

Terras-raras: situação atual e perspectivas

Marco Aurélio Ramalho Rocio, Marcelo Machado da Silva,
Pedro Sérgio Landim de Carvalho e José Guilherme da Rocha Cardoso

<http://www.bnDES.gov.br/bibliotecadigital>

Terras-raras: situação atual e perspectivas

Marco Aurélio Ramalho Rocio

Marcelo Machado da Silva

Pedro Sérgio Landim de Carvalho

José Guilherme da Rocha Cardoso*

Resumo

Este artigo tem o propósito de examinar as condições do estabelecimento de uma cadeia produtiva baseada em elementos de terras-raras no Brasil. Inicialmente, o artigo expõe definições básicas sobre a natureza desses elementos químicos e suas principais aplicações. Em seguida, são citadas as fontes minerais mais empregadas na obtenção das terras-raras, o modo de ocorrência desses minerais e as principais reservas mundiais de terras-raras. Ainda do ponto de vista mundial, apresenta-se o balanço de oferta e demanda de produtos de terras-raras, em especial dos óxidos. Por fim, descrevem-se as ocorrências minerais e as reservas de terras-raras, a produção e o consumo de compostos no Brasil e conclui-se que uma forma de estimular a mineração de terras-raras e a fabricação de produtos com base nesses insumos, no país, seria por meio de parcerias/consórcios entre as empresas consumidoras e as empresas mineradoras, com vistas a diminuir o risco da falta de abastecimento

* Respectivamente, geólogo, economista, gerente e chefe do Departamento de Indústria de Base do BNDES.

e a volatilidade e a permitir uma margem adequada para as mineradoras, viabilizando, assim, investimentos nesse segmento estratégico.

Introdução

As terras-raras compreendem um grupo de 17 elementos químicos metálicos de ampla distribuição na crosta terrestre, mas a baixas concentrações. As maiores reservas encontram-se na China, na Comunidade dos Estados Independentes (CEI), nos Estados Unidos da América (EUA), na Índia e na Austrália. A aplicação desses elementos está voltada à produção de catalisadores, ímãs permanentes, ligas metálicas, polidores, fosforescentes e corantes e cerâmicas. Além dos escassos recursos minerais que lhe servem de matéria-prima, a sintetização de cada elemento requer alta tecnologia, o que onera substancialmente a cadeia de produção.

Além de proprietária de grandes reservas minerais, a China é o principal produtor dos elementos de terras-raras e controla cerca de 95% da oferta mundial. Entre os maiores consumidores dos compostos e metais estão a própria China, o Japão, os EUA, a Alemanha, a França e a Áustria. Em 2010, o consumo chinês foi de setenta mil toneladas.

De 1886 a meados da segunda década do século XX, o Brasil foi o maior exportador de monazita, um mineral portador de terras-raras. As reservas de monazita litorâneas foram exploradas até meados dos anos 1990. Por conter elementos radioativos, o aproveitamento da monazita para a obtenção de terras-raras foi descartado. As reservas atuais localizam-se nos estados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro e totalizam cerca de 31 mil toneladas de metais contidos. Sabe-se, também, que o país dispõe de reservas minerais significativas, ainda não exploradas, localizadas nos municípios de Presidente Figueiredo (AM) e de Catalão (GO).

A produção atual de óxidos de terras-raras no Brasil é de cerca de 550 toneladas, das quais a maior parte é de lantânio. As principais indústrias nacionais consumidoras diretas de produtos de terras-raras são as fabricantes de catalisadores, vidros e cerâmicas; e as consumidoras indiretas, as fabricantes de motores e turbinas eólicas. A demanda brasileira de terras-raras é incipiente, correspondendo a cerca de 1% da demanda mundial. O consumo de produtos de terras-raras na forma de compostos químicos e manufaturados foi de 1.315 toneladas, em 2010.

As importações brasileiras de terras-raras, em 2010, somaram US\$ 14,1 milhões, e as exportações US\$ 1,4 milhão.

Hoje existem diversos projetos de exploração em desenvolvimento, a maioria deles concentrada na China, EUA, CEI e Canadá. O aporte desses novos projetos deverá gerar uma sobreoferta já a partir de 2015, o que pode aumentar ainda mais a volatilidade dos preços desses elementos, que já é muito alta.

Neste artigo, a segunda e a terceira seção abordam a natureza, aplicações e principais ocorrências dos elementos de terras-raras. A quarta, quinta e sexta seções ocupam-se do mercado mundial desses elementos. As duas últimas seções discorrem sobre a ocorrência e a produção das terras-raras no Brasil e as perspectivas para o estabelecimento de uma cadeia produtiva nacional baseada nesses metais.

Definições

Os elementos de terras-raras ou metais de terras-raras (abreviadas como TR) formam um conjunto de 17 elementos químicos que inclui o escândio (símbolo químico Sc), o ítrio (Y) e os 15 elementos da série dos lantanídeos [do lantânio (La) ao lutécio (Lu)]. O cério (Ce) é o mais abundante dos elementos de TR e o 25º elemento mais abundante na crosta terrestre. Por sua instabilidade isotópica, o promécio (Pm) é o mais raro dos elementos de TR.

Os elementos de TR são conhecidos desde 1787, quando o mineralogista sueco Carl Axel Arrhenius descobriu o mineral gadolinita, um silicato de cério e ítrio, na localidade de Ytterby, na Suécia. Entretanto, somente em 1913, com o uso da espectrografia de raios X, pelo físico inglês Henry Moseley, foi possível determinar o número exato de lantanídeos que completaria o conjunto de elementos de TR.

Ainda que abundantes, os minerais portadores de elementos de TR são difíceis de extrair, o que encarece sua produção.

As técnicas de separação modernas incluem a troca catiônica, a cristalização fracionada e a extração líquido-líquido.

Nas etapas de exploração e transformação são obtidos, sucessivamente, os seguintes produtos contendo elementos de TR: (i) mineral portador; (ii) concentrados químicos; (iii) óxidos em elevados graus de pureza; e (iv) metais e ligas metálicas.

Aplicações

As aplicações mais comuns das TR são as seguintes: ímãs permanentes, circuitos eletroeletrônicos, catalisadores de gases de escapamento, equipamentos de *laser*, telefones celulares, corantes em vidros e cerâmicas, lentes de alta refração e ligas metálicas.

A Tabela 1 mostra as principais aplicações de cada elemento de TR e, no Apêndice I, relacionam-se as aplicações aos produtos de elementos de TR.

Tabela 1 | As principais aplicações dos elementos de TR

Elemento	Símbolo	Aplicações
Escândio	Sc	Em ligas de alumínio para componentes aeroespaciais; adicionado ao mercúrio em lâmpadas a vapor.
Ítrio	Y	Em <i>laser</i> de ítrio-alumínio; supercondutores de alta temperatura; em vanadato de ítrio como receptor do européio (pigmento vermelho em tubos de raios catódicos); filtro de micro-ondas de ítrio-ferro.
Lantânio	La	Vidros de alto índice de refração; armazenamento de hidrogênio; eletrodos de bateria; lentes de câmeras; catalisadores de fluidos em refinarias de petróleo.
Cério	Ce	Agente oxidante; pó para polimento; colorante amarelo em vidros e cerâmicas; catalisadores em fornos autolimpantes; catalisadores de fluidos em refinarias de petróleo.
Praseodímio	Pr	Ímãs; <i>lasers</i> ; iluminação de arco de carbono; colorantes em vidros e esmaltes; aditivo em lentes de óculos de soldagem.
Neodímio	Nd	Ímãs; <i>lasers</i> ; colorante violeta em vidros e cerâmicas; capacitores de cerâmica.
Promécio	Pm	Baterias nucleares.
Samário	Sm	Ímãs; <i>lasers</i> ; captura de nêutrons.
Európio	Eu	Pigmento em tubos de raios catódicos; <i>lasers</i> ; adicionado ao mercúrio em lâmpadas a vapor; agente de relaxação em ressonância magnética nuclear.
Gadolínio	Gd	Ímãs; vidros de alto índice de refração; <i>lasers</i> ; tubos de raios X; <i>chips</i> de memória; captura de nêutrons; agente de contraste em imagens de ressonância magnética; agente de relaxação em ressonância magnética nuclear.
Térbio	Tb	Ímãs permanentes; pigmento verde em tubos de raios catódicos; <i>lasers</i> ; lâmpadas fluorescentes.

