

# Série Estudos e Documentos

## Tendências europeias para o uso dos recursos de Terras-Raras

Ellen Cristine Giese

## **SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS**

**Tendências europeias para o uso dos recursos de  
Terras-Raras**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Michel Miguel Elias Temer Lulia**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**

**Gilberto Kassab**

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações

**Elton Santa Fé Zacarias**

Secretário-Executivo

**Luiz Henrique da Silva Borda**

Diretor Substituto de Gestão das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais da Secretaria Executiva

**Isabela Sbampato Batista de Paula**

Coordenadora-Geral Substituta das Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Fernando Antonio Freitas Lins**

Diretor

**Robson de Araújo D'Ávila**

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

**Claudio Luiz Schneider**

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Francisco Wilson Hollanda Vidal**

Coordenador de Rochas Ornamentais e Minerais Industriais - COROM

**José Antônio Pires de Mello**

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

**Durval Costa Reis**

Coordenador de Administração - COADM

# **SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS**

ISSN 0103-6319

ISBN – 978-85-8261-070-1

**SED - 93**

## **Tendências europeias para o uso dos recursos de Terras-Raras**

**Ellen Cristine Giese**

Química, D.Sc. em Engenharia e Ciência de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto, SP.  
Tecnologista Pleno do CETEM/MCTIC.

**CETEM/MCTIC**

2017

# **SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS**

**Carlos Cesar Peiter**

Editor

**Ana Maria Botelho M. da Cunha**

Subeditora

## **CONSELHO EDITORIAL**

Francisco R. C. Fernandes (CETEM), Gilson Ezequiel Ferreira (CETEM), Alfredo Ruy Barbosa (consultor), Gilberto Dias Calaes (ConDet), José Mário Coelho (CPRM), Rupen Adamian (UFRJ).

A Série Estudos e Documentos publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minerometalúrgica.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

**Valéria Cristina de Souza**

Coordenação Editorial

Editoração Eletrônica

**Ellen Cristine Giese**

Revisão

---

Giese, Ellen Cristine

Tendências europeias para o uso dos recursos de Terras-Raras / Ellen Cristine Giese. \_\_Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2017.

28p.:il. (Série Estudos e Documentos, 93)

1. Terras-raras. 2. Reciclagem. 3. Tendências europeias. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Giese, Ellen Cristine. III. Título. IV. Série.

CDD – 553.494

---

# SUMÁRIO

RESUMO _____	7
ABSTRACT _____	8
1   INTRODUÇÃO _____	9
2   PRINCIPAIS PROJETOS EUROPEUS PARA O USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS DE TERRAS-RARAS __	10
2.1   EURARE _____	10
2.2   EREAN _____	12
2.3   SoS RARE _____	14
3   TENDÊNCIAS PARA O USO DE RECURSOS DE TERRAS-RARAS – ERES 2017 _____	16
3.1   Atualidades Políticas e Econômicas _____	16
3.2   Reciclagem e Técnicas Alternativas _____	18
4   CONSIDERAÇÕES FINAIS _____	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	24



## **RESUMO**

A demanda pelas Terras-Raras, proveniente de suas propriedades químicas e físicas peculiares importantes para uma grande variedade de aplicações tecnológicas, vem aumentando extensivamente nos últimos anos. Atualmente, estes elementos são considerados matérias-primas vitais para o desenvolvimento de bens imprescindíveis à vida moderna. Uma vez que a exploração e produção de Terras-Raras apresenta dificuldades geográficas, econômicas e ambientais, o uso destes recursos tem sido objeto de discussão, principalmente por países desenvolvidos que consomem tecnologia de ponta, como é o caso da União Européia. Pesquisas com foco na concentração, recuperação e separação de Terras-Raras, tanto de fontes primárias quanto de fontes secundárias, têm sido apoiadas financeiramente, uma vez que o domínio da tecnologia de separação de Terras-Raras é de grande importância estratégica e econômica. Neste contexto, o presente texto busca apresentar as tendências europeias atuais do uso de recursos de Terras-Raras com base nos trabalhos apresentados nas sessões plenárias da 2ª Conferência Européia em Recursos de Terras-Raras realizada em maio de 2017. Os avanços e perspectivas futuras da cadeia produtiva de Terras-Raras na Europa, bem como a importância da reciclagem para obtenção de matérias-prima dentro dos conceitos atuais da economia circular também estão descritos.

