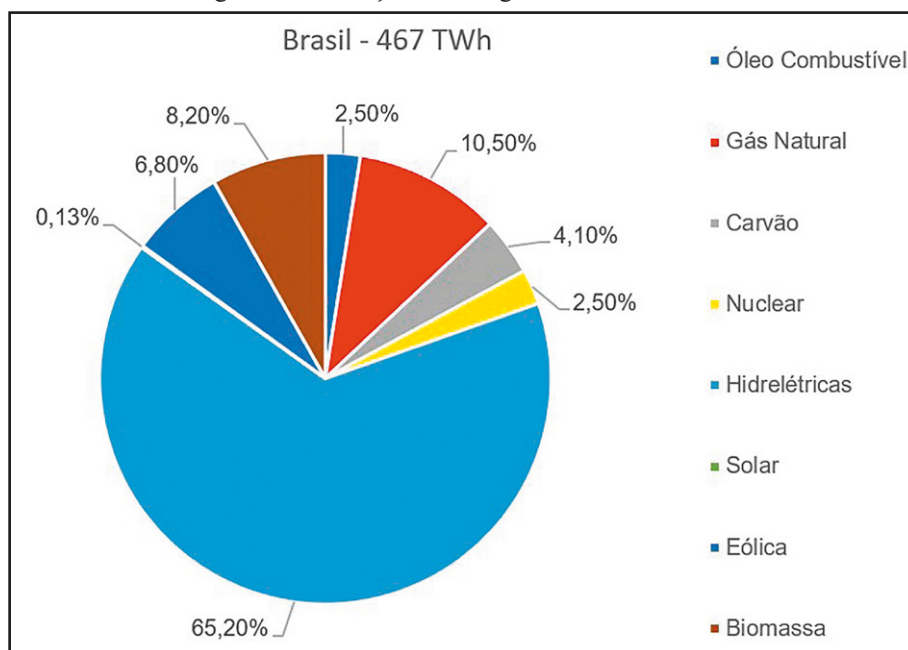


Um projeto interessante, desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer, conectou 2 MW/20 MWh de baterias de íons de lítio ao barramento de corrente contínua de turbinas eólicas com 2MW. O esquema de instalação reduz a necessidade de investimento em conversores e reduz perdas e os custos de manutenção. A instalação é capaz de realizar serviços de resposta à demanda, *black start* e aumento da capacidade de potência da microrrede (Fraunhofer ICT, 2016).

## 4.8 BRASIL

O Brasil tem a maior parte de sua geração oriunda de hidrelétricas e ainda conta com participação significativa de outras fontes renováveis, como pode ser observado na Figura 4.28.

Figura 4.28 Geração de Energia no Brasil em 2018



A instalação de sistemas de armazenamento se encontra em estágio anterior aos países citados, com a presença de poucos projetos-piloto, ainda pouco difundidos.

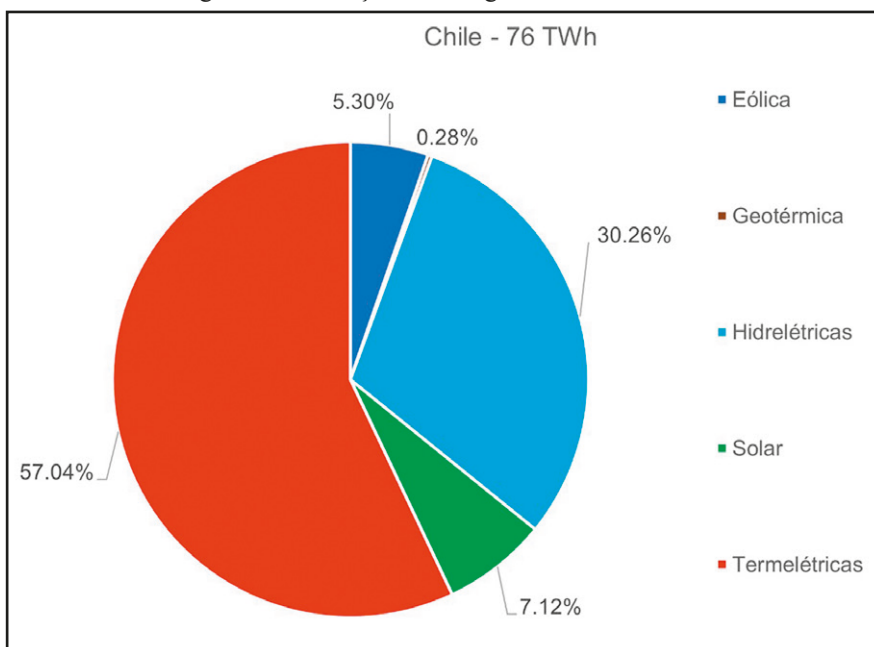
Entre os projetos em operação, merecem destaque:

