Artigo 04

Armazenamento

Texto e imagens da edição original. Os dados e as referências mantêm o contexto dessa edição.

Introdução

O consumo de energia no mundo tem vindo a aumentar, e com o compromisso de grande parte dos países para com uma transição energética sustentável e consciente, cada vez mais se tem investido em tecnologias que produzem energia com bases em recursos renováveis.

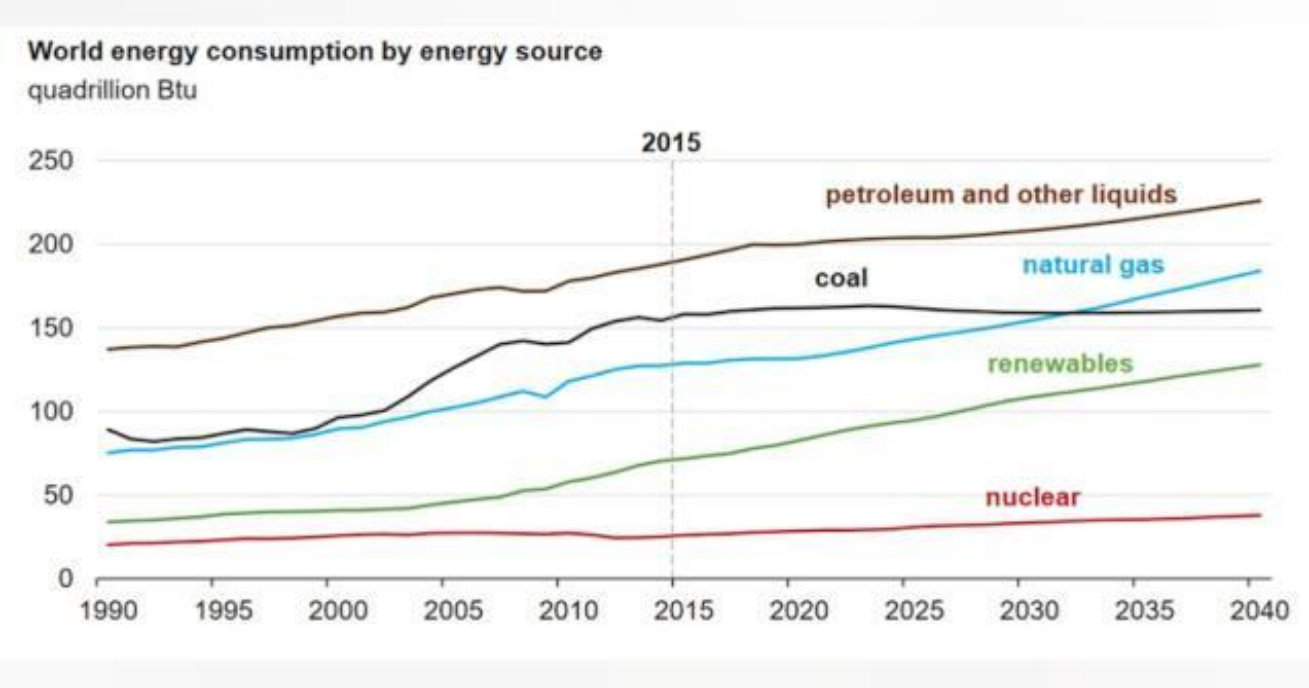


Figura 1: Evolução da energia consumida por tipos de fonte

A grande desvantagem destas fontes de energia é a sua dependência de fatores externos, sendo a sua produção de difícil controlo e previsão. De forma a não desperdiçar a energia produzida em excesso em dias de condições favoráveis que ultrapassam a procura, esta pode ser armazenada e depois utilizada quando necessário. Assim, tem-se observado um aumento na capacidade de armazenamento de energia, nas suas mais diversas formas.