### **Palavras-chave**

Terras-raras; ERES 2017; EURARE; EREAN; Tendências europeias; Reciclagem.

## **ABSTRACT**

The demand for Rare Earths, caused by their peculiar chemical and physical properties for a great variety of technological applications, has been increasing extensively in recent years. Nowadays, these elements are essential for the development of essential goods to modern life. Since exploration and production of Rare Earth presents geographic, economic and environmental difficulties, the use of these resources has been the object of discussion, mainly by developed countries that consume cutting-edge technology, as is the case of the European Union. Research focusing on the concentration, recovery and separation of Rare Earths from both primary and secondary sources has been financially supported since the domain of Rare Earth separation technology is of great strategic and economic importance. In this context, the present text presents the current European tendencies of the use of Rare Earth resources based on the research appointments presented during the plenary sessions of the 2nd European Conference on Rare Earth Resources held in May 2017. The advances and future prospects of the production chain of Rare Earth in Europe, as well as the importance of recycling to obtain raw materials within the current concepts of circular economy are also described.

### **Keywords**

Rare Earth; ERES 2017; EURARE; EREAN; European trends  
Recycling.

## 1 | INTRODUÇÃO

Os recursos de Terras-Raras são considerados matérias-primas vitais para a vida moderna, dentro da qual estão inseridos bens imprescindíveis como os carros elétricos e convencionais, computadores e smartphones, infraestrutura de energia renovável e iluminação de fósforo, por exemplo.

A grande demanda por estes recursos, ocasionada pelo constante aumento da possibilidade de aplicações dos mesmos, principalmente na área de TI; aliada à baixa oferta de recursos, resultante das poucas minas de exploração de Terras-Raras em operação, faz com que o mundo considere a possibilidade de um novo olhar sobre a obtenção, uso e, mais recentemente, o reuso destes elementos.

Na última década, a União Europeia classificou os elementos Terras-Raras como matérias-primas críticas, e também avaliou os riscos econômicos e políticos associados ao fato da exploração de Terras-Raras ser feita quase exclusivamente pela República Popular da China.

Diante desta circunstância, se os países europeus quiserem se manter e competir no mercado mundial de Terras-Raras, será necessário o máximo aproveitamento dos recursos a partir do desenvolvimento de processos a partir de fontes secundárias, com o uso de reciclagem e reutilização de produtos em fim de vida. A mudança no ponto de vista da relação entre a matéria-prima e o descarte do produto esgotado advém de práticas sustentáveis de acordo com os conceitos atuais de economia circular.

Neste contexto, projetos como o EURARE, EREAN e SoS RARE foram criados com o objetivo de se investigar e estabelecer a origem e a utilização dos recursos europeus de Terras-Raras, como descrito a seguir.

## 2 | PRINCIPAIS PROJETOS EUROPEUS PARA O USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS DE TERRAS-RARAS

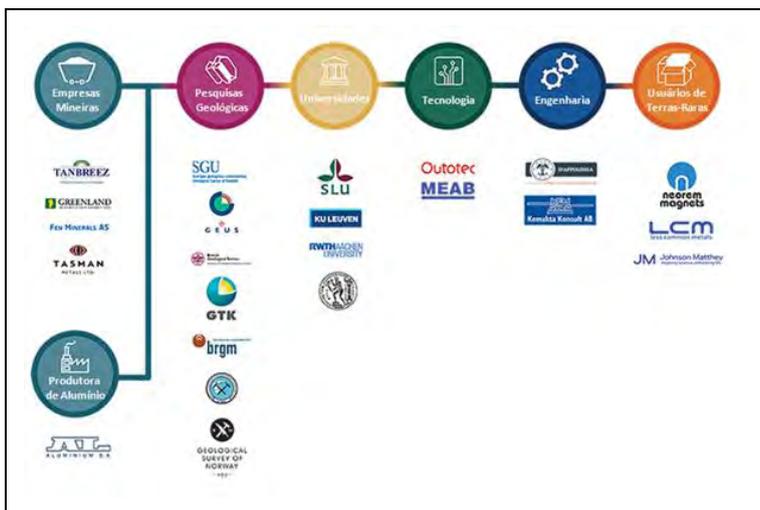
### 2.1 | EURARE

O EURARE é um projeto cofinanciado pela Comissão Europeia que busca o desenvolvimento da exploração sustentável para os depósitos de minério de Terras-Raras da Europa. Está inserido no âmbito do Programa de Cooperação para Nanotecnologias, Materiais e Novas Tecnologias de Produção de 2012 e especificamente o tópico matérias-primas NMP.2012.4.1-1 "Novas abordagens ecológicas no processamento de minerais" (EURARE, 2017).