- AES Tietê em Bariri/SP, com baterias de íons de lítio de 161 kW, para suporte à demanda no horário de ponta, postergação de investimentos e prestação de serviços auxiliares (Ambiente Energia, 2018);
- Neoenergia em Fernando de Noronha, com dois módulos de 280 kW cada, para estudos de um projeto de P&D (Freitas, 2018; Bitencourt, 2018);
- Eletrobrás no Amazonas, para a reforma e reativação de 12 miniusinas fotovoltaicas com operação isolada.

## 4.9 CHILE

A geração de energia elétrica no Chile alcançou 76 TWh no ano de 2018, dos quais cerca de 12,42 % são procedentes das fontes eólica e solar.

Figura 4.29 Geração de Energia no Chile em 2018



Apesar de se destacar no cenário latino-americano, o país ainda possui poucos projetos de armazenamento, com destaque para três aplicações:

- Uma unidade de 180 kW/320 kWh para operação conjunta à geração fotovoltaica de 156 kW do *Tierra Atacama Hotel*;
- Um banco de baterias de 120 MW/120 MWh utilizada para aumentar a capacidade de reserva da região norte do Chile e, conseqüentemente, a estabilidade do sistema;
- Um sistema de 20 MW/6,6 MWh, também dedicado à capacidade de reserva.

## 4.10 OUTROS PAÍSES

Completando a lista de países com experiências relevantes em sistemas de armazenamento, com atenção especial às aplicações na rede (e não para uso residencial), devem ser citados: Espanha, Holanda, Canadá, Reino Unido e França. As figuras seguintes ilustram as respectivas matrizes energéticas, com comentários na sequência.