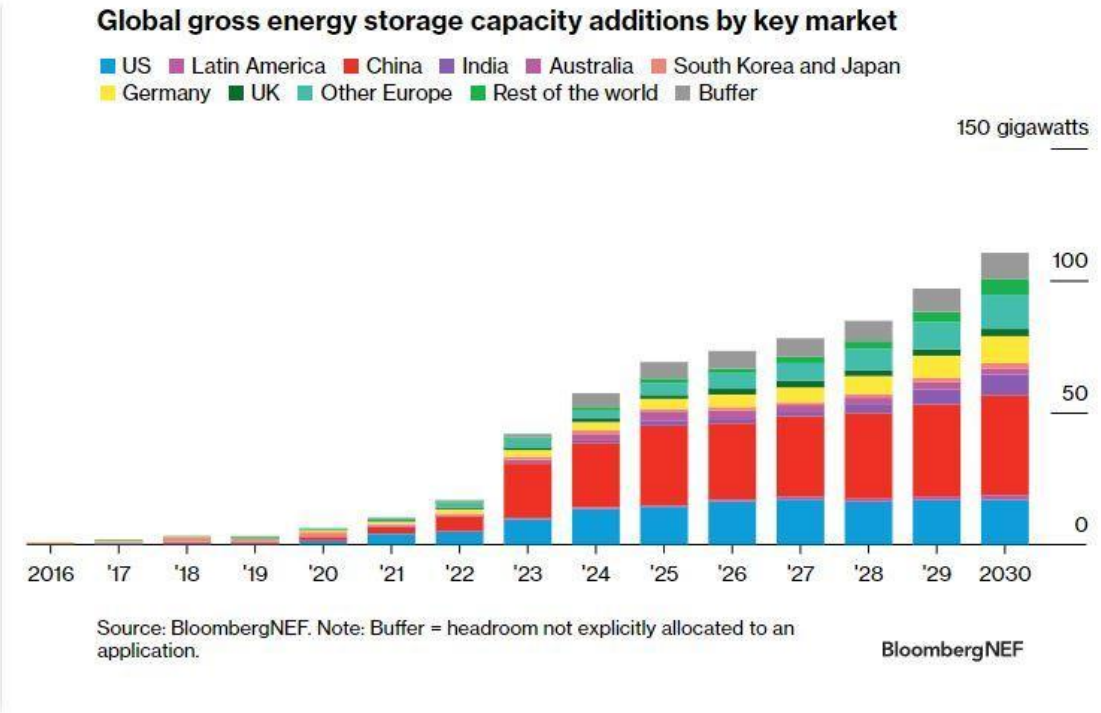


Figura 2: Evolução da capacidade de armazenamento por tipo

Entre as opções mais usadas encontram-se: o armazenamento mecânico com especial incidência na bombagem hidroelétrica, na qual água é transferida de um reservatório inferior (a jusante) para um a maior altitude (a montante), possibilitando a sua utilização num momento posterior; o armazenamento térmico, através da transição do estado líquido para sólido; a eletrólise de hidrogénio no qual é produzido hidrogénio gasoso armazenado nesse estado a alta pressão ou no estado líquido; ou, por fim, a energia pode ser armazenada por meio eletroquímico. De forma a coordenar o armazenamento e produção são utilizados algoritmos que decidem quando armazenar e quando fornecer a energia à rede. Um dos projetos em desenvolvimento para este fim está a ser desenvolvido pelo INESC TEC, o projeto InterSTORE, financiado pelo programa Horizonte Europa cujo objetivo é “reforçar a base científica e tecnológica da UE”.

Bombagem

A bombagem é um tipo de armazenamento que envolve a transferência de água presente num reservatório inferior para um reservatório superior durante períodos de baixa demanda energética, quando há um excedente de energia disponível. Posteriormente, quando a energia armazenada é necessária, dá-se a transferência da água de volta para o reservatório inferior, aproveitando a força da gravidade para acionar as turbinas existentes e, assim, gerar eletricidade.

A bombagem pode também ser usada estrategicamente de forma a gerar lucro, tirando partido dos preços variáveis da eletricidade ao longo do dia. De facto, é possível importar energia quando os

preços estão mais baixos, armazenando-a através da bombagem, e posteriormente utilizá-la em momentos em que o preço aumenta, como é feito em Portugal.

Este método de armazenamento tem a alcunha de “green batteries”, devido à sua ampla utilização em larga escala e pelo facto de utilizar um recurso renovável. Isto, aliado aos baixos custos operacionais, longa longevidade e a sua natureza controlável fazem com que seja a forma de armazenamento mais prevalente. Em 2020 representava 95% de toda a capacidade mundial de armazenamento, com um total de 181GW.

No entanto, é importante notar que haverá sempre perdas energéticas nos processos de armazenamento, não podendo ser utilizada a totalidade da energia que foi armazenada. Apesar disto, a eficiência deste meio de armazenamento é considerável, tipicamente superior a 75%, podendo mesmo ser superior a 85%. Em 2022, por exemplo, a eficiência foi de 77% em Portugal.

