

MATERIAIS PARA AS TECNOLOGIAS DA ENERGIA: DESAFIOS E O PAPEL DA RECICLAGEM

A indústria da energia, nomeadamente as tecnologias renováveis e de baixo carbono, necessita de matérias-primas, algumas raras e mesmo consideradas críticas, para produzir os materiais de que necessita para o seu desenvolvimento. Muitos desses materiais são escassos na Europa, colocando-a numa posição de grande dependência e fragilidade. A utilização dos resíduos como fontes secundárias dessas matérias-primas é uma das medidas essenciais para enfrentar este desafio. Neste artigo discute-se este tema relevante, descrevendo-se algumas tecnologias e os materiais que utilizam, e apresentam-se algumas medidas que devem ser implementadas para fazer face a este problema.

1. MATÉRIAS-PRIMAS CRÍTICAS E OS RISCOS DE FORNECIMENTO

O consumo global de matérias-primas teve, nas últimas décadas, uma alteração qualitativa substancial. Com relativa rapidez passou-se da economia do aço, do cobre, do chumbo, do zinco, para a economia do índio, do gálio, das

terras-raras, do lítio. Sem querer diminuir a importância que os metais básicos ainda têm, e continuarão a ter, nas nossas vidas, outros metais rapidamente entraram nelas, presentes nos nossos computadores e telemóveis e na energia (mais “limpa”) que entra nas nossas casas. Mas enfrentamos uma equação de difícil resolução: se para os metais básicos, relativamente abundantes, já se sabe que os seus recursos são limitados, para os “novos metais” essa limitação é muito mais crítica.

O problema da disponibilidade das matérias-primas (essencialmente de metais mas também de outros materiais) indispensáveis para as tecnologias emergentes tem sido muito discutido e está atualmente no topo da agenda política, principalmente em regiões muito deficitárias dessas matérias-primas, como é a Europa. A Iniciativa Matérias-Primas [1,2] é um documento base de decisão política lançando eixos de atuação que pretendem mitigar o problema. Muitas iniciativas, ações, projetos, roteiros, parcerias, lhe têm seguido (e.g. EIP-raw materials [3], ERA-MIN, etc.).

A categorização e definição de metais críticos tem sido estudada e proposta por diferentes

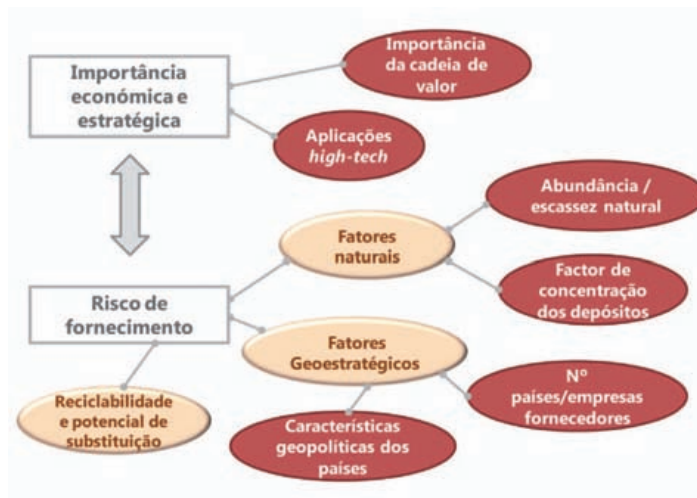
grupos de trabalho. Um metal (ou, mais genericamente, uma matéria-prima ou material) é crítico quando lhe está associada uma aplicação de caráter estratégico (por isso, importante para o desenvolvimento humano) e um elevado risco de fornecimento (Figura 1). A importância estratégica está relacionada com o valor económico, social, ambiental, associado às aplicações a que se destina (p.ex. proteção do ambiente, energia, saúde, defesa). O risco de fornecimento depende de fatores naturais (e.g. a escassez das fontes primárias), de fatores geoestratégicos e ainda das taxas de reciclabilidade e do potencial de substituição por outros materiais mais abundantes. Resumindo, estamos perante um material crítico quando este é importante, dificilmente substituível e a sua disponibilidade pode ser posta em causa.