**Figura 1.** Logo do projeto EURARE.

O orçamento total do projeto é de 13.845.950 EUR, dos quais até 9.000.000 EUR podem ser financiados pela Comissão Europeia. O EURARE teve início em janeiro de 2013 com término previsto para dezembro de 2018 (EURARE, 2017). As organizações parceiras do projeto incluem universidades e empresas de acordo com a Figura 2.



**Figura 2.** Organizações parceiras do EURARE (adaptado de <http://www.eurare.eu/partners.html>).

O projeto tem como objetivo principal o estabelecimento de bases para o desenvolvimento da indústria de Terras-Raras europeia que salvguarde o fornecimento ininterrupto de matérias-primas e produtos para os setores industriais da União Europeia, como os setores automotivo, eletrônico e de produtos químicos. Para tanto, suas ações necessitam serem sustentáveis, economicamente viáveis e ambientalmente amigáveis (EURARE, 2017).

Estes objetivos estão sendo alcançados através de suas ações estratégicas (Figura 3) que buscam o mapeamento, caracterização e avaliação tecnológica e econômica dos recursos de Terras-Raras na Europa, assim como o desenvolvimento, otimização e demonstração de tecnologias inovadoras para a exploração eficiente dos recursos com impacto mínimo ao meio ambiente (EURARE, 2017).



**Figura 3.** Ações estratégicas do projeto EURARE.

Para tanto, o projeto também buscou implantar um sistema integrado de gestão do conhecimento (*Information Knowledge Management System, IKMS*) para os recursos europeus de Terras-Raras, o qual fornece informações substanciais sobre o andamento do EURARE. O sistema está disponível para acesso no site <http://eurare.brgm-rec.fr> e em junho de 2016 já contava com mais de 150 documentos disponíveis para *download*.

## 2.2 | EREAN

O EREAN (*European Rare Earth Magnet Recycling Network*) é um projeto cofinanciado pela Comissão Europeia que busca a reciclagem de Terras-Raras a partir de ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro, estando inserido no âmbito da Rede Europeia de Reciclagem de Ímãs de Terras-Raras (MCITN EREAN). O EREAN promove o treinamento de 15 jovens

pesquisadores e sua formação inicial foi proveniente do *FP7 Marie-Curie Initial Training Network Project*, iniciado em janeiro de 2013 (EREAN, 2017).

Este projeto conta com 9 beneficiários diretos, dentre estes, 7 institutos de pesquisas e 2 empresas privadas (Umicore e Solvay). O EREAN também recebe o apoio de mais 6 organizações industriais parceiras (InsPyro, MEAB, Less Common Metals, Treibacher, Stena e Magneti). As organizações parceiras do projeto estão apresentadas na Figura 4.



**Figura 4.** Organizações parceiras do EREAN.

O EREAN surgiu devido a preocupação da Comunidade Europeia com o fato da República Popular da China dominar o mercado de Terras-Raras, aliado a outro fator: o país asiático também está reduzindo suas cotas de exportação destes elementos estratégicos. Diante deste cenário a Europa precisa

buscar investimentos na mineração e reciclagem urbana, o que corresponde somente a 1% dos recursos de Terras-Raras atuais, visto que, não existem ainda tecnologias de reciclagem eficientes. O EREAN busca a criação de uma indústria europeia sustentável de reciclagem de Terras-Raras. O foco do projeto são os recursos provenientes de ímãs permanentes, onde os desafios abrangem um sistema eficiente de extração, a remoção de elementos exógenos (Fe, Ni, B) por métodos piro- e hidrometalúrgicos, desenvolvimento de novos métodos de separação e a preparação de novos ímãs (EREAN, 2017).

### **2.3 | SoS RARE**

O SoS RARE é um consórcio entre NERC (*North American Electric Reliability Corporation*) e EPSRC (*Engineering and Physical Sciences Research Council*) no âmbito do Programa de Ciências da Segurança de Abastecimento de Minerais (SoS Minerals), iniciado em 2015 e com data prevista para término em 2019. O projeto é capitaneado por 17 pesquisadores de 6 universidades e institutos de pesquisas do Reino Unido, com 10 parceiros da indústria e 8 colaboradores internacionais, entre eles a Universidade Estadual de São Paulo (USP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (SoS RARE, 2017). As organizações parceiras estão apresentadas na Figura 5.