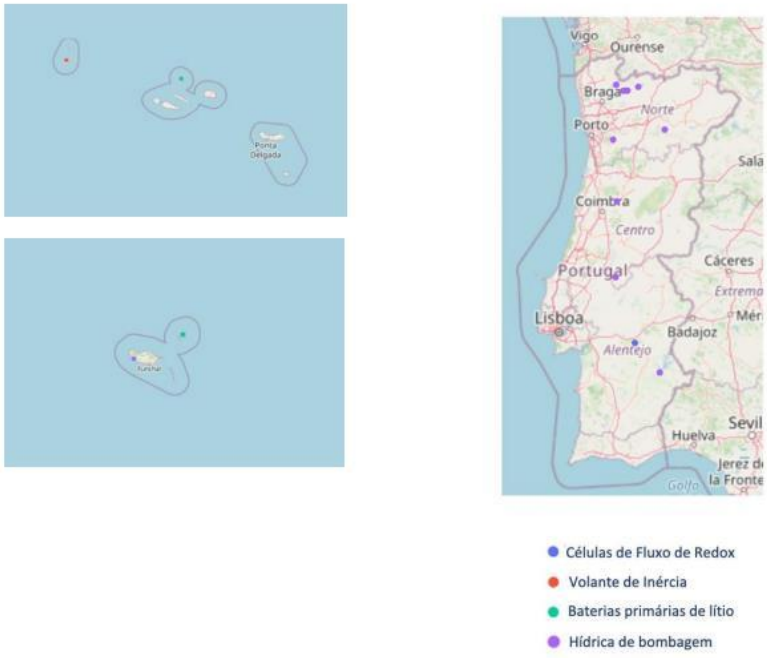


Figura 3 - Localização dos sistemas de armazenamento de energia existentes em Portugal (março 2020)

No caso do nosso país, o armazenamento por bombagem representa também o método mais utilizado, sendo o único método utilizado em larga escala. Em 2020 representava 99.8% da capacidade nacional de armazenamento, equivalente a 3.4GW. Está previsto um aumento desta potência em março deste ano, com a conclusão da barragem do Alto-Tâmega, passando para 4.164GW. Dar-se-á, assim, a conclusão do Complexo Hidroelétrico do Tâmega, constituído por três barragens e centrais hidroelétricas, sendo elas Alto Tâmega, Daivões e Gouvães.

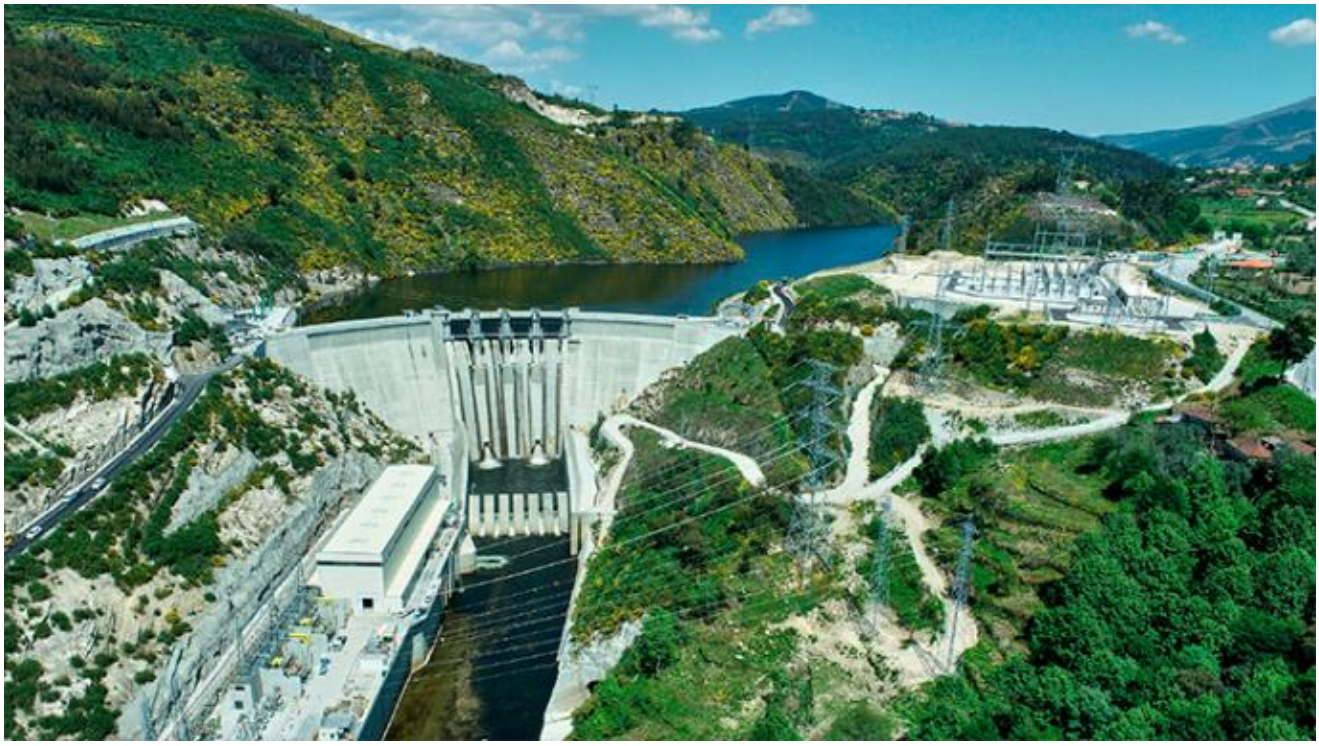


Figura 4: Complexo Hidroelétrico do Tâmega

A A construção destas novas centrais hidroelétricas, apesar de não serem justificadas no que toca à produção de energia, são essenciais para a estabilidade da rede elétrica, devido à presença crescente de energias solar e eólica sentida em Portugal.

