

PERSPETIVAS SOBRE MATERIAIS E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

LUÍS GIL

Investigador Principal Habilitado da Direção Geral de Energia e Geologia

Vice-Presidente do Centro da Biomassa para a Energia

Membro Conselheiro e Especialista em Energia pela Ordem dos Engenheiros

RESUMO

Neste artigo é feita uma análise perspectivista da relação e evolução do conhecimento e interação dos materiais com a transição energética. Esta análise e as perspectivas apresentadas, são considerações de carácter pessoal, baseadas em informação disponível, que não implicam nem definem as posições das instituições representadas pelo autor.

MATERIAIS E TRANSIÇÃO ENERGÉTICA

Estamos numa fase de transição de paradigma energético, disso já ninguém tem dúvida. E a transição energética será apenas sustentável se o uso dos materiais envolvidos for tomado em linha de conta. A energia e os materiais são atualmente dois dos principais focos da Ciência e da Tecnologia nomeadamente devido a preocupações ambientais e de fornecimento, mas também de desempenho em novas aplicações.

Uma das primeiras referências a assinalar neste domínio é um trabalho anteriormente publicado (1) que faz um breve resumo das propostas relacionadas com os materiais para a energia no âmbito de um importante documento, divulgado em junho de 2022, o Materials 2030 Roadmap – draft (2). Este último documento define as principais áreas de investigação a desenvolver no tema geral dos materiais, definindo várias como prioritárias, das quais, mais especificamente no domínio da energia, se podem destacar as que se seguem (de entre os 9 mercados de inovação em materiais (MIM) identificados), sendo também referenciado o resumo das prioridades identificadas para cada um destes MIM é também apresentado a seguir:

MIM2 - Materiais para o mercado da construção sustentável

- Materiais para maior eficiência energética
- Materiais com e para uma maior

sustentabilidade e circularidade

- Materiais com melhor pegada de carbono a nível de produto e de vida útil
- Materiais com novas funcionalidades / “Smart materials”

MIM 3 - Materiais para o mercado das novas energias

- Materiais avançados para tecnologias de produção de energia renováveis e de baixa emissão de GEEs (Gases de Efeito de Estufa)
- Materiais avançados para armazenamento de energia
- Materiais avançados para transformação sustentável de processos industriais de energia intensiva

MIM 4 - Materiais para o mercado do transporte sustentável

- Materiais para veículos de emissão zero
- Materiais para baterias de estado sólido para veículos elétricos a bateria
- Materiais para sistemas de células de combustível de hidrogénio de custo competitivo para veículos a pilha de combustível e combustão direta de hidrogénio ou outros vetores energéticos renováveis para transporte aéreo e marítimo
- Materiais para motores elétricos
- Diminuição de peso para veículos e aviões mais eficientes
- Materiais para equipamento eletrónico e dispositivos inteligentes para eletrificação, conectividade e controlo

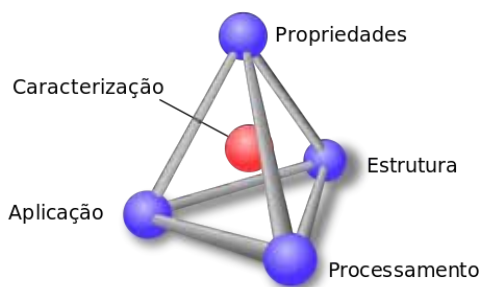


Fig. 1 - Tetraedro de ciência de materiais
(Materials_science_tetrahedron;structure,_
processing,_performance,_and_properties.svg;
Dhatfieldderivative work: Cyberpunk, Public domain,
através da wiki Wikimedia Commons)

Deste modo, algumas análises e considerações assim como linhas de atuação relacionadas com o binómio materiais-energia, tendo a situação europeia como referência e baseadas em (2), são em seguida expressas:

- necessidade de fomentar a utilização de poucos recursos, aumento da eficiência energética e descarbonização do processamento dos materiais em geral, envolvendo, naturalmente, o uso de materiais renováveis, o aumento da durabilidade dos materiais e a circularidade da sua utilização, para além de conceitos como zero-defeitos e otimização de processos;
- sendo que uma percentagem assinalável do consumo total de energia é gasta na fricção, uma fração dessa energia pode ser poupada através da aplicação de novos materiais avançados de fricção e de proteção do desgaste e ainda de novos lubrificantes, com importantes ganhos no uso global de energia (ex. nos transportes, nos aerogeradores);
- a Europa tem sido pioneira no desenvolvimento de materiais para as energias renováveis, mas em alguns casos (por exemplo no fotovoltaico), a China domina o processamento desses materiais, pelo que esta tendência deve ser revertida, pelo menos parcialmente, para reduzir o impacto na logística e aumentar a resiliência e o emprego na UE;
- o documento 2022 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sublinha que uma redução absoluta de 25-75% no uso de matérias-primas é indispensável para se atingirem as metas devidas às alterações climáticas, pelo que este deve ser um fator a considerar na produção dos materiais;
- sendo que 97% dos edifícios existentes na UE não são considerados como energeticamente eficientes e que se prevê que 75-85 % deste parque edificado esteja ainda a ser utilizado em 2050, terá que haver uma taxa de renovação acentuada para se conseguir um rápido crescimento na substituição dos ineficientes edifícios carbono-intensivos;
- para isso serão necessárias isolamentos avançados (pe. com materiais de mudança de fase ou aerogéis), iluminação inteligente, janelas inteligentes, estruturas de betão maciço energeticamente eficientes etc.; também importantes serão os materiais para armazenamento de energia, os novos materiais de origem local, materiais avançados para novos sistemas de iluminação, betão de baixo carbono e tecnologias que permitam o prolongamento da vida útil dos materiais de construção e ainda materiais para infraestruturas de produção de energia renovável;
- a título de exemplo: a capacidade prevista de produção de hidrogénio verde na UE é de cerca de 11GW em 2030; o custo do conjunto eletrolítico corresponde a cerca de 45% do custo de capital de um eletrolisador e cerca de 50% do custo desse conjunto eletrolítico é devido aos materiais ativos; pode assim depreender-se a importância económica do fator material neste domínio;
- outro exemplo: na produção de energia eólica, o aerogerador representa mais de 60% do investimento total, sendo o custo do material de mais de 20%, sublinhando-se, mais uma vez a importância da componente material; os desenvolvimentos no domínio dos materiais relacionados (cobre, fibra de vidro e ferro) podem representar até 30% da redução de custos(3); neste caso para além dos aspetos relacionados com a fricção, o desenvolvimento de revestimentos antigelo, o aumento de escala da produção de compósitos e o aumento da resistência à corrosão de componentes nomeadamente em aplicações offshore, assim como o uso de novas composições de terras raras nos magnetos permanentes são absolutamente essenciais;
- na utilização do biometano, contaminantes tais como o siloxano, a corrosão e a resistência à alta temperatura dos queimadores são desafios-chave para os materiais neste mercado; no caso da mistura do hidrogénio com o gás natural, tão necessária à descarbonização do setor

- energético, o problema, por exemplo, de fragilização dos metais tem que ser tomado em linha de conta;
- em 2030 está previsto um mercado global cumulativo de mobilidade a bateria (UE corresponde a cerca de 30%) que corresponde um mercado global de cerca de 230 mil milhões €, do qual ~70% será dedicado a materiais avançados;
- o domínio das células de combustível está em desenvolvimento também no campo da mobilidade, havendo desafios a nível dos materiais: revestimentos energeticamente eficientes, redução do uso de materiais críticos e/ou preciosos, aumento do tempo de vida útil das pilhas de combustível, redução do fenómeno de fragilização provocado pelo hidrogénio, melhoria do desempenho a nível da corrosão e envelhecimento, juntas e vedantes avançados;
- estando a eletrificação da mobilidade associada ao uso de motores elétricos, são necessários novos magnetos permanentes (ex. reciclados, com baixo teor de terras raras...), havendo também oportunidades para materiais avançados e para o fabrico aditivo de componentes magnéticos macios;
- a redução do peso dos materiais também pode desempenhar um papel assinalável para a descarbonização da mobilidade, nomeadamente no transporte terrestre e aéreo;
- os novos sistemas de propulsão aeronáutica a ser desenvolvidos (ex. híbrido-elétrico e com base em hidrogénio) terão necessidade de novos materiais e processos de produção que ultrapassam a tecnologia existente, nomeadamente devido a temperaturas criogénicas e muito altas.



Fig. – Logotipo do IPCC (Wikimedia Commons).

Os materiais necessários para uma energia de baixo carbono podem ser encontrados no EMIRI Roadmap (1)(2) (4) em que as prioridades são divididas nas 3 áreas seguintes, cuja descrição mais pormenorizada pode ser consultada em (a):

- Materiais avançados para tecnologias energéticas de baixa emissão de GEEs (solar fotovoltaico, CSP, eólica,

bioenergia, geotérmica...);

- Materiais avançados para armazenamento de energia para facilitar a integração das energias renováveis;
- Materiais avançados para a transformação sustentável de processos industriais intensivos em energia.