Continua

Continuação

Elemento	Símbolo	Aplicações
Disprósio	Dy	Ímãs permanentes; <i>lasers</i> .
Hólmio	Ho	<i>Lasers</i> .
Érbio	Er	<i>Lasers</i> ; liga de aço-vanádio.
Túlio	Tm	Máquinas portáteis de raios X.
Itérbio	Yb	<i>Lasers</i> de infravermelho; agente químico redutor.
Lutécio	Lu	Detectores para tomografia por emissão de pósitrons; vidros de alto índice de refração.

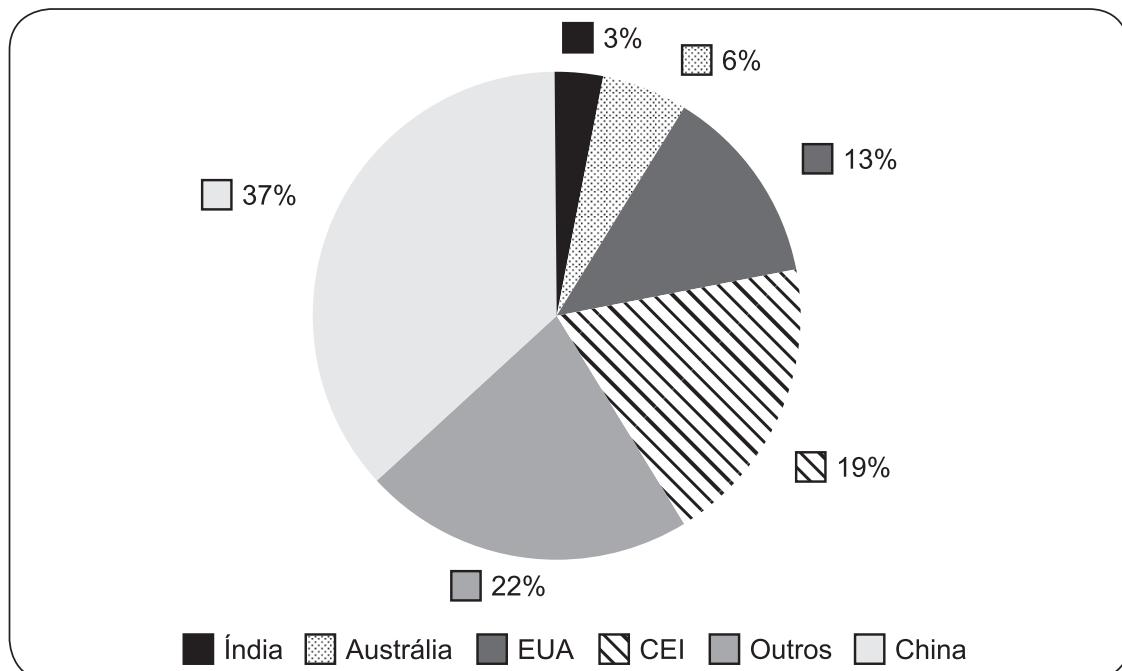
Fonte: Disponível em: <en.wikipedia.org/wiki/Rare_earth_element>.

Recursos minerais

Apesar do nome, os elementos de TR são abundantes na crosta terrestre, mas as concentrações disponíveis para mineração são menores que aquelas referentes à maioria dos demais elementos.

A China dispõe de 37% das reservas mundiais, mas depósitos significativos também são encontrados na CEI, nos EUA e na Austrália (Gráfico 1).

Gráfico 1 | Participação dos principais países nas reservas mundiais de minérios de TR, em 2010



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Fontes de elementos de TR

As principais fontes de elementos de TR são:

1. Minerais contendo ítrio e lantanídeos pesados (do térbio ao lutécio):

- a. gadolinita: silicato de ítrio, lantânio, neodímio, berilo e ferro;
- b. xenotímio: fosfato de ítrio;
- c. samarskita: óxido de nióbio-tântalo, ítrio e itérbio;
- d. euxenita: óxido de nióbio-tântalo, ítrio, cério e tório; e
- e. fergusonite: óxido de nióbio-tântalo, ítrio, cério e lantânio.

Principal depósito contendo ítrio e lantanídeos pesados:

- Ontário (Canadá) – ítrio como subproduto de minérios de urânio.

2. Minerais contendo lantanídeos leves (do lantânio ao gadolínio):

- a. bastnasita: combinação de fluoretos e carbonatos de cério, lantânio e ítrio;
- b. monazita: fosfato de TR e tório;
- c. loparita: óxido de titânio e cério; e
- d. allanita: silicato de ferro, manganês, cério e ítrio.

Principais depósitos contendo lantanídeos leves:

- Califórnia (EUA) e vários locais na China – bastnasita;
- África do Sul – monazita em pegmatito; e
- Península de Kola (Rússia) – loparita.

3. Ocorrem, também, retidos na forma iônica em argilas lateríticas (mistura de óxidos e silicatos), como nos depósitos de ítrio e lantanídeos pesados no sul da China, ao teor de 65% de óxido de ítrio.

De forma secundária, os minerais de TR podem concentrar-se em depósitos arenosos aluviais ou marinhos, denominados *pláceres*, como as areias monazíticas na Austrália, no Brasil e na Índia. A monazita tornou-se uma fonte menos importante de TR em razão de seu conteúdo de tório radioativo. A Tabela 2 lista o modo de ocorrência dos principais minerais portadores de TR.

Tabela 2 | Modo de ocorrência dos principais minerais portadores de elementos de TR

Mineral	Ocorrência
Gadolinita	Em veios pegmatíticos, principalmente
Bastnasita	Em pegmatitos de granitos alcalinos e depósitos metassomáticos
Monazita	Em granitos, gnaisses, aplitos e pegmatitos e em depósitos detritícios (areias)
Allanita	Em granitos, sienitos, dioritos e pegmatitos; em rochas metamórficas, ocorre em gnaisses, anfibolitos, skarnitos e outras; raramente como espécie detritica (areias)
Xenotímio	Em granitos e pegmatitos
Loparita	Em rochas metamórficas e associado a intrusões máficas, sienitos nefelínicos e carbonatitos
Fergusonite	Em pegmatitos graníticos e rochas alcalinas
Samarskita	Em pegmatitos de granitos
Euxenita	Em pegmatitos
Argilas lateríticas	Íons retidos

Fonte: Disponível em: <www.mindat.org/>.

Reservas mundiais de minérios de TR

A Tabela 3 distribui as reservas mundiais de minérios de TR, segundo os principais países detentores, entre 2003 e 2011.

Tabela 3 | Reservas mundiais de minérios de TR, entre 2003 e 2011, segundo os maiores produtores (em mil toneladas de óxidos de TR contidos)

País	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
China	27.000	27.000	27.000	27.000	27.000	27.000	27.000	36.000	55.000
CEI	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000	19.000
EUA	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Índia	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	1.100	3.100	3.100
Austrália	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.200	5.400	1.600*
Brasil	110	110	ND	ND	ND	48	48	48	48

Continua

Continuação

País	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Malásia	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Canadá	940	940	ND						
África do Sul	390	390	ND						
Sri Lanka	12	12	ND						
Outros	21.000	21.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000	22.000
Mundo	88.000	99.000	110.000						

Fonte: USGS (2011).