O problema é vasto e muito relevante, como facilmente se pode vislumbrar por consulta da Tabela 1, onde se indicam as 14 matérias-primas consideradas críticas na União Europeia. Os elementos listados têm aplicações de grande importância em domínios como a eletrónica, a energia, a defesa, o ambiente, e os



Carlos Nogueira
Investigador
LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P.
carlos.nogueira@lneg.pt

FIGURA 1 Interdependência e fatores relevantes da criticidade de materiais.



principais recursos dessas matérias-primas estão todos localizados fora da Europa, com particular destaque para a China, deixando os países europeus numa situação frágil.

2. MATERIAIS PARA AS TECNOLOGIAS DA ENERGIA

A União Europeia, bem como outras regiões desenvolvidas do globo, objetiva a criação de uma economia de baixo carbono como forma de responder aos desafios globais que são atualmente colocados ao nível do ambiente (e.g. alterações climáticas) e da conservação dos recursos essenciais à vida. As novas tec-

nologias da energia e as atualmente emergentes estão na linha da frente do combate aos atuais desafios ambientais, na medida em que substituem as tecnologias clássicas, baseadas no carbono [4,5]. Nessa medida, as estratégias europeias, consubstanciadas no SET-Plan ("Strategic Energy Technology Plan") passam pela aposta na investigação, no desenvolvimento, na demonstração e na aplicação de novas tecnologias que promovam o uso de fontes renováveis e a eficiência energética, para atingir metas de redução substanciais das emissões de carbono nos próximos anos [4].

Neste âmbito, há que assegurar o forneci-

mento de matérias-primas necessárias para produzir os materiais de base para essas tecnologias. De facto, trata-se de um grande desafio porque muitas delas são raras e/ou de acesso difícil ou condicionado. A Tabela 2 apresenta os principais materiais usados nas tecnologias da energia de baixo carbono (atuais e emergentes). Destacam-se as terras raras (os primeiros 9 elementos da tabela, do lantânio ao ítrio), alguns elementos raros (índio, gálio, telúrio, selênio) e metais usados em ligas especiais adequadas a ambientes extremos (níquel, estanho, háfnio, molibdênio, vanádio, nióbio).

De seguida apresentam-se resumidamente três casos selecionados de tecnologias da energia: baterias, painéis fotovoltaicos e geradores eólicos.

2.1. Baterias e o lítio

As baterias de iões-Li são atualmente a principal tecnologia de armazenamento químico de energia elétrica. Já utilizadas em grande escala nos equipamentos portáteis (computadores, telefones móveis) constituem também a melhor tecnologia conhecida e comprovada para equipar veículos elétricos. A mobilidade elétrica, uma das grandes bandeiras da economia de baixo carbono, está atualmente dependente da aplicação generalizada destes dispositivos. Acresce ainda uma outra utilização potencial destas baterias, a acumulação de energia elétrica em grande escala (as super-baterias).

O lítio, não sendo um dos metais da lista dos 14 críticos para a Europa, aparece na lista preliminar de 41 elementos críticos e é também referenciado como tal em documentos oficiais dos E.U.A. Extraído essencialmente dos lagos salgados da América do Sul, estima-se que o expectável aumento exponencial da sua procura não possa ser acompanhado pela oferta utilizando apenas esses recursos. Os minérios de Li (essencialmente os pegmatitos), atualmente utilizados para pastas cerâmicas, são fontes alternativas que poderão ser exploradas para extrair lítio metalúrgico. Portugal é um dos poucos países europeus com recursos conhecidos deste tipo de minérios.

As baterias baseiam-se num ânodo de grafite e num cátodo formado por um óxido de metais de transição (M) e lítio, LiMO_2 . Durante o funcionamento da pilha, os iões de Li migram entre os elétrodos e integram as estruturas das respetivas fases. Nos equipamentos portáteis os cátodos contêm cobalto ($\text{M}=\text{Co}$), um elemento crítico na EU, mas devido ao seu

TABELA 1 Matérias-primas críticas na UE: descrição, abundância média, principais produtores e principais aplicações.