Figura 4.30 Geração de Energia na Espanha em 2017

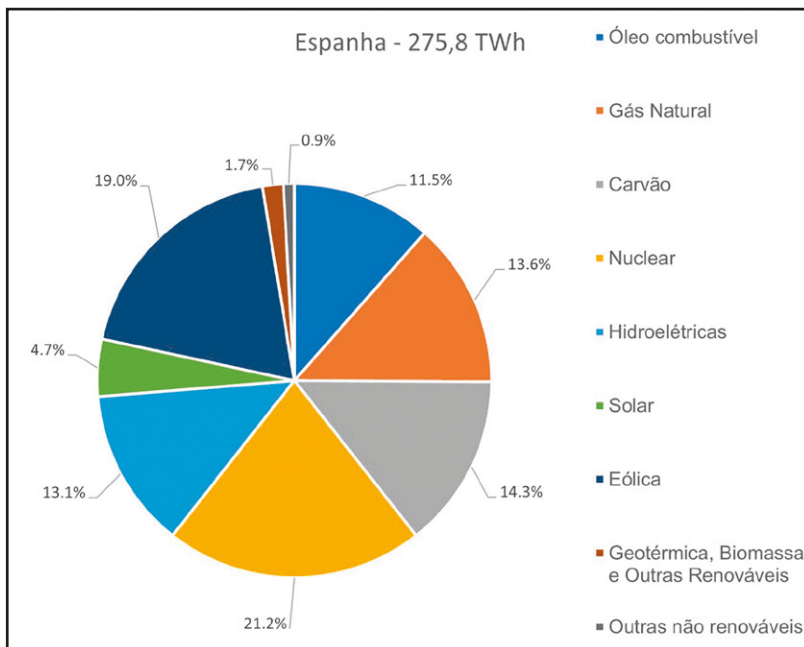


Figura 4.31 Geração de Energia na Holanda em 2017

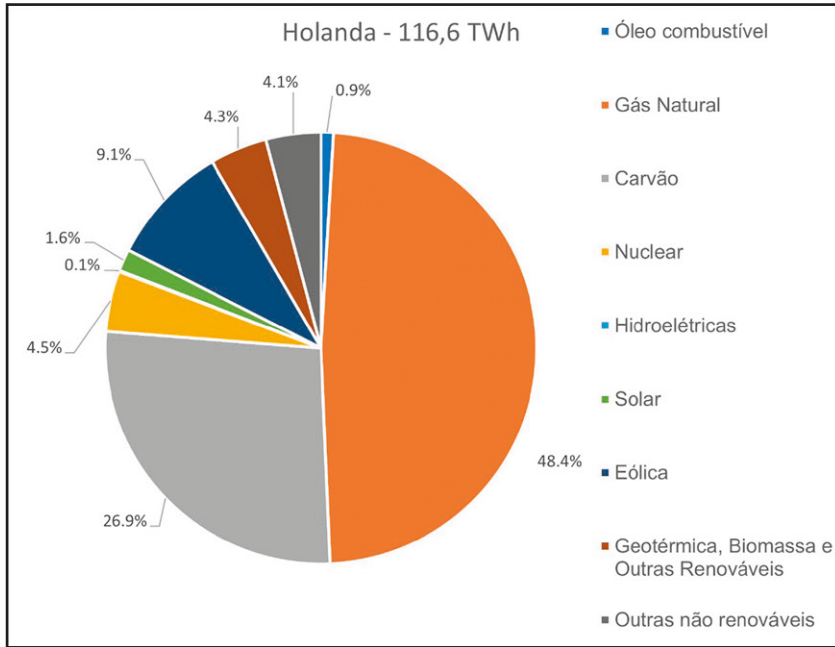


Figura 4.32 Geração de Energia no Canadá em 2017

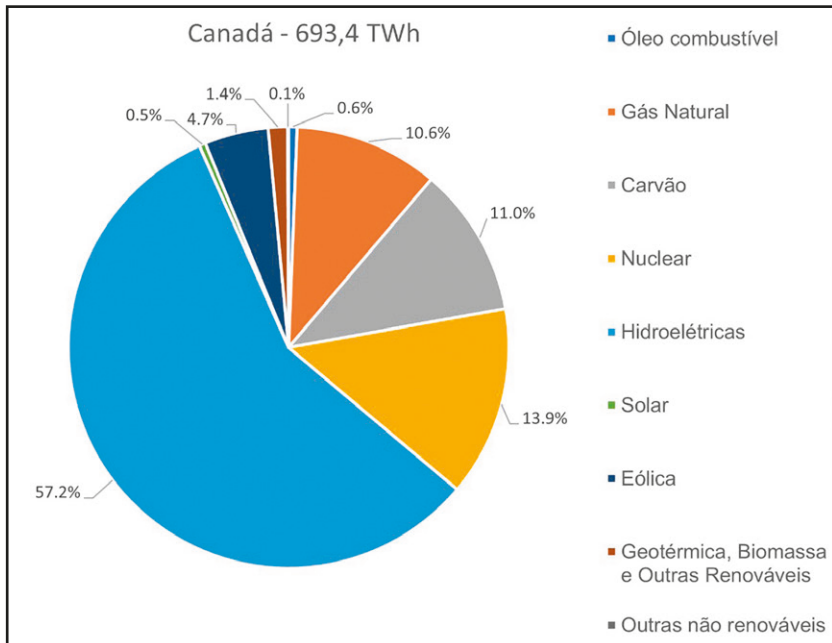


Figura 4.33 Geração de Energia no Reino Unido em 2018  
(Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2019)