ND = dado não disponível.

* Provável mudança de metodologia de cálculo de reserva.

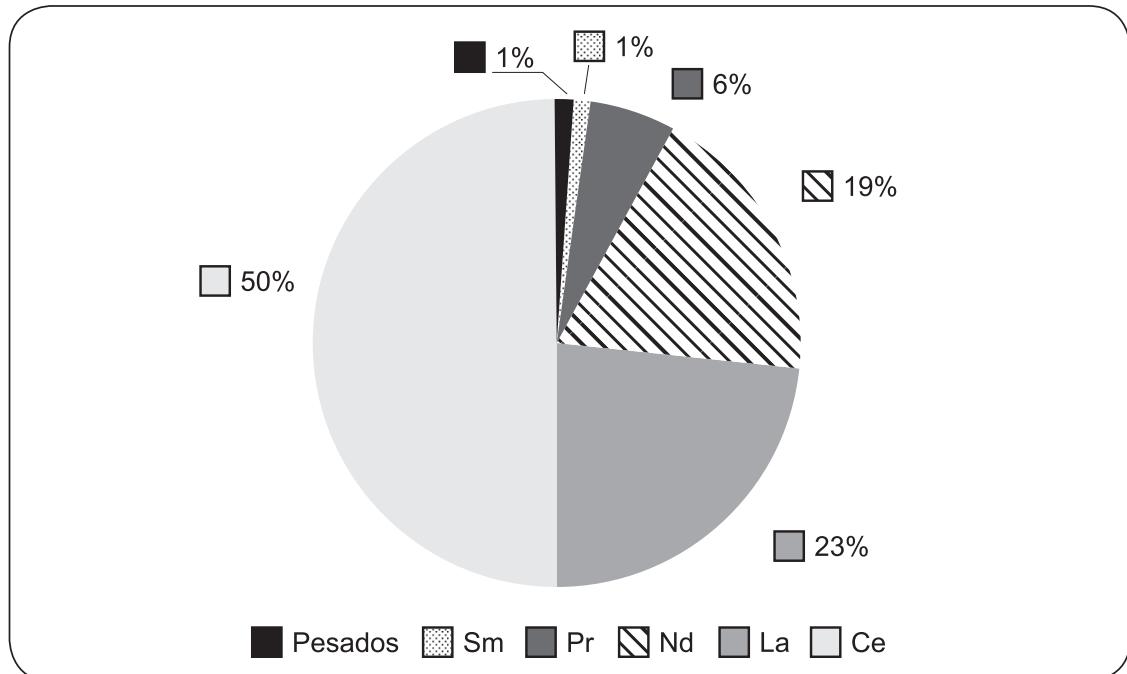
A seguir, será informada a tipificação, quanto aos teores de elementos de TR, das principais reservas da China, Austrália, Canadá, EUA, Dinamarca (Groenlândia) e África do Sul.

China

Os elementos de TR contidos na bastnasita são obtidos nas províncias da Mongólia Interior, de Gansu e de Sichuan. Na primeira província, o mineral é obtido como subproduto da extração do ferro, o que garante custos relativamente baixos em relação aos demais produtores. Nas duas outras, a bastnasita é obtida diretamente por mineração. As reservas na Mongólia Interior atingem trezentos milhões de toneladas, a um teor de 1,5% de óxidos e fator de recuperação de 25% a 50%. Em Sichuan, as reservas chegam a 17 milhões de toneladas, a um teor de 3% de óxidos de TR e fator de recuperação de 50%. A proporção dos elementos de TR na bastnasita da Mongólia Interior é observada no Gráfico 2. O mineral extraído em Sichuan tem composição semelhante.

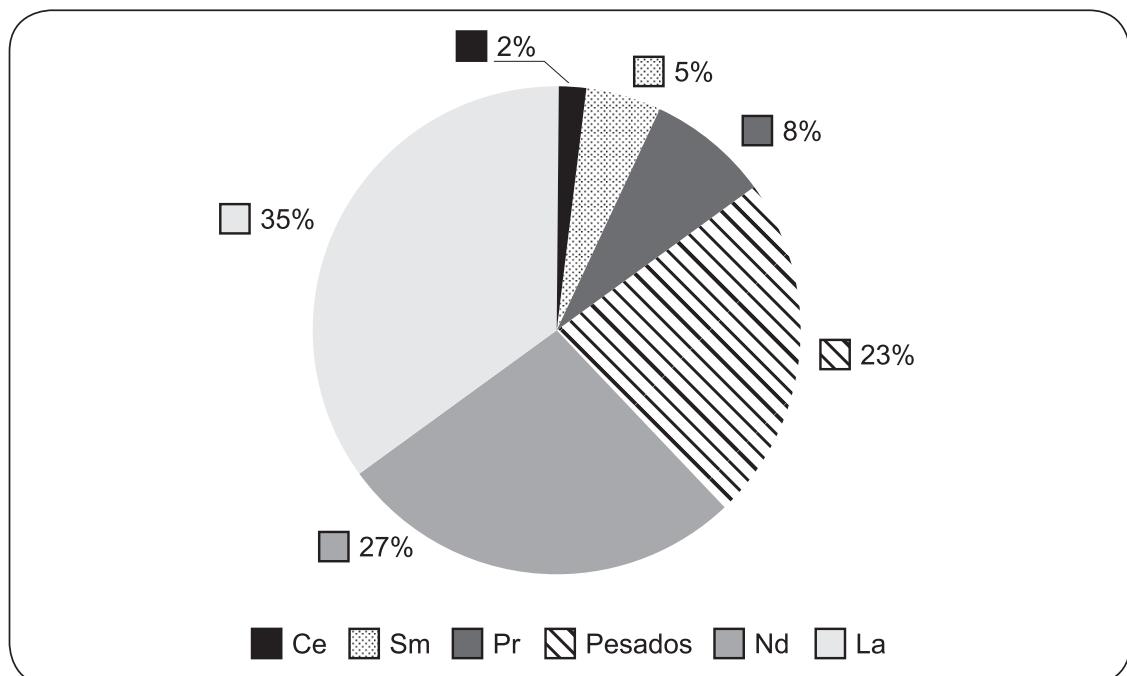
A extração de elementos de TR ocorre também nas províncias de Guangdong, de Hunan, de Jiangxi e de Jiangsu, a partir de argilas lateríticas. A proporção dos elementos de TR nas argilas de Jiangxi é exposta no Gráfico 3. Nessas argilas, o conteúdo de cério é baixo, mas o de elementos pesados de TR e de ítrio é particularmente elevado.

Gráfico 2 | Proporção dos elementos de TR no minério proveniente da Mongólia Interior, no norte da China



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Gráfico 3 | Proporção dos elementos de TR nas argilas provenientes de Jiangxi, no sul da China