De facto, embora persista ainda um potencial hídrico disponível para exploração, é importante notar que as melhores localizações para centrais hidroelétricas foram inicialmente aproveitadas. Devido a isto, os novos projetos enfrentam desafios significativos em termos de rentabilidade quando comparados com aqueles já em operação. Este contraste torna-se ainda mais evidente ao examinarmos dois anos emblemáticos do século XXI, ambos com um índice de hidraulicidade 33% acima da média anual: 2003 e 2016.

Em 2003, a hidroeletricidade gerada representou apenas 38% da capacidade instalada em bombagem hidroelétrica. Já em 2016, essa taxa de utilização diminuiu drasticamente para apenas 25%. Ou seja, entre 2003 e 2016, mesmo com um aumento significativo de 62% na capacidade hidroelétrica instalada, passando de 4.277 MW para 6.945 MW, observou-se um acréscimo de apenas 5% na produção de energia elétrica, que aumentou de 14.670 GWh para 15.413 GWh. Este cenário ressalta não apenas a falta de justificação em termos de energia produzida pelos novos projetos hidroelétricos, como a necessidade intrínseca para a gestão eficaz do sistema elétrico, particularmente diante da crescente influência da produção eólica.

Ao longo do período de 2003 a 2016, a energia proveniente da bombagem triplicou, sublinhando a crescente importância dessas instalações na otimização dos recursos naturais, incluindo vento e água.

Esta relevância é ainda mais enfatizada pelo aumento expressivo de 27% na produção de energia elétrica nas centrais de albufeira durante o mesmo período.

Baterias

Para o armazenamento eletroquímico de energia são mais frequentemente utilizadas baterias, células de fluxo redox e células de combustível. Este tipo de tecnologia é basilar nos planos de transição energética, em particular na UE, ocupando as baterias um lugar de destaque. As baterias eletroquímicas são as mais comuns e o seu funcionamento baseia-se na manipulação de cargas elétricas (positivas e negativas), armazenando, assim, a energia por meio químico. Estas são classificadas como primárias caso não sejam recarregáveis, sendo as mais comercializadas as baterias alcalinas à base de manganês e as de lítio; e secundárias no caso contrário, existindo, por exemplo, as de chumbo-ácido, níquel hidreto metálico, ião lítio e fluxo redox.

As primárias, comunamente designadas por pilhas, possuem uma elevada densidade de energia e boa capacidade de armazenamento pelo que são direcionadas a casos para os quais se requer estabilidade e durabilidade. Apesar das baterias primárias representarem 35% no mercado global de baterias, têm uma baixa procura para gestão ou armazenamento de energia elétrica devido ao facto de não serem recarregáveis.

Por outro lado, as baterias secundárias, que conseguem restaurar a sua composição por meio de uma força elétrica externa e, por isso, recarregáveis, têm uma maior expressão no mercado de armazenamento energético. As baterias deste tipo mais comuns são as de chumbo-ácido, as de ião lítio e as de níquel-hidreto metálico (Ni-MH). As baterias de chumbo-ácido possuem uma voltagem de cerca de 2V e um tempo de descarga superior a 10h, a sua energia específica toma valores entre 25-50 Wh/kg e a sua eficiência entre 50 a 90%. As baterias de níquel-hidreto metálico, por outro lado, vão perdendo capacidade com as cargas e descargas. A sua voltagem é inferior a 1,5V e as suas capacidades podem variar entre os 10mAh e os 250Ah, possuindo uma energia específica de 50-120 Wh/kg com uma eficiência de 60 a 90%. As baterias de ião lítio constituem uma família de baterias que divergem segundo o cátodo utilizado, sendo as mais utilizadas as baterias de óxido de cobalto e lítio (LCO), óxido de manganês e lítio (LMO), óxido de manganês, lítio e níquel (LMNO), fosfato de ferro e lítio (LFPO), titanato de lítio (LTO) e óxido de alumínio, cobalto e lítio (LCAO). A voltagem deste tipo de baterias encontra-se entre os 3,5 e os 4V, a sua energia específica entre 100-300 Wh/kg e a sua eficiência entre 80-95%.