Matéria prima	Abundância na crosta (ppm)	Principais produtores	Principais aplicações
Antimónio	0.2 ppm	China 91 %	Retardante de chama, Micro-condensadores
Berílio	2.8 ppm	EUA 85 %	Eletrónica, sensores, elemento de ligas
Cobalto	25 ppm	Congo 41 %	Baterias de iões-Li, células combustíveis, fuels sintéticos
Fluorite	585 ppm (F)	China 59 %	Precursor da indústria química de compostos de flúor.
Gálio	19 ppm	não disponível	Filmes finos p/ células fotovoltaicas, circuitos integrados, WLED
Germânio	19 ppm	China 72 %	Fibra ótica, tecnologias óticas / IV
Grafite	200 ppm (C)	China 72 %	Refratários, baterias, indústria do aço.
Índio	0.25 ppm	China 58 %	Filmes finos p/ células fotovoltaicas, Ecrãs LCD
Magnésio	2.3 %	China 56 %	Ligas leves (veículos, aeronáutica)
Nióbio	20 ppm	Brasil 92 %	Micro-condensadores, ligas ferrosas (algumas superligas)
Platina (PGM's *)	5 E-3 ppm	África Sul 79 %	Catalisadores (incl. Células de combustível)
Tântalo	2 ppm	Austrália 48 %	Micro-condensadores, tecnologias médicas
Terras-raras	42 ppm (Nd)	China 97 %	Magnetos permanentes, tecnologia laser
Tungsténio	1.25 ppm	China 78 %	Ferramentas metal duro, ligas especiais

* PGM's – metais do grupo da platina.

preço e também a problemas de segurança, as baterias mais usadas em veículos elétricos contêm cátodos de LiFePO_4 , embora sendo menos eficientes. Têm sido estudados e desenvolvidos muitos cátodos alternativos, sendo o LiNiMnCoO_2 um excelente compromisso entre a eficiência e a segurança.

Estima-se que, com a expansão do veículo elétrico, a procura de metais para o fabrico de baterias aumente substancialmente. Em 2020, a necessidade destes metais deverá ser 5 a 8 vezes superior ao que era dez anos antes (Figura 2). Logo, a generalização destas tecnologias passará necessariamente pela gestão eficiente dos fluxos destes materiais (o Li e o Co, no caso das baterias de Li, e as terras-raras e o níquel, no caso das baterias NiMH), nomeadamente pela aplicação de mecanismos que promovam a sua reciclagem. No caso dos veículos elétricos, poderá utilizar-se as infraestruturas já existentes de recolha, triagem e reciclagem de veículos em fim-de-vida.

2.2. Tecnologias solares fotovoltaicas e os metais raros

As tecnologias fotovoltaicas atualmente no mercado são baseadas no silício (mono e policristalino). As tecnologias emergentes, de filmes finos, constituem uma aposta no futuro, tanto pelas propriedades que apresentam como pelo custo. Efetivamente, apesar da utilização de elementos raros e por isso dispendiosos, a particularidade de utilizarem camadas muito finas ($< 1 \mu\text{m}$) pode torná-las competitivas. Para além do silício amorfo, destacam-se como tecnologias emergentes as baseadas no cobre-índio-gálio-selénio ("CIGS – copper-indium-gallium selenide"), gálio-arsénio ("GaAs – gallium arsenide") e cádmio-telúrio ("CdTe – cadmium teluride"). Todas estas tecnologias de filmes finos utilizam metais raros na sua composição. A capacidade instalada de energia produzida por fontes fotovoltaicas está em grande crescimento, mais que duplica em cada 2 anos, ultrapassando os 100000 MW a nível mundial. A Europa destaca-se claramente neste mercado mas os seus recursos primários de metais raros, como o índio e o gálio, são escassos. Estes metais são extraídos como produtos secundários de metalurgias de outros metais básicos como o cobre e o zinco, no caso do índio, e o alumínio, no caso do gálio. De novo, os produtos em fim de vida constituem a melhor fonte destes metais para a Europa, sendo a reciclagem a chave para garantir o abastecimento destes metais para a indústria dos painéis fotovoltaicos. No caso do índio, um

TABELA 2 Elementos raros e/ou estratégicos utilizados em tecnologias da energia.