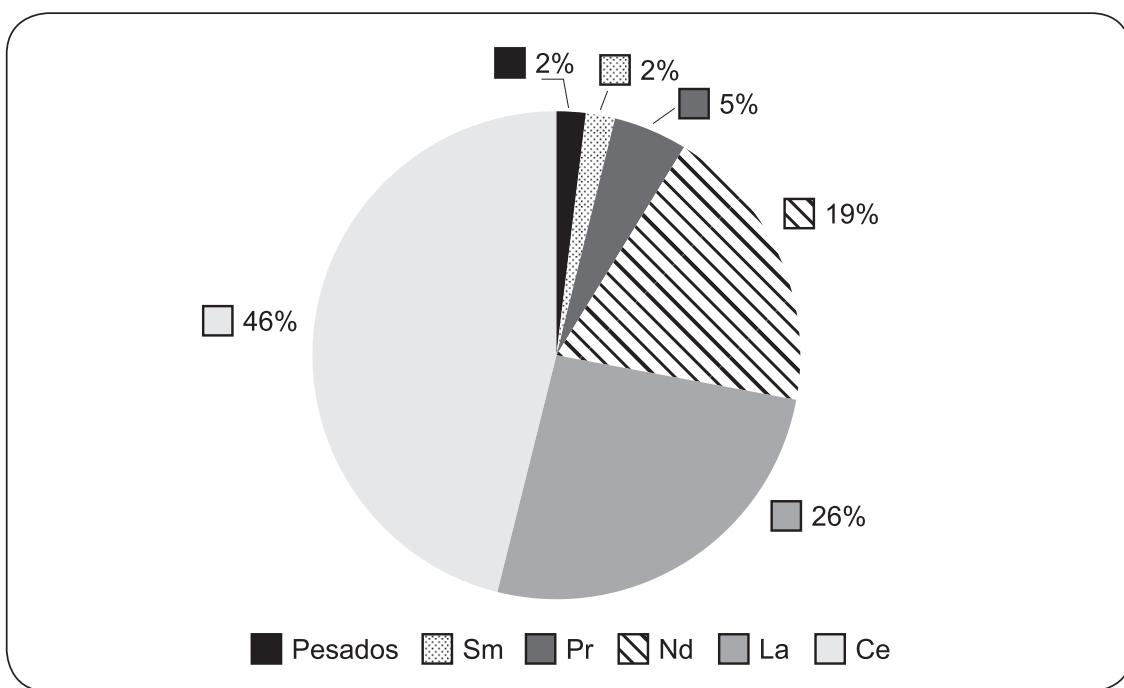
Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Austrália

Mount Weld

As reservas de Mount Weld foram estimadas em 12,2 milhões de toneladas de minério de monazita, a um teor de 9,7% de óxidos. O Gráfico 4 exibe a proporção dos elementos de TR encontrados na monazita de Mount Weld. A fina granulação do minério torna difícil seu tratamento.

Gráfico 4 | Proporção dos elementos de TR na monazita das reservas de Mount Weld, na Austrália



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

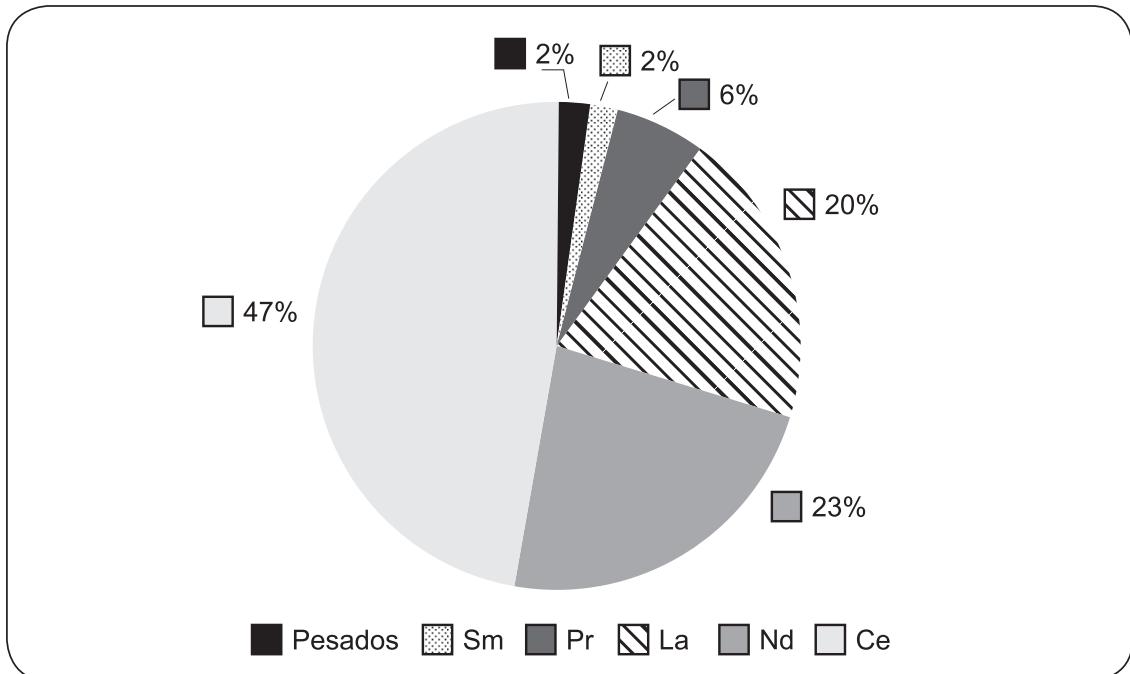
Nolans

As reservas do projeto Nolans são estimadas em 30,3 milhões de toneladas, a um teor de 2,8% de óxidos. A distribuição dos elementos de TR é mostrada no Gráfico 5.

Outros projetos

Estima-se que o projeto Dubbo Zirconia tenha uma reserva de 73,2 milhões de toneladas de minério, a um teor de 0,75% de óxidos. Além deste, o país conta com o Projeto Cummins Range, que se encontra no estágio de perfurações.

Gráfico 5 | Proporção dos elementos de TR nas reservas do projeto Nolans, na Austrália



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Canadá

Projeto Hoidas Lake

Estima-se uma reserva de minério de 1,4 milhão de toneladas, a um teor de 2,56% de óxidos. A proporção dos elementos de TR é observada no Gráfico 6.

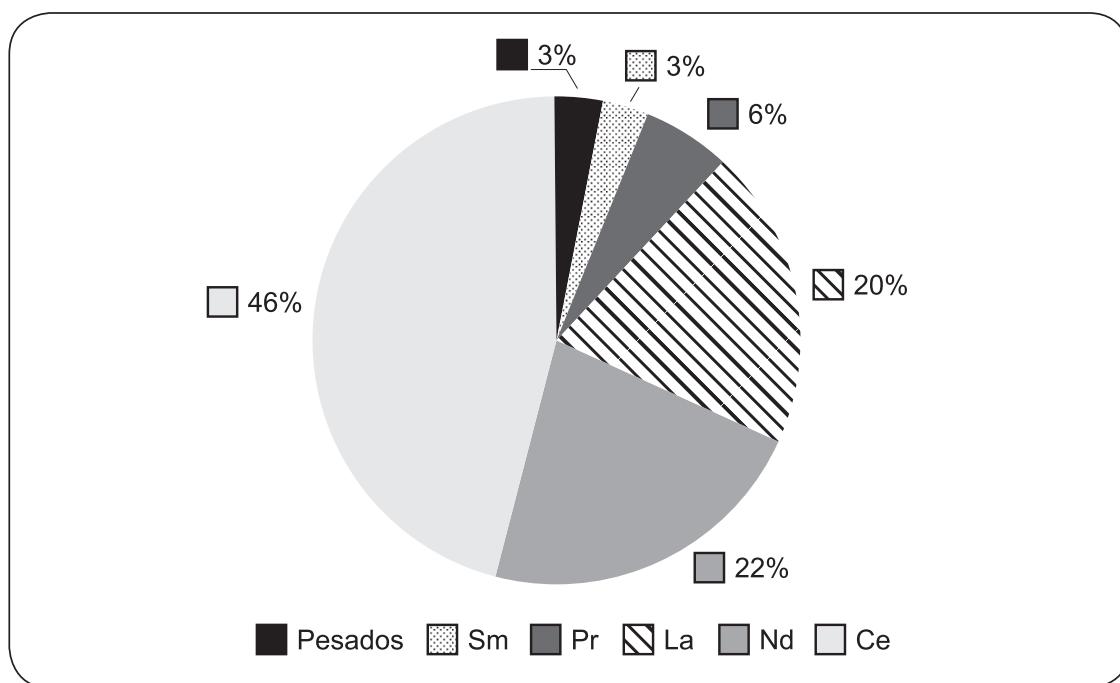
Projeto Thor Lake

Estima-se uma reserva de minério de 64,2 milhões de toneladas, a um teor de 1,79% de óxidos. A proporção dos elementos de TR é exibida no Gráfico 7.