Atualmente, as baterias secundárias com maior quota de mercado são as de chumbo-ácido (80-90%), seguidas das de lítio com um crescimento acelerado pelo desenvolvimento do mercado de eletrónica portátil e de veículos elétricos. A alta quota das de chumbo-ácido deve-se sobretudo ao mercado automóvel. Nos últimos 5 anos apenas 5% da capacidade instalada (superior a 90GW) foi utilizada para armazenamento. Apesar do chumbo ser tóxico, estas baterias são facilmente recicláveis, sendo a maioria do chumbo em circulação proveniente de sistemas reciclados.

As baterias de níquel-hidreto metálico (fig. 5) têm como principal aplicação a eletrónica de pequena dimensão e veículos híbridos elétricos. Em fim de vida, para além de recicladas, uma pequena parte (com tendência a diminuir) tem sido utilizada no armazenamento estacionário de energia.

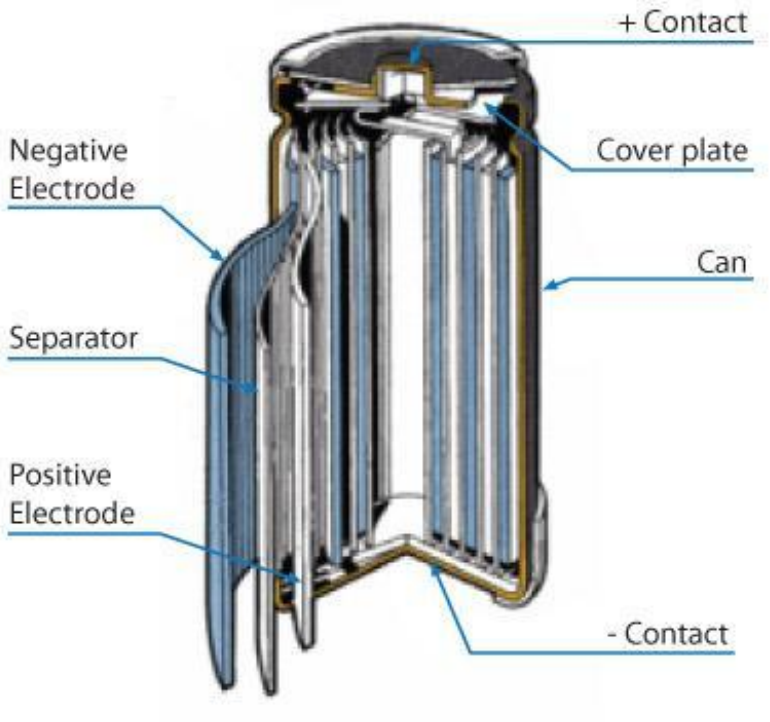


Figura 5: Interior de uma pilha Ni-MH

As baterias de ião lítio (fig. 6) têm o seu maior número e valor no mercado da eletrónica portátil (telemóveis, computadores portáteis e similares) e também no mercado dos veículos elétricos que se tem expandido rapidamente. Para além disso, este tipo de baterias tem estado a ser considerado para o armazenamento de energia renovável (7% da capacidade instalada, enquanto 60% desta corresponde ao mercado automóvel). Com a redução de custos destas baterias estima-se que a capacidade instalada passe dos 1GW, atualmente, para 11GW, existindo um grande interesse na aplicação destas baterias em segunda vida para aplicações estacionárias, destacando-se em Portugal o projeto 2Life. De modo a promover a independência da Europa em relação a baterias foi criada em 2017 a EBA - Aliança Europeia de Baterias, estimando-se um investimento de 2,3 mil milhões de euros da UE para projetos de investigação com baterias de ião lítio. Devido às suas reservas naturais de lítio, Portugal está a ser considerado como um dos seus maiores produtores.