A Energy Materials Industrial Research Initiative (EMIRI), uma iniciativa e associação pan-europeia que trabalha para o futuro dos materiais avançados para uma energia de baixo carbono identificou em 2016 os seguintes números-chave, a ter em mente (5):

- >4 mil milhões € de venda de materiais avançados para a energia;
- >400 milhões € de investimentos em pesquisa e inovação em materiais avançados para a energia;
- >20 000 empregos diretos na produção de materiais avançados para a energia;
- >4000 investigadores envolvidos em pesquisa e inovação em materiais avançados para a energia.

A Comissão Europeia, através da sua Direção Geral de Investigação e Inovação, preparou uma publicação (6) intitulada *"100 Radical Innovation Breakthroughs for the future"*. Neste trabalho foi efetuada uma extensa pesquisa automatizada via algoritmos da literatura científica e técnica recente, incluindo patentes, "filtrada" por painéis de peritos, pesquisa essa que foi combinada com uma revisão de importantes projetos de prospetiva a nível mundial. Dessa seleção global que foi dividida por grandes áreas, pode fazer-se uma seleção das tecnologias, materiais e produtos no âmbito dos "materiais & energias renováveis, de baixo carbono e/ou não carbónicas" de algum modo relacionados, que podem promover uma transição radical a esse nível. Os resultados podem ser avaliados em relação ao seu impacto futuro a nível de criação de valor global e em termos de maturidade corrente, potencial de difusão a longo prazo e capacidade de investigação e inovação a nível europeu. Os materiais/tecnologias apresentados possuem diferentes graus de maturidade, mas na análise efetuada em (6), foram considerados como tendo potencialidade no futuro. São apontadas algumas áreas de avanço/inovação disruptivas, como a impressão 4D, materiais inteligentes programáveis que podem alterar a sua configuração geométrica de forma controlada, reversível ou irreversível, metamateriais, autorreparação

de materiais, pós nanogalvânicos de alumínio para a produção de hidrogénio, nanocristais para armazenamento de energia e materiais para termoelectricidade. Muitas destas tecnologias estão relacionadas com pequenas produções de energia (microgeração), de forma descentralizada e autónoma, mas que permitem uma alargada e multifacetada utilização, contribuindo para uma menor pressão sobre a rede e para uma sociedade de baixo carbono.

De modo a corresponder à procura crescente de energia sustentável, são necessários sistemas de armazenamento de energia com maiores densidades energéticas, sendo este um campo fundamental da investigação em desenvolvimento, que se alarga também aos materiais piezoelétricos. Novos dispositivos de produção e armazenamento de energia, como os supercondensadores, têm sido uma importante área de pesquisa devido à sua rapidez de carga/descarga, elevada densidade energética e vida longa. Também a pesquisa relacionada com as melhorias de desempenho das perovskites, uma nova classe de materiais, que tem emergido como uma alternativa promissora ao silício para as células fotovoltaicas, e da utilização de materiais à escala nanométrica tem prosseguido intensamente. O mesmo se passa com a procura de alternativas às baterias de ião de lítio. Novos materiais associados a novas ou melhoradas vias de produção de hidrogénio como vetor energético, têm sido também preocupação dos investigadores. O grafeno, devido à sua boa condutividade elétrica, elevada área superficial e excelente estabilidade, tem tido também destaque nos estudos relacionados com os materiais para fins energéticos.

Sabemos que alguma indústria ligada à produção de materiais é consumidora de calor de alta temperatura e tem vindo a enfrentar problemas graves devido ao aumento do custo do gás natural e outros combustíveis (ex. cerâmicas). Para estas indústrias uma possível solução seria a da utilização do calor de processo de alta temperatura baseada em tecnologia solar de concentração, podendo aqui referir-se como exemplo da aplicação desta tecnologia a produção de cimento com energia solar (Synhelion), o designado clínquer solar ($T > 1500^{\circ}\text{C}$) (7).

É considerado que uma das formas mais evidentes para a mudança do paradigma energético é a eletrificação da economia

baseada na produção de energia por via renovável. O caso da mobilidade é apenas um, mas importante, exemplo deste facto. A eletromobilidade requer uma variedade de matérias-primas, nomeadamente metais e terras raras, algumas das quais apenas disponíveis em quantidades limitadas (8). Por isso é absolutamente necessário desenvolver tecnologias que se baseiem em novos materiais que não sejam críticos. Esta deve ser, sem dúvida alguma, uma prioridade.