Outros projetos

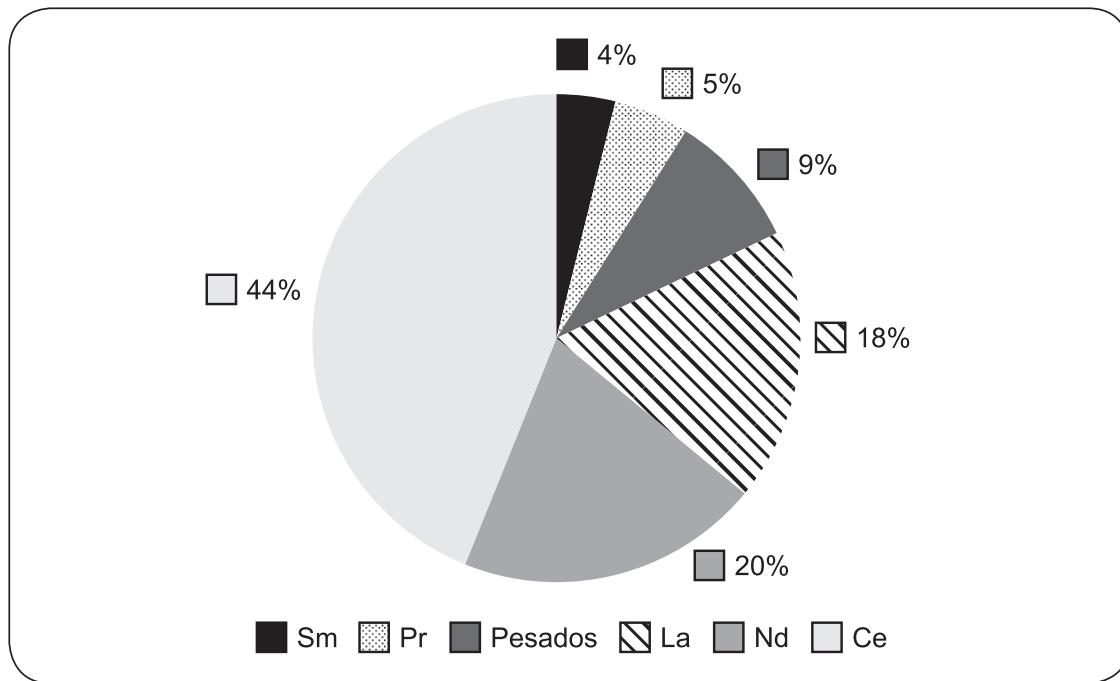
Benjamin River e Douglas River, com elevados teores de elementos pesados de TR, Eden Lake, Elliot Lake e Zeus.

Gráfico 6 | Proporção dos elementos de TR nas reservas do projeto Hoidas Lake, no Canadá



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Gráfico 7 | Proporção dos elementos de TR nas reservas do projeto Thor Lake, no Canadá



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

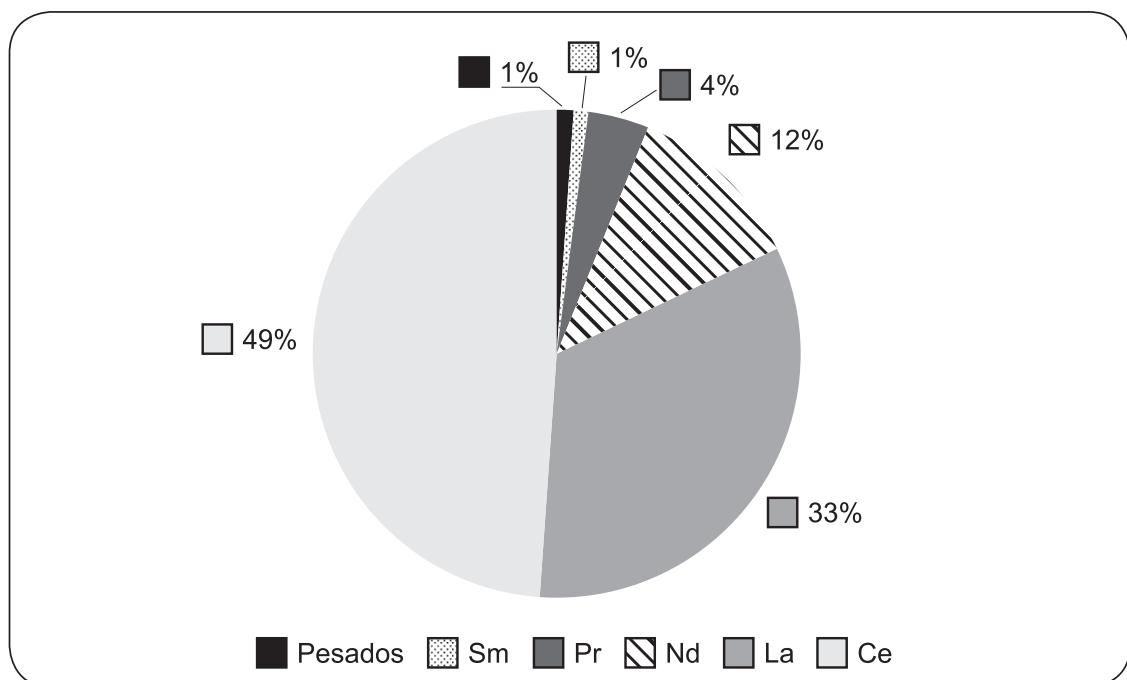
Mountain Pass

Trata-se da reabertura da mina que já foi a maior do mundo, mas que, por razões ambientais e baixos preços das TR, foi fechada em 2002. As reservas provadas são de cinquenta milhões de toneladas de minério, a um teor de 8,6% de óxidos, e de vinte milhões de toneladas, a um teor de 9,4%. Predominam os elementos cério e lantânio, como se observa no Gráfico 8.

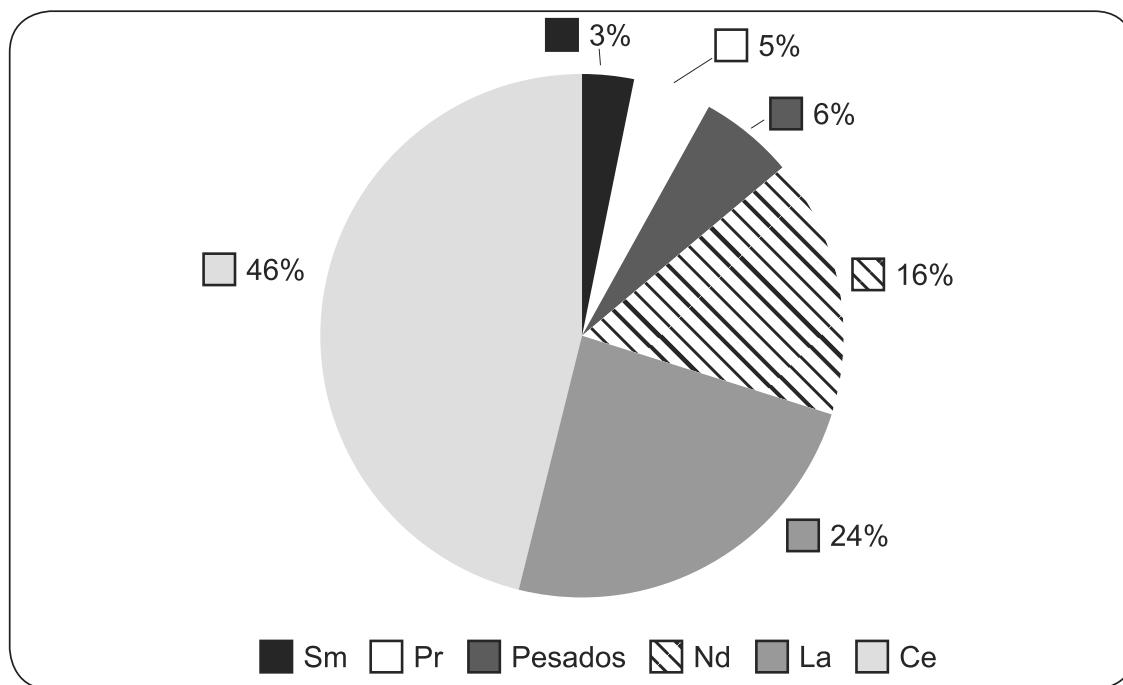
Deep Sands

Este projeto baseia-se em areias enriquecidas em elementos de TR. Os teores de óxido oscilam entre 0,14% e 0,80%, os quais, embora baixos, são compensados pelo tipo de material e a grande quantidade estimada de minério, entre vinte e 120 milhões de toneladas. A proporção de elementos de TR é mostrada no Gráfico 9.