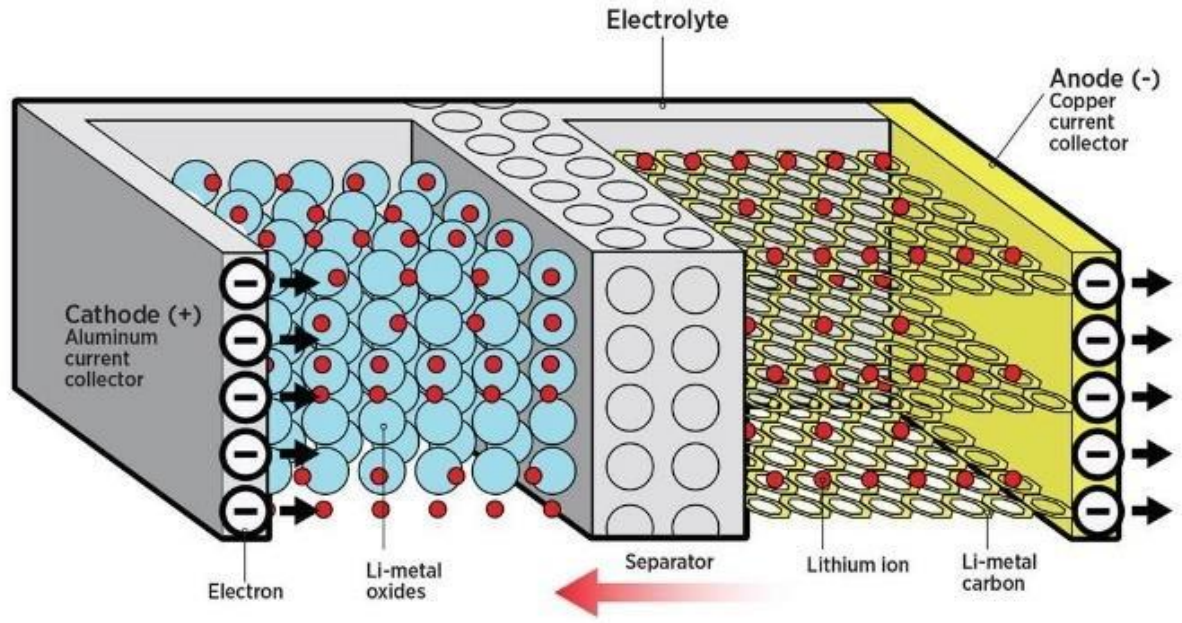


Figura 6: Representação do funcionamento de uma bateria de iões de lítio, notando que o cátodo varia entre os vários tipos de pilhas

As baterias de fluxo redox (fig. 7) são baterias secundárias que utilizam reações de oxidação e redução para armazenar energia, sendo a única opção viável a de vanádio. Estas baterias possuem uma boa densidade de energia, são fiáveis e podem ser recarregadas milhares de vezes, possuindo, por isso, tempos de vida muito longos e baixos custos de operação. Quando paradas durante um longo período não envelhecem de forma significativa e não são afetadas por problemas de descarga. Os componentes destas baterias podem ser reutilizados na sua totalidade após a sua vida útil que se estima ser superior a 20 anos, tornando-as muito competitivas no balanço entre investimento e longevidade. Este tipo de baterias torna-se atrativo para o armazenamento estacionário de energia, especialmente a fotovoltaica de aplicação residencial que requer tempos de armazenamento de algumas horas, ou podem ser utilizadas em paralelo em aplicações estacionárias de armazenamento durante períodos de pico de produção. Globalmente foi atingida uma instalação de cerca de 70MW potência e de energia 250MWh.