Fig. – Exemplo de eletromobilidade (Julian Herzog, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>>, via Wikimedia Commons)

Existem vários tipos de bateria, sendo as mais conhecidas as de ião de lítio. Tendo em vista obviar as grandes quantidades de lítio necessárias e alguns problemas de segurança, autonomia, carregamento e fiabilidade deste tipo de baterias, foram desenvolvidas baterias com eletrólitos sólidos à base de sódio, elemento muito mais comum e barato. Estas novas baterias apresentam maior segurança, são mais baratas, tem maior fiabilidade e carregam muito mais rapidamente. Além disso, poderão permitir que não sejam necessários tantos carregadores para veículos dado que um carregador pode abastecer mais viaturas por unidade de tempo, com a poupança de materiais associada.

Apenas a título de exemplo, saliente-se que um carro elétrico típico incorpora cerca de 8-9 kg de lítio, que é utilizado nas baterias. Mas este não é a única matéria-prima importante para a eletromobilidade. Os motores síncronos de íman permanente contêm vários metais da família das terras raras, que estão na lista das matérias-primas críticas da Comissão Europeia. Um BEV (Battery Electric Vehicle) usa 2-3 kg apenas de neodímio (terra rara). São necessários cerca de 70 kg de cobre para um veículo destes, cerca de três vezes o que é necessário para um veículo com motor de combustão. Com o cobalto essa diferença é ainda mais acentuada. Para além do cobalto, são também usados níquel, manganês, grafite e terras raras. E

estimava-se, há poucos anos, que em 2040 o parque automóvel para a UE-27 mais UK viesse a atingir 312 milhões de viaturas (9). Assim, outro importante aspeto a ter em mente e que é absolutamente fundamental nestes tempos tão geoestrategicamente conturbados, tem a ver com o fornecimento das matérias-primas necessárias para a produção dos materiais tão necessários a transformação tecnológica associada à transição energética. Esta última requer, assim, por exemplo, quantidades substanciais de materiais minerais críticos (ex. cobalto, manganês, terras raras), cujo mercado se prevê que cresça várias vezes nos próximos anos, sendo imperativo diminuir a dependência da UE destes materiais, pelo que os conceitos de reutilização e reciclagem (com oportunidades assinaláveis numa perspetiva de urban mining e de economia circular), assim como os do prolongamento de tempo de vida útil, terão muita importância.

De referir ainda que existem algumas tecnologias de produção de energia renovável que não dependem ou dependem muito pouco destes materiais críticos, dando apenas como por exemplo o CSP (Concentrated Solar Power), sendo a aposta nestas estratégica.



Fig. – World Mining map (2009).
(KVDP, Public domain, via Wikimedia Commons)

Relativamente à reciclagem de alguns componentes de sistemas/equipamentos usados na produção de eletricidade de origem eólica ou solar fotovoltaica, que se impõe com o fim de vida crescente dos sistemas e equipamentos que foram instalados nos anos 80 e 90, de forma a conseguir uma solução sustentável e circular adequada, deixam-se aqui as seguintes referências (9)(10), para uma consulta mais pormenorizada.

Há que evitar a dependência de recursos e tecnologia de terceiros. Por exemplo, com a guerra na Ucrânia ficou exposta a dependência europeia do fornecimento de alguns metais da Rússia. Por isso, serão necessários a diversificação e o uso de materiais secundários, e desenvolver tecnologias que recorram preferencialmente a materiais “democráticos”, ou seja, abundantes e não

concentrados geograficamente.

Citemos alguns exemplos do aqui afirmado. Prevê-se que as reservas mundiais de lítio sejam suficientes, mas este provém sobretudo do Chile, Austrália, Argentina e China (Portugal também tem reservas). No entanto, prevê-se que a sua procura aumente cerca de 4 vezes até 2030. No que se refere ao cobalto, cerca de metade provém do Congo, onde a sua exploração mineira é problemática e prevê-se que as suas reservas durem apenas onze anos. O níquel é outro problema, pois a Rússia é um dos maiores exportadores deste metal. O praseodímio e disprósio (terras raras) usados nos magnetos permanentes dos motores elétricos têm origem quase exclusivamente na China que tem as maiores reservas e produção de materiais processados, sendo este país também responsável pelo fornecimento de cerca de 70% da grafite, outro material crítico, utilizado como suporte condutor de eletrodos de baterias. Assim, podemos estar a passar de um paradigma de dependência dos países produtores de gás e de petróleo, para outro em que somos dependentes dos donos das reservas de matérias-primas críticas (8).