**Figura 5.** Organizações parceiras do SoS RARE.

O SoS RARE tem como objetivo melhorar a compreensão da localização e concentração das Terras-Raras em suas reservas naturais, com foco nos depósitos convencionais de rochas e também nos depósitos de argila de adsorção iônica; assim como buscar o desenvolvimento de meios de extração e recuperação amigáveis ao meio ambiente (SoS RARE, 2017).

### 3 | TENDÊNCIAS PARA O USO DE RECURSOS DE TERRAS-RARAS – ERES 2017

#### 3.1 | Atualidades Políticas e Econômicas

A plenária de abertura do ERES 2017 buscou apresentar o cenário atual da Comunidade Europeia no domínio da cadeia produtiva das Terras-Raras.

O “problema de equilíbrio” (*balance problem*), foi um dos pontos abordados durante a plenária. O problema de equilíbrio ou problema de balanceamento, está relacionado ao desequilíbrio entre as demandas do mercado de elementos de Terras-Raras em sua forma mais pura, e a abundância natural de misturas de Terras-Raras em minérios, ocasionando a escassez ou o excesso de elementos específicos.

Um dos exemplos mais comum é a extração de grandes quantidades de Ce enquanto tenta-se produzir o Nd. Neste caso, CASTILLOUX (2017) concluiu que, nos próximos dez anos, a crescente demanda por ímãs permanentes NdFeB impulsionará a demanda de Nd e Pr e aumentará a necessidade de se estocar o Ce, o que poderá desencadear um problema logístico e ambiental.

Outro exemplo do problema de equilíbrio é a quantidade de Th que vem sendo produzida juntamente às Terras-Raras. Algumas iniciativas têm buscado transformá-lo em um recurso valioso no ciclo do combustível nuclear ao invés de considerá-lo somente como um resíduo radioativo indesejável (BINNEMANS; JONES, 2015).

O mercado necessita de novas aplicações para os elementos em excesso. A substituição intra-lantanídica aparenta ser uma das soluções, pois busca utilizar as Terras-Raras excedentes no lugar de Terras-Raras escassos para algumas aplicações, ou até mesmo, substituir totalmente o uso das Terras-Raras. A substituição intra-lantanídica já vem sendo utilizada nos EUA como uma rota alternativa para reduzir a dependência sobre as importações de matérias-primas e, portanto, para garantir o suprimento das mesmas (PELLEGRINI *et al.*, 2017).

Outra estratégia que vem sendo adotada para mitigar este problema, aliada à razões de escassez de matéria-prima e a necessidade de se manter uma indústria mineral sustentável é a reciclagem de Terras-Raras a partir de fontes secundárias (BINNEMANS *et al.*, 2013).

No caso específico de ímãs permanentes, por exemplo, a reciclagem de ímãs esgotados de discos rígidos e turbinas eólicas, entre outros, pode fornecer o Nd e Dy necessário para a produção de novos ímãs, sem a geração de Ce e La (YANG *et al.*, 2017).

A reciclagem de produtos em final de vida também foi bastante abordada durante as plenárias. Apesar de se apresentar como uma solução significativa para a ausência de recursos primários e, utilizar matérias-primas mais baratas e ser mais sustentável, as rotas de reciclagem ainda não estão consolidadas junto à cadeia produtiva de Terras-Raras principalmente no que se refere ao uso industrial (PELLEGRINI *et al.*, 2017).

E por fim, uma das surpresas provenientes do desenvolvimento de estudos geológicos do EURARE e apresentada ao final do primeiro dia, foi a constatação de que a Europa possui fontes

primárias de Terras-Raras suficientes para atender a demanda interna, apesar de não haver ainda nenhuma mina em operação no continente europeu.

Estudos de impactos ambientais e sociais estão sendo realizados, principalmente na Groelândia, para que a exploração das mesmas seja iniciada. O processamento do U, La e Ce na Groelândia é ainda um impasse para a finalização do pedido de licença de mineração para Kvanefjeld. Já as etapas de separação de Terras-Raras médias e pesadas e transformação em produtos de alta pureza serão realizadas em outros locais. De maneira geral, o projeto Kvanefjeld contribuirá significativamente para a economia local e europeia e possibilitará que a “*Greenland Minerals and Energy*” se torne um dos principais produtores mundiais de Terras-Raras (KREBS, 2017).