Metal	Solar Fotovoltaico	Eólica e Veículos	Baterias	Iluminação	Solar Concentr.	Nuclear
Lantânio			✓	✓		
Cério			✓	✓		
Praseodímio		✓	✓			
Neodímio		✓	✓			
Samário		✓				
Európio				✓		
Térbio				✓		
Disprósio		✓				
Ítrio				✓		
Índio	✓					✓
Gálio	✓				✓	
Telúrio	✓					
Cobalto		✓	✓			✓
Lítio			✓			
Estanho						✓
Háfnio					✓	✓
Prata	✓					✓
Cádmio	✓					✓
Níquel		✓	✓		✓	✓
Molibdénio		✓			✓	✓
Vanádio					✓	✓
Nióbio					✓	✓
Selénio	✓					

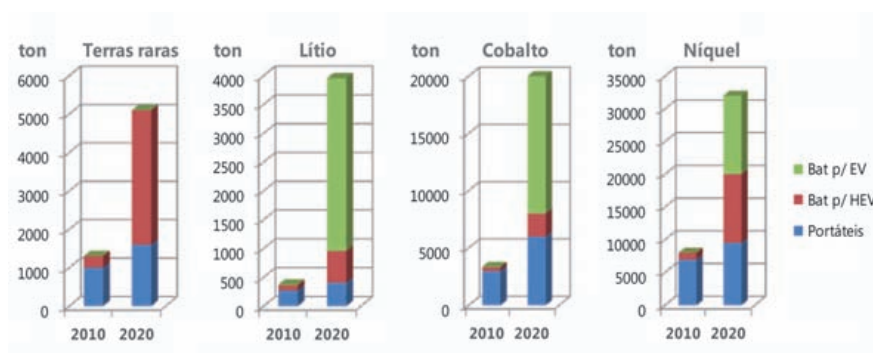
outro recurso importante são os ecrãs planos (LCD) enquanto que outra fonte de gálio são os componentes eletrónicos.

2.3. Geradores eólicos e as terras raras

As terras-raras são os elementos lantanídeos (o escândio e o ítrio também se incluem habitualmente nesse grupo). Apesar da sua designação, que tem uma origem histórica relacionada com a sua descoberta (mais recente

quando comparada com os outros metais), o teor destes metais na crosta terrestre é bem superior ao de outros metais bem conhecidos, pelo que não são propriamente raros. Contudo, estão muito dispersos na crosta, o que dificulta a sua exploração em condições económicas atrativas. Os principais depósitos conhecidos, suficientemente concentrados para permitir a exploração, encontram-se na China. A principal aplicação das terras-raras é a produção de magnetos permanentes, sendo

FIGURA 2 Previsão do uso de metais em baterias numa escala de 10 anos. (EV – veículo elétrico; HEV – veículo elétrico híbrido).



também importantes os mercados da indústria do vidro, dos catalisadores, da iluminação e das baterias (NiMH). As terras-raras são a base do funcionamento dos geradores por indução magnética utilizados na produção de energia eólica. Os magnetos de terras raras, nomeadamente os baseados no neodímio (NdFeB) e no samário (SmCo_5) têm propriedades inigualáveis que os tornam únicos nessas aplicações. A título ilustrativo, pode referir-se que, para gerar um campo magnético de igual intensidade, uma ferrite necessitaria de um volume 53 vezes superior ao SmCo_5 e 89 vezes superior ao NdFeB. Para uma aplicação em altura, onde o peso é fundamental, compreende-se facilmente a importância destes materiais. O mesmo se aplica ao veículo elétrico, cujos motores e transmissão da tração também assentam no mesmo tipo de magnetos, pelas mesmas razões.

Tal como nos outros materiais críticos, a procura de terras-raras para o fabrico de magnetos tem aumentado fortemente nos últimos anos (Figura 3). A Europa, sem recursos primários relevantes destas matérias-primas, terá necessariamente de assegurar a sua disponibilidade pela gestão eficiente dos recursos secundários. A indústria de geradores eólicos deverá implementar um sistema de economia circular de forma a permitir a sua sustentabilidade.