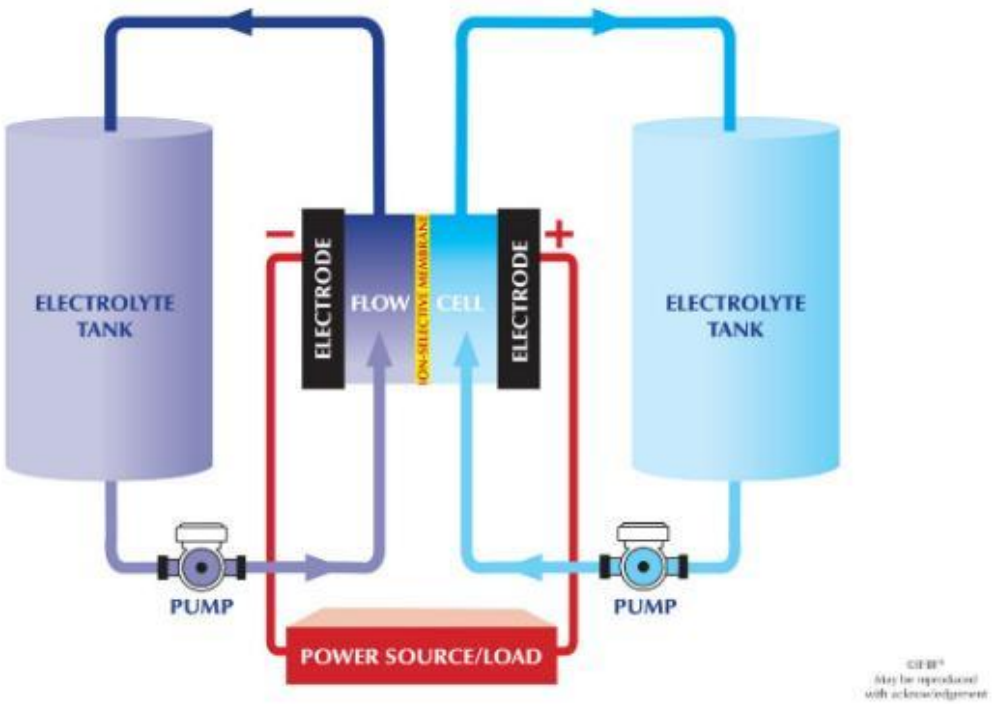


Figura 7: Esquema representativo de uma bateria de fluxo

As células de combustível, cujo conjunto é designado por pilha de combustível, pode ser alimentado no ânodo por hidrogénio, tendo como principal produto final a água, o que as torna atrativas e amigas do ambiente, já que não emitem gases poluentes e a maioria dos seus componentes é reciclável. Com o crescente interesse em hidrogénio renovável, esta tecnologia tem vindo a ser mais intensivamente explorada. Estas baterias possuem uma eficiência de cerca de 50% e tempo de vida de apenas alguns anos. A nível europeu não são muito utilizadas em aplicações estacionárias, mas a nível de gestão de energia pode constituir sistemas de potência entre 100 e 250 kW, enquanto a nível residencial permitem potências entre 2 e 10 kW.

Em Portugal existem apenas 4 instalações de baterias para armazenamento de energia (fig. 3): em Évora são utilizadas baterias de iões de lítio de 500kW de potência e energia de 350kWh, na ilha do Porto Santo, também de iões de lítio mas com 4MW de potência e 3MWh de energia, enquanto são utilizadas baterias de titanato de lítio na Graciosa, Açores, com 7,4MW e 2,5MWh. A 13 de março do ano passado foi inaugurado um sistema BESS (battery energy storage system) que utiliza baterias de iões de lítio LFPO com uma potência instalada de 15MW e capacidade de armazenamento de 10,5MWh na ilha Terceira, nos Açores (fig. 8).



Figura 8: Complexo de armazenamento de baterias de ião lítio instalado na ilha Terceira (15MW; 10,5MWh)

Hidrogénio

O hidrogénio é um composto químico com uma variedade de utilidades para o funcionamento da nossa sociedade. Atualmente a produção mundial de hidrogénio é de cerca de 115 Mton/ano, sendo 48% produzido a partir da reforma do vapor de gás natural, 30% por fracionamento de petróleo, 18% por gasificação de carvão e 4% por eletrólise. Analisando esta distribuição de percentagens, observamos que grande parte do hidrogénio gerado é tudo menos verde. Cerca de 95% do hidrogénio é produzido com recurso a combustíveis fósseis o que representa uma emissão de 830 milhões de toneladas de CO2 por ano.

Parte deste hidrogénio é utilizado para produção de energia, porém a eficiência deste processo é muito baixa, cerca de 30%, o que o torna uma fonte de energia muito pouco apelativa tanto em termos económicos como em termos ambientais. No entanto, o hidrogénio apresenta-se como uma ótima forma de armazenamento químico de energia. Neste momento o hidrogénio pode ser convertido e armazenado de variadas formas, como está sintetizado na figura 9. A partir do hidrogénio podemos proceder à produção de combustíveis sintéticos a partir de captura de emissões de carbono. Estes combustíveis acabam por gerar emissões de CO2. Porém, permitem uma redução das emissões líquidas de gases de efeito estufa, tendo uma eficiência global de re-eletrificação na ordem dos 35-40%. Uma outra forma de produzir energia a partir do armazenamento de hidrogénio é utilizar fontes renováveis como a solar e/ou a eólica de modo a produzir energia que posteriormente é

utilizada no processo de eletrólise da água, obtendo hidrogénio e oxigénio. Com o hidrogénio produzido, fazemo-lo passar por células de combustível ou por turbinas de gás, obtendo uma eficiência global de cerca de 35-45%, sem qualquer tipo significativo de emissões poluentes.

É esta última utilização do hidrogénio que nos últimos anos tem sido mais explorada, isto devido à sua grande afinidade para trabalhar em associação com fontes renováveis de energia. Uma vez que o padrão de produção energética é muito errático, acaba por ser produzida mais energia do que a rede aguenta, tendo de se desperdiçar esses excessos ou, se possível, vendê-los mais baratos (o período de produção das renováveis ocorre durante o dia, altura em que o preço de mercado é mais baixo). Contudo, se utilizarmos essa energia sobrante para produzir hidrogénio por eletrólise e armazenarmos este, podemos utilizá-lo mais tarde para produzir energia fora do período de produção das renováveis.