### **3.2 | Reciclagem e Técnicas Alternativas**

O Plano de Ação para a Economia Circular da Comissão Europeia apresenta um foco especial em relação às ações envolvendo matérias-primas críticas, as quais podem ser obtidas a partir da reciclagem de resíduos eletrônicos e outros produtos em fim de vida, bem como a partir de resíduos da mineração e de aterros sanitários (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2016).

As Terras-Raras podem ser obtidas a partir de diversas fontes secundárias, como ilustrado na Figura 6. Diferentes métodos vêm sendo empregados na reciclagem de Terras-Raras, incluindo-se técnicas de hidrometalurgia e pirometalurgia.



**Figura 6.** Terras-Raras que podem ser recuperadas a partir de diferentes produtos em fim de vida (adaptado de FERREIRA & NASCIMENTO, 2013).

Os ímãs de Terras-Raras apresentam aplicações diversas, sendo cada vez mais utilizados na fabricação de novos produtos tecnológicos. Os ímãs permanentes comerciais mais comuns são samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB), sendo este último considerado o mais forte do mundo por apresentar maior campo magnético específico.

Uma vez que na Europa não há fontes primárias para obtenção de Terras-Raras visando a produção de ímãs de NdFeB, os Terras-Raras utilizados para a produção de ímã ou os ímãs de Terras-Raras para a fabricação de produtos dependem muito das importações. A reciclagem de Terras-Raras a partir de ímãs permanentes de produtos em fim de vida poderá vir a desempenhar um papel importante na complementação do fornecimento de Terras-Raras na Europa.

Atualmente, não há operações de reciclagem à nível comercial principalmente devido aos diversos desafios tanto econômicos quanto tecnológicos na área. Nos últimos anos, a União Européia envolveu esforços para apoiar a pesquisa e a inovação através de programas como o FP7 (*European Union's Research and Innovation 2007-2013*) e o Horizonte 2020 (*Horizon 2020*), os quais visam apoiar o desenvolvimento de tecnologias eficientes de reciclagem e recuperação de Terras-Raras, em particular os ímãs permanentes NdFeB e outras matérias-primas secundárias (YANG, 2017).

Dentro das etapas de reciclagem de ímãs permanentes são considerados três diferentes fluxos materiais: a limalha originária da manufatura dos ímãs denominada de sucata pré-consumo, os ímãs pequenos provenientes de materiais pós-consumo e os ímãs grandes provenientes de carros híbridos ou turbinas eólicas (AMARAL, 2014).

Novas tecnologias para a recuperação de ímãs em fim de vida de motores elétricos, turbinas eólicas ou HDDs de computador, foram recentemente desenvolvidas na Universidade de Birmingham, baseadas na decrepitação de hidrogênio. Já no caso de ímãs permanentes NdFeB de pequenos dispositivos elétricos e eletrônicos, rotas hidrometalúrgicas são necessárias devido às contaminações dos materiais magnéticos, mesmo após desmontagem e separação mecânica (YANG, 2017).

Ainda no contexto de reciclagem, acredita-se que a melhor compreensão do comportamento das Terras-Raras poderá colaborar com a melhoria das estratégias de recuperação destes elementos a partir de outras fontes secundárias, como as pilhas de fosfogesso ou drenagem ácida de minas (DAM).

A separação entre Terras-Raras leves e médias/pesadas através do uso de micro-organismos foi demonstrada durante a realização do ERES 2017. MALEKE *et al.* (2017) demonstraram a capacidade das bactérias *Thermus scotoductus* SA-01 e *Clostridium* sp., isoladas de um depósito de despejo de resíduos ricos em Terras-Raras, em adsorver La e Eu em preferência ao Y. Os resultados obtidos também sugeriram um envolvimento protéico citoplasmático na redução dos metais de Terras-Raras, o que seria um indicativo para um mecanismo até então inexplicado.

No caso do uso da biomassa de *Bacillus subtilis*, GIESE *et al.* (2017) observaram que o pré-tratamento da parede celular bacteriana com solução cáustica favoreceu a biossorção de La e Sm a partir de soluções sintéticas.