Existe também a perspetiva de que a reciclagem venha a fornecer grande parte das matérias-primas necessárias para produzir materiais para fins energéticos. Mas, deve ter-se em mente que é muito complexa a reciclagem de produtos nos quais pequenas quantidades de vários metais estão presentes, próximos uns dos outros, ligados em revestimentos ou coberturas, ou presentes como ligas. Temos aqui mais um campo que deve ter a atenção focada dos cientistas e especialistas neste domínio.

CONCLUSÕES

É de salientar que a transição energética também inclui a transição para uma redução no uso dos materiais, reduzindo o impacto negativo das indústrias intensivas em energia e dando segurança no que se refere ao fornecimento desses materiais. A produção de energia por via renovável é mais democrática e barata, mas há outro nível de dependência e de perspetiva de custos acrescidos.

Assegurar um fornecimento suficiente de matérias-primas/materiais que vá de encontro à procura, é uma necessidade económica, mas que está também

relacionada com o modo de vida e o bem-estar das populações. Os aspetos logísticos e geoestratégicos associados ao fornecimento das matérias-primas necessárias para os materiais usados nas tecnologias energéticas do presente e do futuro, são um aspeto crucial na orientação da pesquisa de materiais que não padeçam de alguns dos problemas que foram abordados.

Existem e estão a ser desenvolvidos enormes avanços a nível dos materiais para a energia. Este trata-se, sem dúvida, de um campo dos mais dinâmicos a nível de I&D e de inovação, até porque nos encontramos agora numa altura de mudança de paradigma energético. Os contributos têm chegado dos mais variados grupos de investigação, frequentemente através da colaboração de vários destes grupos. Muitos dos trabalhos estão ainda numa fase inicial da investigação, sendo necessário um maior aprofundamento para a passagem à fase de aplicação industrial. Porém outros estão já próximos e os prazos para este “salto” têm sido encurtados face à premência dos temas.

Na Europa existem fortes capacidades industriais a nível dos materiais avançados para a energia, existindo um número importante de stakeholders no campo industrial e da investigação, que podem e devem ser “utilizados”. A SPM, integra nos seus associados especialistas que poderão dar um contributo assinalável neste domínio.

A SPM tem diversas iniciativas no seu domínio de atuação estando dividida em diversas Divisões, entre as quais a Divisão de Materiais e Energia. Uma das atividades desta Divisão é a de gerir uma rede de informação denominada REMATE – REde de MATeriais e Energia, que coleta a mais recente informação científica e tecnológica relacionada com o binómio Materiais-Energia e a divulga pelos seus associados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) L. Gil, “Os materiais para a energia no Materials 2030 Roadmap”, Renováveis Magazine, Nº51, 3º trim. 2022, p.30-33.
- (2) Materials 2030 Roadmap; <https://prod5.assets-cdn.io/event/7788/assets/8344205751-b86a937e20.pdf>
- (3) Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers; A. Elia, M. Taylor, B. Ó Gallachóir, F. Rogan; Energy Policy 147, 111912 (2020).
- (4) Advanced materials for clean and sustainable energy and mobility – EMIRI key R&I priorities, september 2019; <https://emiri.eu/wp-content/uploads/2021/07/EMIRI-Technology-Roadmap-September-2019-cond-1.pdf>
- (5) F. Stassin, Input by EMIRI on Action 4 of Integrated SET Plan, European Union Steering Group for SETs, Brussels, 2016.
- (6) Warnke P. et al., 100 Radical Innovation Breakthroughs for the Future, European Commission - Directorate-General for Research and Innovation, Luxembourg, 2019.
- (7) <https://www.cemex.com/-/cemex-and-synhelion-achieve-breakthrough-in-cement-production-with-solar-energy>
- (8) <https://executivedigest.sapo.pt/havera-materias-primas-suficientes-para-a-mudanca-de-paradigma-energetico/>
- (9) L. Gil, C. Nogueira, “Reciclagem de componentes de sistemas de produção de eletricidade de origem eólica ou solar”, Renováveis Magazine, Nº 41, 1º trim. 2020, p. 26-30.
- (10) L. Gil, J. Isidro, “O fim de vida dos módulos fotovoltaicos”, Renováveis Magazine, Nº 39, 2019, p. 36-40.