Gráfico 8 | Proporção dos elementos de TR nas reservas de Mountain Pass, nos EUA



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Gráfico 9 | Proporção dos elementos de TR nas reservas de Deep Sands, nos EUA

Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Outros projetos

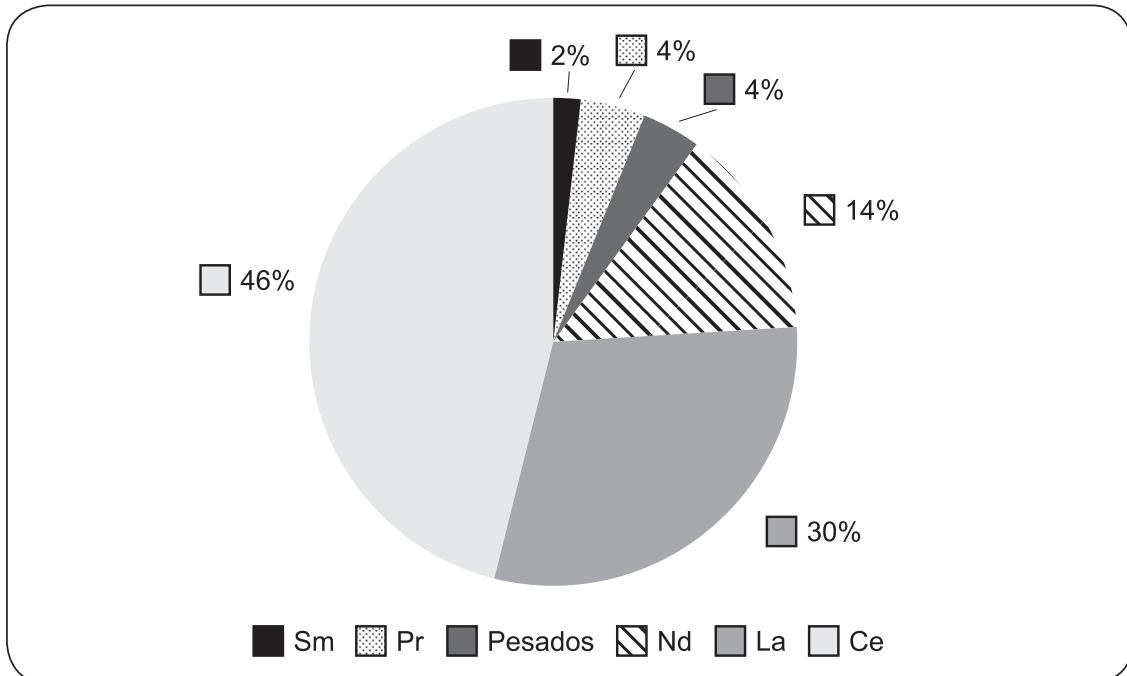
O projeto Bokan Mountain realiza a exploração de TR, embora como objetivo secundário. Tem reserva estimada em 170 milhões de toneladas de óxidos de elementos de TR, majoritariamente pesados.

O projeto Bear Lodge apresenta reserva inferida de 8,9 milhões de toneladas de óxidos, a um teor de 4,1%.

Dinamarca (Groenlândia)

O projeto Kvanefjeld, ainda em fase de pré-viabilidade, tem reservas indicadas e inferidas de 457 milhões de toneladas, a um teor de 1,07%. Além de elementos de TR, pretende-se explorar depósitos de urânio e de minerais de zinco e fluoreto de sódio, o que reduzirá os custos de extração das TR. A distribuição do conteúdo de TR é exposta no Gráfico 10.

Gráfico 10 | Proporção dos elementos de TR nas reservas de Kvanefjeld, na Groenlândia



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

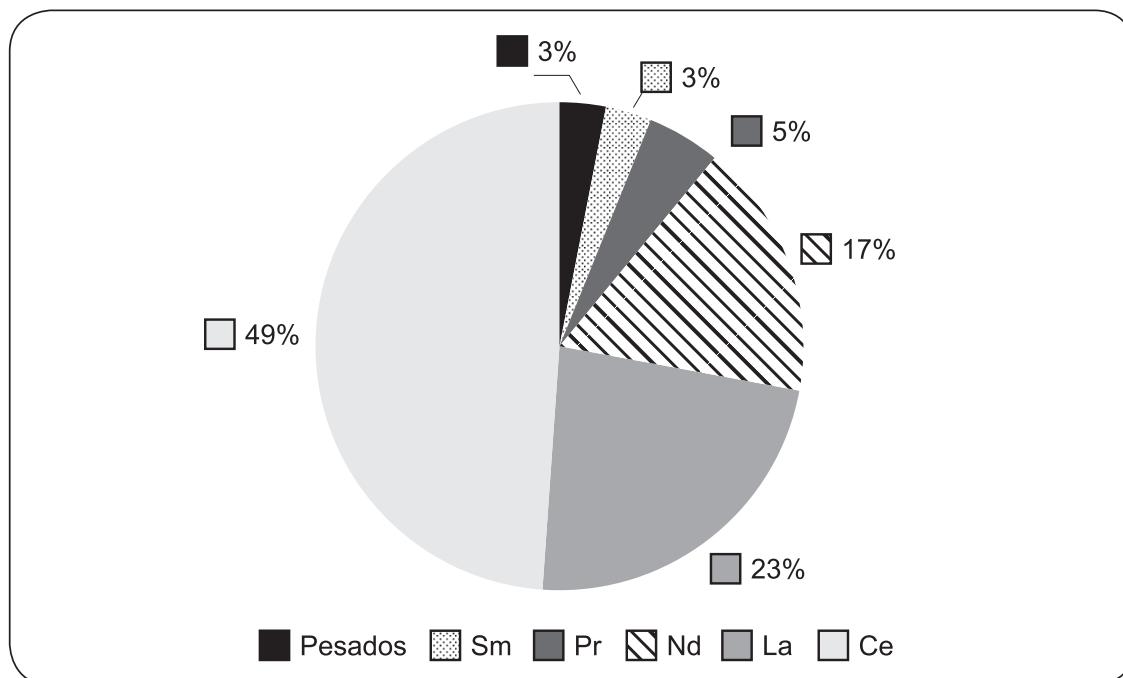
África do Sul

Mina de Steenkampskraal

Trata-se de uma antiga mina de tório que **esteve ativa** entre os anos de 1952 e 1963. Nos anos 1990, pretendeu-se a exploração de TR, mas tornou-se inviável por causa dos preços baixos do material chinês. Estima-se que nas 249,5 mil toneladas de minério e de rejeito o teor de óxidos seja de 16,74%. A proporção do conteúdo de TR é exibida no Gráfico 11.