3. ESTRATÉGIAS E MEDIDAS: GESTÃO EFICIENTE E SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS MATERIAIS

Para responder ao problema da acessibilidade de matérias-primas, em países e regiões deficitárias das mesmas, as estratégias passarão pela implementação de medidas a vários níveis, a saber:

- Explorar novos recursos minerais, mesmo de baixo teor, usando processos e tecnologias mais eficientes e competitivas;

- Melhorar a eficiência de utilização dos recursos em todas as fases do ciclo de vida, desde a extração, transformação, uso e fim de vida, prevenindo o desperdício (minimizando as perdas);
- Conhecer os teores e as ocorrências dos metais raros/estratégicos/críticos nos resíduos, ou seja, mapear os resíduos numa perspetiva similar à elaboração de “cartas geológicas”;
- Promover os circuitos de recolha, triagem e reciclagem dos resíduos identificados como “críticos”, ou seja, que contêm os referidos metais;
- Aplicar tecnologias de reciclagem numa visão de “recuperação total”, ou seja, evitando a lógica de recuperar um ou outro metal sem uma perspetiva integrada de todo o conteúdo importante presente em cada resíduo.

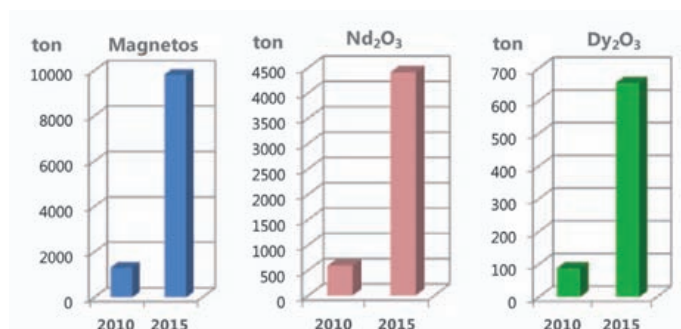
A gestão criteriosa e eficiente de resíduos contendo materiais críticos, numa abordagem de máxima eficiência, não é apenas uma questão de natureza económica, mas sim

estratégica. A utilização dos resíduos, as “minas urbanas”, deve assim ser encarada como prioritária. Trata-se da sobrevivência de uma indústria importante na Europa, a indústria da energia, uma das suas principais bandeiras e que a destacam pela positiva das outras regiões desenvolvidas do mundo. **IA**

REFERÊNCIAS

1. COM (2008) 699 final. The raw materials initiative – meeting our critical needs for growth and jobs in Europe, Communication from the Commission to the European Parliament and the Council, 2008.
2. COM (2011) 25 final. Tackling the challenges in commodity markets and on raw materials, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of Regions, 2011.
3. Strategic Implementation Plan (SIP), European Innovation Partnership on Raw Materials (EIP-RM), 2013.
4. R.L. Moss, E. Tzimas, H. Kara, P. Willis, J. Kooroshy, Critical metals in strategic energy technologies, JRC report 65592, JRC-IET, Publ. Office of the EU, Luxembourg, 2011.
5. Critical Materials Strategy, U.S. Department of Energy, 2010.

FIGURA 3 Mercado mundial de magnetos de NdFeB e necessidades de óxidos de neodímio e de disprósio (aditivo usado em magnetos para altas temperaturas) para o fabrico desses magnetos.



Visite-nos em www.baluar.te.pt

BALUARTE
Uma Nova Forma de Gerir Resíduos

Segurança de Trabalhadores e de Clientes – média de 25% do nosso investimento anual
accidentes ZERO

Garantimos o fecho do Ciclo – Recolhemos, Recuperamos e Reciclamos
Economia Circular

Desenvolvemos a nossa atividade com o objetivo de alcançar a meta Aterro Zero
desperdiciozero

Transportamos mais de 80% das toneladas geridas via Comboio
CO₂

Alcochete (Sede) | Parque Industrial do Batel
Rua da Bracelira, 31—2891-909 Alcochete
Tel +351 212 348 800 | Fax +351 212 348 820