Também foram apresentados resultados de pesquisas de biolixiviação de Terras-Raras a partir de argilas de adsorção iônica (AAI), nas quais estes elementos encontram-se superficialmente adsorvidos e são geralmente extraídos com soluções concentradas de sais (BARNETT *et al.*, 2017). A biolixiviação também foi uma alternativa proposta para a solubilização de Terras-Raras a partir de depósitos bauxíticos e lateríticos da região Seydişehir (Turquia), os quais possuem concentrações de Terras-Raras (em massa) que variam de  $10^2$  a  $10^4$  ppm. Estudos preliminares indicaram uma boa capacidade de solubilização de lantanídeos na presença de ácidos orgânicos complexantes ou quelantes (PALUMBO-ROE *et al.*, 2017).

No campo da hidrometalurgia clássica, TYUMENTSEV *et al.* (2017) propuseram a síntese de novas amidas polifuncionais (poliamidas) para uso como reagentes de

extração por solvente para os lantanídeos. Estas estruturas são capazes de formar complexos de quelatos com os íons lantanídeos (+3), sendo que a eficiência da extração é sensível à natureza do diluente: quanto maior a polaridade do diluente, maior a capacidade de extração das Terras-Raras.

O uso de líquidos iônicos, como o Cyphos<sup>®</sup> IL-101 na forma de nitrato ou tiocianato, associados à extratores convencionais (Cyanex<sup>®</sup> 923), foi apontada como uma saída mais segura e menos poluente em comparação com o uso de solventes, com resultados iguais ou superiores na separação das Terras-Raras leves, médias e pesadas (REGADÍO e BINNEMANS, 2017). O uso de líquidos iônicos contendo íons nitrato e tiocianato também foi apresentado como uma solução para a separação de Sm e Co na reciclagem de ímãs permanentes baseados nestes elementos (SOBEKOVA FOLTOVA *et al.*, 2017).

Por fim, a nanofiltração foi discutida como uma técnica de separação a ser utilizada na recuperação de Terras-Raras a partir de fontes secundárias por apresentar peculiar seletividade em relação aos íons monovalentes e multivalentes, o que colaboraria na separação de metais pesados e lantanídeos, por exemplo (REMMEN *et al.*, 2017).

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos trabalhos apresentados durante o ERES 2017 e das discussões realizadas durante as sessões plenárias, pode-se concluir que, atualmente, o maior desafio europeu é manter o pouco do conhecimento e das tecnologias da cadeia produtiva de Terras-Raras, até então conquistados, em seu território.

O fechamento de uma das duas únicas indústrias de separação de Terras-Raras europeias (Solvay, localizada em La Rochelle, França) aliado aos baixos preços das commodities durante o ano de 2017 dificultam as ações afirmativas dos grandes projetos como o EURARE e o EREAN, além de desanimarem os pesquisadores envolvidos.

Ainda no início de 2017, a única planta de reciclagem de lâmpada europeia também teve suas atividades encerradas, o que representa um passo atrás nas políticas de sustentabilidade voltadas à economia circular, tendo em vista que não existe no momento nenhuma planta de reciclagem para reaproveitamento de Terras-Raras em operação na Europa apesar de todo investimento envolvido em pesquisas no tema.

Neste momento, é necessário cautela diante do claro perigo de que as principais competências em Terras-Raras sejam lentamente perdidas, fato este que ocorreu no período 1990-2011, semelhantemente ao que ocorreu no Brasil, período este no qual a maioria dos especialistas nas etapas da cadeia produtiva de Terras-Raras buscou outros campos de pesquisa ou se aposentaram.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J. V. Diagnóstico das tendências para o acesso a fontes alternativas de terras raras a partir de produtos acabados: reciclagem de ímãs permanentes. Curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Trabalho de Conclusão de Curso. 2014.
- BARNETT, M.; GREGORY, S.; PALUMBO-ROE, B. Assessment of bioleach and salt leach for the extraction of rare earth elements from ion adsorption clays. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotos Conferences. p. 106-108. 2017.
- BINNEMANS, K.; JONES, P. T.; VAN ACKER, K.; MISHRA, B.; APELIAN, D. Rare earths economics: the balance problem. The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society, v. 65, n. 7, p. 846-848, 2013.
- BINNEMANS, K.; JONES, P. T. Rare earths and the balance problem. Journal of Sustainable Metallurgy, v. 1, n. 1, p. 29-38, 2015.
- CASTILLOUX, R. New mines and intra-lanthanide substitutions are key to a sustainable rare earth supply chain. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotos Conferences. p. 18-21. 2017.
- EREAN. Disponível em: <http://erean.eu/index.php>. Acesso em junho 2017.
- EURARE. Disponível em: <http://www.eurare.eu/home.html/>. Acesso em julho 2017.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Circular economy in Europe Developing the knowledge base. EEA Report, n. 2, 2016. Disponível em: <http://www.socialistsanddemocrats.eu/sites/default/files/Circular%20economy%20in%20Europe.pdf>. Acesso: julho 2017.
- FERREIRA F. A; NASCIMENTO M. Terras Raras: Aplicações Atuais e Reciclagem. Série Tecnologia Mineral, 91, CETEM/MCTIC, Rio de Janeiro, 2013. 72 p.