Outras reservas

Na África do Sul, o projeto Zandkopsdrift tem reserva estimada de 31,5 milhões de toneladas, a um teor de 3,6% de óxidos de TR. No Malawi, há reservas inferidas de 107 mil toneladas, a um teor de 4,24% de óxidos, e baixos teores de tório. Na Groenlândia, há o projeto Sarfartoq.

Gráfico 11 | Proporção dos elementos de TR nas reservas de Steenkampskraal, na África do Sul

Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Oferta mundial de TR

Desde a descoberta, em 1886, das areias monazíticas em Cumuruxatiba, na Bahia, até 1915, o Brasil foi o maior produtor isolado de minério de TR. Entre 1915 e 1960, o país dividiu essa liderança com a Índia.

Durante os anos 1950, a África do Sul atingiu a posição de produtor mundial depois da descoberta de veios pegmatíticos ricos em monazita. Dos anos 1960 aos anos 1980, a mina de Mountain Pass, na Califórnia, tornou-se a maior produtora de minérios de TR.

Atualmente, a produção mundial de óxidos de TR, de cerca de 134 mil toneladas, é composta por 97% de participação chinesa. Além disso, praticamente toda a oferta de TR pesadas é suprida pela China, com cerca de 97% em 2010.

As preocupações com o suprimento intensificaram-se em virtude dos recentes movimentos do principal produtor de TR. Nos últimos dois anos, a China vem anunciando algumas restrições ao comércio de TR, que incluem tributos mais altos sobre os minérios, restrições rigorosas às exportações e

pressões para o processamento do minério no próprio país. Essas medidas foram complementadas pela repressão ao contrabando de substâncias minerais.

Em setembro de 2009, a China anunciou planos de redução da quota de exportação em 35 mil toneladas entre 2010 e 2015, sob a alegação de conservar suas reservas e proteger o meio ambiente. Em outubro de 2010, o jornal *China Daily* publicou que o país reduziria as quotas de exportação de TR em cerca de 30% para proteger suas reservas da sobre-exploração. Já no fim de 2010, foi anunciado que a primeira rodada de quotas de exportação de 2011 seria de aproximadamente 14,5 mil toneladas, o que representava uma queda de 35% da primeira quota de 2010. Além das medidas restritivas internas, a China realizou aquisições de mineradoras e de áreas em países africanos com o propósito de garantir o suprimento de minerais de TR.

Em consequência do aumento da demanda e das restrições da oferta exportada iniciadas pela China, novas pesquisas de fontes de TR estão em curso na África do Sul, na Austrália, no Brasil, no Canadá, na Groenlândia e nos EUA. As minas nesses países foram fechadas quando houve a acelerada queda de preços, nos anos 1990, provocada pela abundante oferta chinesa. Conforme já comentado, está em processo de reabertura a mina de Mountain Pass, na Califórnia. Outros depósitos importantes em desenvolvimento incluem os projetos Nolans e Mount Weld, na Austrália, e o projeto Hoidas Lake, no Canadá. Este projeto tem potencial para suprir cerca de 10% do consumo anual de TR nos EUA.

Cogita-se, ainda, como mencionado anteriormente, a reativação das minas no complexo intrusivo alcalino de Thor Lake, no Canadá, outras no Vietnã, nos EUA (Nebrasca) e em Kvanefjeld, Groenlândia.

Além disso, a mineradora australiana Lynas está concluindo uma refinaria de processamento de TR no porto de Kuantan, na Malásia, onde será processado o minério de baixa radioatividade da mina de Mount Weld. A empresa espera suprir cerca de um terço da demanda mundial de TR, ex-China.

Uma fonte significativa de óxidos de TR encontra-se no lixo eletrônico e de outros equipamentos que contêm componentes produzidos com TR. Os recentes avanços na tecnologia de reciclagem estão viabilizando a extração dessas substâncias. No Japão, estima-se que existam trezentas mil toneladas de TR armazenadas em produtos eletrônicos fora de uso.

Há também quantidades significativas de óxidos de TR em rejeitos acumulados em cinquenta anos de extração de minérios de urânio e de loparita

em Sillamäe, na Estônia. O país é responsável por 2% da produção mundial de TR. A Tabela 4 expõe a produção anual de óxido de TR no mundo e nos principais países produtores.

Tabela 4 | Produção anual de óxidos de TR no mundo e nos principais países produtores

País	Em toneladas de óxidos de TR contidos							
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Brasil	ND	ND	ND	730	650	650	550	550
CEI	2.000	2.000	ND	ND	ND	ND	ND	ND
China	92.000	95.000	119.000	119.000	120.000	120.000	129.000	130.000
Índia	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700	2.700
Malásia	250	250	750	200	380	380	350	350
Tailândia	2.200	2.200	---	---	ND	ND	ND	ND
Outros	---	---	400	ND	ND	ND	ND	ND
Mundo	99.100	102.000	123.000	123.000	124.000	124.000	133.000	134.000

Fonte: USGS (2011).

ND= Não disponível.

---= zero.

Apesar de disporem de reservas expressivas, tanto os EUA quanto a Austrália interromperam a produção nos anos relacionados na Tabela 4 em razão dos baixos preços.

Conforme explicitado, embora a China domine a oferta mundial de TR, diversos projetos se encontram em desenvolvimento em outros países. O período de maturação de um projeto novo, até o início da produção, é de seis a dez anos.

A seguir apresenta-se um sumário sobre os principais países produtores de TR, contemplando sua estrutura de oferta e projetos potenciais.

China

Desde 2003, a produção na China está estruturada em dois grupos. O grupo do norte compreende as províncias da Mongólia Interior, de Gansu e de Sichuan, cuja produção baseia-se em minérios portadores de bastnasita. Esse grupo responde por cerca de 70% da produção chinesa total de TR. O grupo do sul compreende as províncias de Guangdong, de Hunan, de Jiangxi

e de Jiangsu. Sua produção é baseada em argilas enriquecidas em elementos pesados de TR.

As exportações de TR foram rigidamente controladas pela China, como já comentado. As cotas de exportação estão reduzindo-se gradualmente desde 2005, mas a redução nos últimos dois anos foi mais acentuada.

Sabe-se que a China formou grandes estoques depois da queda acentuada nos preços, no fim dos anos 1990. Além disso, em 2006, o país criou uma taxa de exportação cujo efeito foi o aumento em 31% dos preços das matérias primas de TR e a consequente perda de competitividade dos produtores de ímãs fora da China, que ainda perdura.

Essa evidência mostra que tais políticas obtiveram êxito no estímulo ao crescimento da produção de alto valor agregado. Há uma grande preocupação de que a China possa, em breve, restringir mais severamente ou mesmo sustar a exportação de alguns elementos de TR a fim de garantir o suprimento de sua própria demanda crescente nos setores de produção de energia eólica, bicicletas elétricas e motores híbridos. De fato, tal é a expectativa de crescimento da demanda por TR na China, que o país pode tornar-se um importador líquido desses produtos.

Recentemente, o país indicou que poderia aprofundar esse processo. Assim, torna-se necessário o desenvolvimento de minas fora da China. Há, de fato, preocupação com o fato de o país reduzir cotas e tarifas de exportação para forçar uma redução dos preços mundiais e inibir produtores iniciais. Em razão das implicações comercialmente danosas, a China deve ser encorajada a manter a consistência de sua estratégia de longo prazo para as TR. Entretanto, em razão da grande participação das empresas chinesas em produtores estrangeiros, de seus próprios limites de produção e dos níveis de demanda interna, parece improvável que a China decida reduzir cotas e tarifas de exportação.

Com sua capacidade produtiva cada vez maior e seu interesse em aplicações de tecnologias limpas, a demanda interna por TR na China vem aumentando. A crescente produção de ímãs, motores e baterias para exportação agregarão valor à cadeia de suprimento de TR. As empresas fora da China devem escolher entre manter a confiança na cadeia de suprimento chinesa e desenvolver cadeias de suprimento não chinesas. Essa opção é mais atraente em razão das preocupações sobre direitos de propriedade intelectual, restrições ambientais e gestão de risco de suprimento.