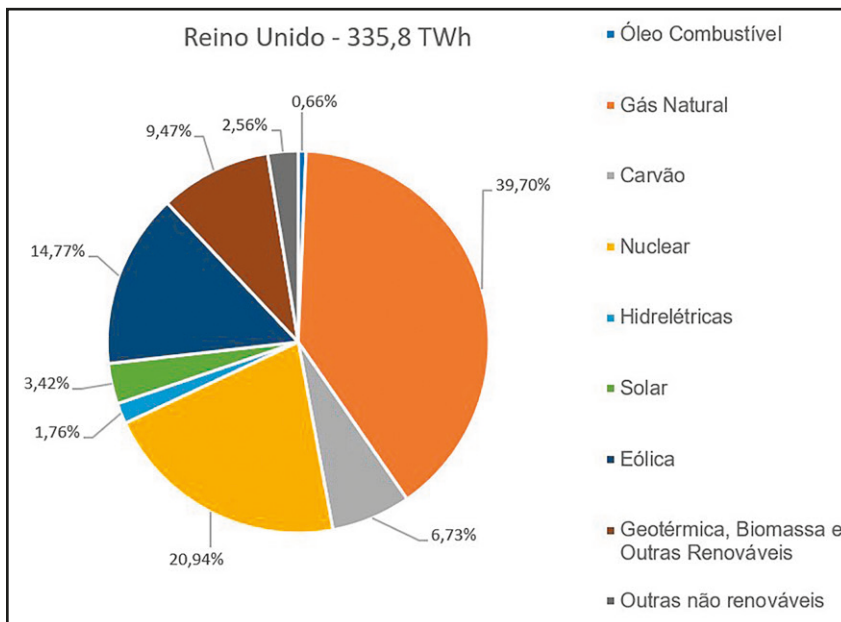
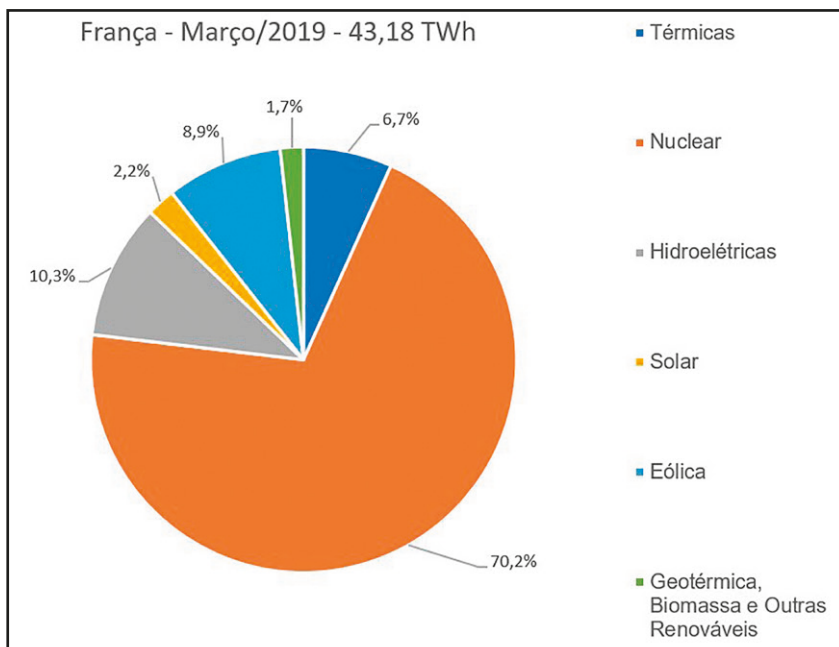


Figura 4.34 Geração de Energia na França em 2019 (RTE, 2019)

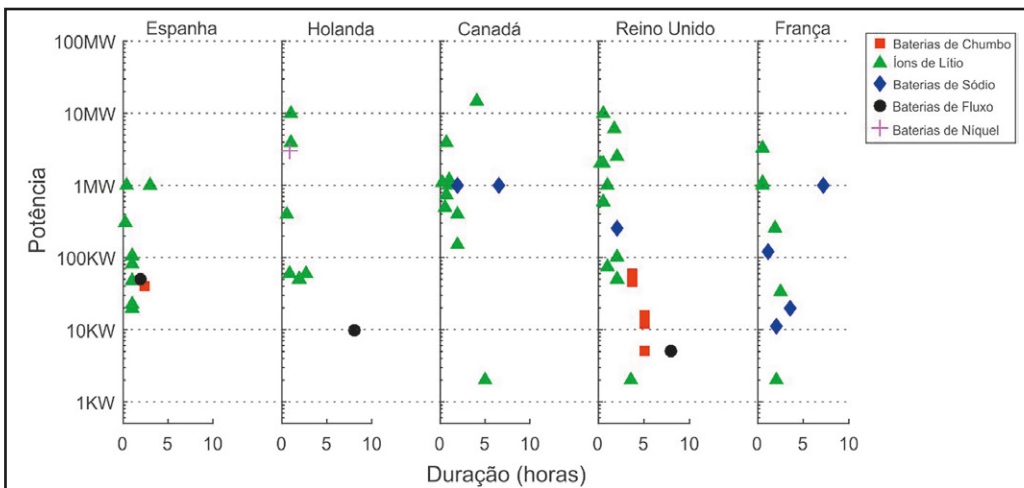


Excetuando-se o Canadá, que apresenta elevada produção hidrelétrica, o restante dos países tem elevada dependência em termelétricas, especialmente de carvão, gás natural e nuclear.

As fontes intermitentes (solar e eólica) têm maior destaque na Espanha, com 23,7 % da produção total, seguida pelo Reino Unido, com 18,2 %. Holanda e França possuem pouco mais de 10 % cada, enquanto o Canadá está na faixa de 5 %. Em todos os casos, a participação eólica é mais representativa que a solar (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2019).

Os sistemas de armazenamento instalados, assim como suas capacidades de potência e duração, estão ilustrados na Figura 4.35. Holanda e Reino Unido se destacam pela quantidade total, com 23 e 22 unidades, respectivamente. Os outros três países possuem cerca de 11 baterias cada. O uso de lítio é predominante, com projetos pontuais de outras tecnologias.