- GIESE, E. C.; JORDÃO, C. S.; NASCIMENTO, M. Lanthanide separation by chemically modified bacteria biomass. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 126-127. 2017.
- KREBS, D. Sustainable production of rare earths in Greenland. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 32-46. 2017.
- MALEKE, M. M.; CASTILLO, J.; CASON, E. D.; GOMEZ-ARIAS, A.; MOLOANTO, K.; VAN HEERDEN, E. New reductive interactions of rey by thermus *Scotoductus* sa-01 and *Clostridium* sp. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 110-111. 2017.
- PALUMBO-ROE, B.; GREGORY, S.; BARNETT, M.; DEADY, E.; ESTRADE, G.; GOODENOUGH, K. Sequential chemical extractions to inform bioleaching of lowgrade ree deposits: a comparative study of ree solid partitioning in turkish bauxites and madagascar laterites. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 112-113. 2017.
- PELLEGRINI, M.; GODLEWSKA, L.; MILLET, P.; GISLEV, M.; GRASSER, L. EU potential in the field of rare earth elements and policy actions. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 12-15. 2017.
- REGADÍO, M.; BINNEMANS, K. Separation of rare earths by mixtures of an ionic liquid and a neutral extractant. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 121-122. 2017.
- REMMEN, K.; SCHÄFER, R.; HENGEVOSS, D.; HUGI, C.; WINTGENS, T.; LENZ, M. Selective crm recovery from acidic solutions by nanofiltration. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotospos Conferences. p. 129-130. 2017.

SOBEKOVA FOLTOVA, S.; VANDER HOOGERSTRAETE, T.; BINNEMANS, K. Samarium/cobalt separation by solvent extraction with ionic liquids. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotos Conferences. p. 135-136. 2017.

SoS RARE. Disponível em: <http://www.bgs.ac.uk/sosRare/about.html>. Acesso: julho 2017.

TYUMENTSEV, M. S.; FOREMAN, M. R. St. J.; STEENARI, B-M. Development of polyamide solvent extraction reagents for trivalent lanthanides. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotos Conferences. p. 111-112. 2017.

YANG, Y. Re recovery from NdFeB permanent magnet scrap: challenges and opportunities in Europe. Anais do ERES 2017: 2nd European Rare Earth Resources Conference. Santorini, Heliotos Conferences. p. 46-47. 2017.

YANG, Y.; WALTON, A.; SHERIDAN, R.; GÜTH, K.; GAUß, R.; GUTFLEISCH, O.; BUCHERT, M.; STEENARI, B-M.; VAN GERVEN, T.; JONES, P. T.; BINNEMANS, K. REE recovery from end-of-life NdFeB permanent magnet scrap: a critical review. Journal of Sustainable Metallurgy, v. 3, n. 1, p. 122-149, 2017.

## SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2016, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 300 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

### Últimos números da Série Estudos e Documentos

SED-92 - **Mineração e Garimpo em Terras Indígenas**. Maria Inês Ferreira da Costa de Almeida, 2016.

SED-91 - **Fechamento de Minas no Brasil: Aspectos legais e consequências sobre o meio ambiente e populações locais**. Eliane Rocha Araujo, 2016.

SED-90 - **Gestão da Inovação: Uma Revisão Estratégica para as Empresas**. Ana Maria B. M. da Cunha e Abraham Benzaquem Sicsú, 2016.

SED-89 - **Avaliação do Ciclo de Vida na Mineração: Estudo da produção de minério de ferro**. Giancarlo Alfonso Lovón-Canchumani, Francisco Mariano da Rocha de Souza Lima, Pedro Palhano de Oliveira, 2015.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto:biblioteca@cetem.gov.br)

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

## **NOVAS PUBLICAÇÕES**

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.



## Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações - MCTIC, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na Cidade Universitária, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 39 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.