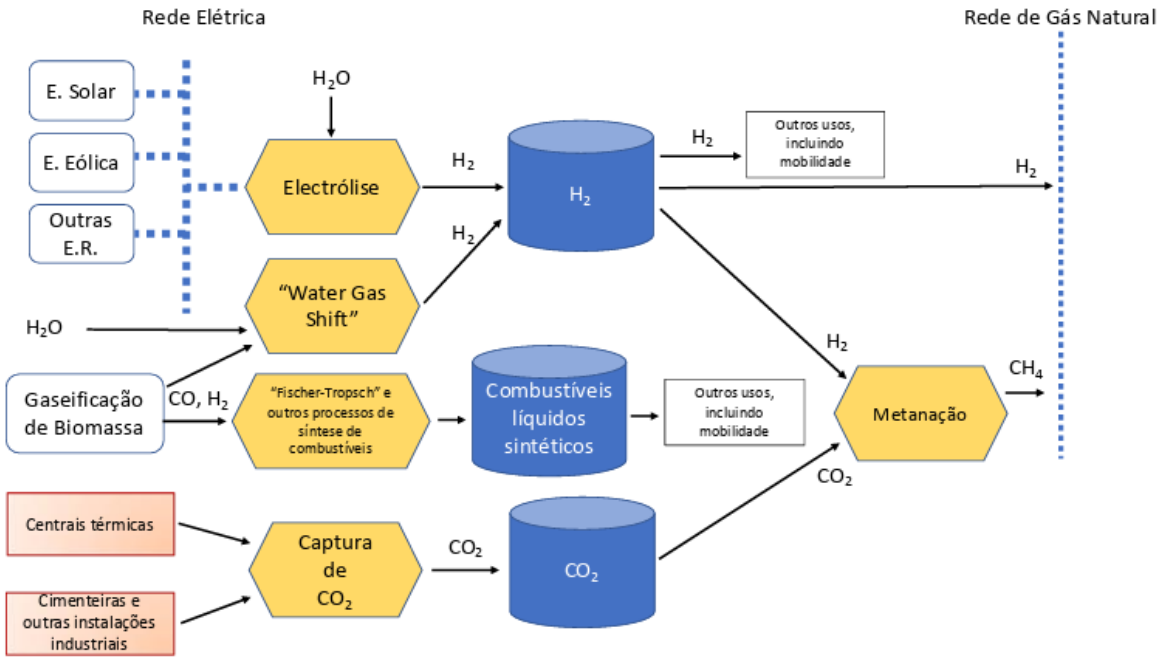


Figura 9: Representação do sistema de armazenamento químico associado a energias renováveis

Apesar de atualmente Portugal não produzir quantidades significativas de hidrogénio verde, no futuro Portugal planeia tornar esta fonte energética relevante. Em setembro de 2023, Portugal Galp Energia adoptou a decisão final do investimento na construção, em Sines, de uma unidade de hidrogénio verde com a capacidade de 100 MW de eletrólise que produzirá até 15 MW. O investimento total ascende a 250 milhões de euros, sendo que a empresa anunciou ainda outro investimento de 400 milhões de euros numa unidade de biocombustíveis avançados no mesmo local. Em termos globais e no longo prazo, a petrolífera portuguesa admite explorar até 700 MW de eletrólise em Sines.

Conclusão

Para uma transição energética eficiente, no cenário português torna-se imperativo a gestão da bombagem hidroelétrica, a forma claramente dominante de armazenamento no país. A potencialidade é enorme, e se explorada com vista ao aproveitamento máximo, permite uma diminuição de recursos que outras formas de armazenamento iriam necessitar. Já com estes melhoramentos planeados, a expansão da capacidade de armazenamento de energia poderá ser realizada apoiando-se nos outros meios referidos, nomeadamente baterias e hidrogénio, cujas características específicas as favorecem em diferentes cenários, sendo uma mais-valia num panorama de seca que poderá restringir o funcionamento da bombagem. No entanto, deve-se salientar que a gestão da produção de energia e o seu controlo no impacto de mercado não se pode fazer unicamente recorrendo a armazenamento. A utilização de fontes de energia que não são dependentes de fatores externos, como as condições climatéricas, promove a estabilidade da rede. Em Portugal, isto é feito principalmente com recurso ao gás natural, no entanto, uma alternativa, muito utilizada em outros países da EU, é a energia nuclear. Recentemente foi reconhecida como fonte renovável pelo que se espera um aumento no seu financiamento.

Referências

[1] https://www.observatoriodaenergia.pt/wp-content/uploads/2021/03/ESTUDO-ARMAZENAMENTO-DE-ENERGIA_Texto_Final_revisto-OBS-v2.pdf

[2]https://www.edp.com/pt-pt/innovation/sistema-de-armazenamento-de-energia-por-baterias-0

[3]https://www.eda.pt/Mediateca/Publicacoes/Lists/EDAINFORMA/Attachments/165/EDAINFORMA_172_OUT_2020.pdf