Figura 4.35 Baterias instaladas, ES, HO, CA, UK e FR



A Espanha é o país com a faixa de capacidade mais restrita, variando entre 10 kW e 1 MW e com duração sempre inferior a três horas. Ao todo estão instalados 3,6 MW, com funções variadas, como resposta à demanda, suporte à transmissão, gestão da geração e regulação de frequência.

Na Holanda há sistemas de até 10 MW, porém a maior concentração está ao redor de 50 kW e tem fins de gestão da geração. A maior duração tem oito horas e corresponde a uma bateria de fluxo, utilizada para gestão do consumo. A potência instalada total supera 18 MW e tem aplicações adicionais às citadas, como regulação de frequência, *black start* e melhoria da confiabilidade da rede.

O Canadá tem suas aplicações com capacidade concentrada na faixa de 500 a 1.000 kW e duração de uma hora. Ao todo, são quase 26 MW utilizados para regulação de frequência, gestão do consumo e resposta à demanda.

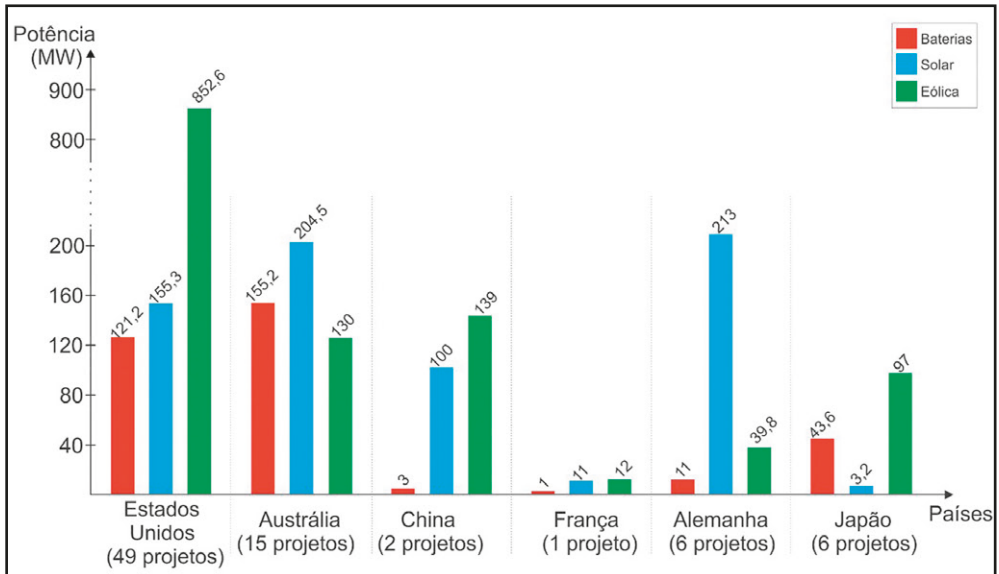
O Reino Unido possui grande variação de sistemas, tanto na potência como na duração, e possui a capacidade instalada desse conjunto de países, com 24,9 MW. O ponto de destaque, assim como na Holanda, é um sistema de fluxo com capacidade de 8 horas, utilizado, entretanto, para a gestão da geração.

Por fim, a potência instalada de baterias na França é de 6,8 MW, com apenas 10 baterias, das quais apenas uma tem duração superior a três horas. Este caso particular é de sódio-enxofre, com 1 MW e sete horas de descarga, com a finalidade de gestão da geração. As principais aplicações são: regulação de frequência, suporte de tensão e aumento da capacidade de microrredes.

## 4.11 PROJETOS HÍBRIDOS

Esta seção destaca, dentre os projetos citados, as aplicações de sistemas de armazenamento junto a usinas fotovoltaicas e eólicas. A Figura 4.36 apresenta as potências totalizadas das baterias e das usinas levantadas.

Figura 4.36 Número de projetos híbridos, identificados no banco de dados do departamento de energia americano, do tipo solar e/ou eólica com bateria e a potência total instalada nesses projetos



Destaca-se que não são consideradas na figura as potências das usinas que não possuem armazenamento associado, assim como de possíveis instalações cujos dados não sejam públicos ou divulgados oficialmente.

Os Estados Unidos possuem, com folga, a maior quantidade de projetos combinados, enquanto a Austrália e o Japão apresentam as maiores relações de potência bateria/geração. Estados Unidos, Alemanha e China têm relações menores por conta do objetivo para o qual essas baterias estão aplicadas, como a regulação de frequência, enquanto Austrália e Japão buscam aumentar a capacidade firme das renováveis.

Por fim, o único projeto instalado na França possui uma combinação de baterias com usinas eólicas e fotovoltaicas, instaladas na ilha de La Reunión, para aumentar a confiabilidade da rede elétrica.