Austrália

Na Austrália, há três projetos potencialmente produtores para 2014: Mount Weld, Nolans e Dubbo Zirconia. Os dois últimos, entretanto, com menores chances de realização.

Projeto Mount Weld

Este projeto encontra-se bem adiantado, com as aprovações necessárias e a construção em andamento. Envolve tanto uma mina quanto uma planta de beneficiamento que produzirá um concentrado de 40% de óxidos de TR. Esse concentrado será transportado por mil km até o porto de Fremantle e remetido à Malásia, onde será refinado. A planta na Malásia oferece as vantagens da abundância de água, energia elétrica e mão de obra a baixo custo e da proximidade com as indústrias químicas. O projeto deveria começar no fim de 2009, mas foi suspenso por dificuldades de financiamento. Parte do capital provinha da empresa chinesa China Nonferrous Metal Mining, o que foi bloqueado pelo órgão regulador australiano.

Projeto Nolans

Neste projeto, os estudos de pré-viabilidade já foram realizados e a produção da planta-piloto já iniciou. O projeto beneficia-se da ocorrência conjunta de fosfato, cloreto de cálcio e urânio. Apesar de contar com investimentos da empresa East China Exploration, ainda busca outros parceiros para a obtenção dos financiamentos necessários ao início da produção. Além disso, permanecem algumas questões críticas como: definir as reservas de minério; desenvolver um processo de extração; concluir um estudo de viabilidade; obter as aprovações para a produção; e obter apoio de clientes potenciais.

Projeto Dubbo Zirconia

Este projeto dispõe de uma planta-piloto e já processou setenta toneladas de minério, do que resultou a produção de mais de 1.300 kg de zircônio e trezentos kg de nióbio. A produção de ítrio e demais elementos de TR ainda será acrescentada. Espera-se que a produção anual de mil toneladas de TR comece em 2012.

Canadá

Há dois projetos no Canadá que poderão iniciar a produção entre 2012 e 2014: Hoidas Lake e Thor Lake. O projeto de Hoidas Lake encontra-se

em um estágio exploratório avançado, com alguns testes de produção já realizados. Mas persistem questões críticas a serem solucionadas, como o dimensionamento da reserva de minério, o desenvolvimento de um processo de extração, a finalização do projeto de viabilidade, a obtenção de aprovações para a produção e o apoio de possíveis clientes. Estima-se que a produção anual fique entre três e cinco mil toneladas de óxidos de TR.

O projeto Thor Lake já desenvolveu um avançado trabalho de exploração e o estudo de pré-viabilidade foi iniciado. Os obstáculos a serem vencidos são semelhantes àqueles enfrentados pelo projeto Hoidas Lake. Espera-se, no projeto Thor Lake, uma produção anual de cinco a dez mil toneladas de óxidos de TR, a partir de 2014.

EUA

Nos EUA, a única mina cuja produção ainda não foi iniciada é a de Mountain Pass, visto que os demais projetos potenciais se encontram em estágios iniciais. O projeto Mountain Pass consiste da reabertura da antiga mina de elementos de TR situada na Califórnia, que já foi a maior do mundo. O volume das reservas já está provado e são conhecidos os métodos de produção e beneficiamento de cada elemento de TR.

O projeto hoje dispõe de todas as licenças de produção e ambientais. O objetivo de produção diária é de duas mil toneladas de minério a partir de 2012.

A planta de separação já foi reiniciada para processar as pilhas de estoque de concentrado de bastnasita e a mineração de material novo reiniciou em 2011. Em 2009, a produção de óxidos de TR foi de 2,15 mil toneladas; em 2010 e 2011, de três mil toneladas; e, em 2012, espera-se produção de vinte mil toneladas de óxidos.

A empresa controladora do empreendimento, Molycorp, pretende integrar gradualmente a produção até a produção de ímãs de neodímio.

Outros países

Nos demais países, os projetos encontram-se em estágio inicial. Kvanefjeld, na Groenlândia, poderá atingir a produção de vinte mil toneladas anuais de óxidos de TR em 2014, apesar das etapas de planejamento e avaliação a serem vencidas.

Síntese

A Tabela 5 sintetiza a oferta total de óxidos de TR para 2014 publicada pela Industrial Minerals Company of Australia Pty Ltd. (IMCOA).

Tabela 5 | Oferta estimada de óxidos de elementos de TR para 2014 (em toneladas)

Óxido de TR	Oferta
Lantânio	54.750
Cério	81.750
Praseodímio	10.000
Neodímio	33.000
Samário	4.000
Európio	850
Gadolínio	3.000
Térbio	350
Disprósio	1.750
Érbio	1.000
Ho-Tm-Yb-Lu	1.300
Total	191.750

Fonte: IMCOA (2009).

Na Tabela 6, publicada pelo Great Western Minerals Group Ltd. (GWMG), expõe-se a oferta média anual, entre 2012 e 2014, de óxidos de elementos de TR, segundo sítios/regiões de produção selecionados. Nesse caso, a avaliação é mais otimista, pois, além da produção da China, de Mountain Pass e de Mount Weld, as de Nolan e de Thor Lake também podem ser consideradas.

Cenários de longo prazo

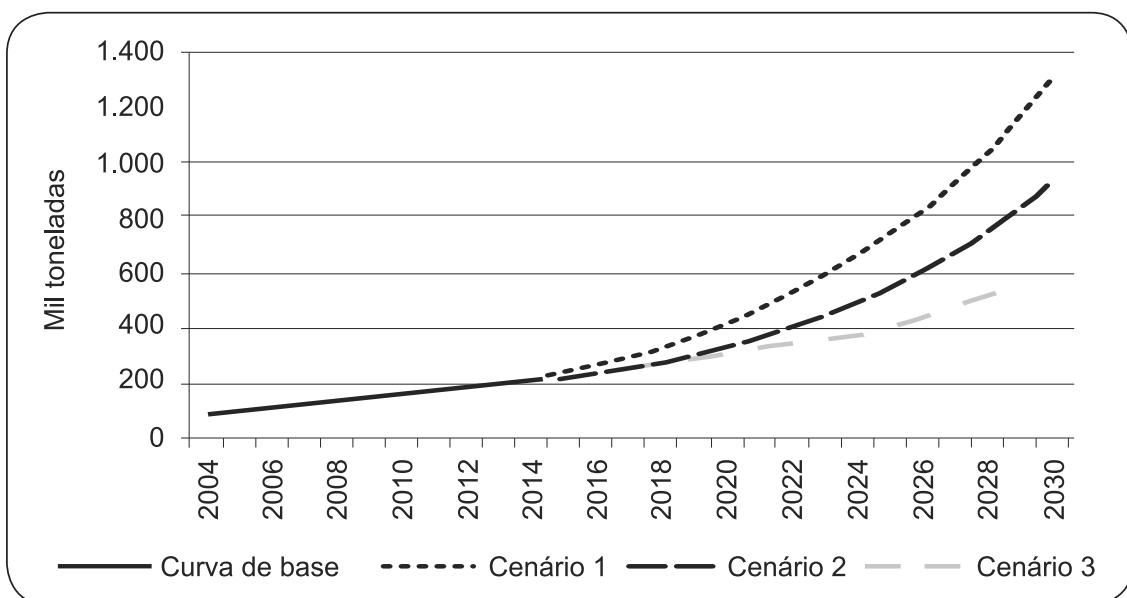
Uma vez que os veículos elétricos e híbridos só serão amplamente usados a partir de 2014, é necessário construir cenários de oferta de longo prazo. O Gráfico 12 indica três cenários de oferta de longo prazo utilizando como base as previsões da IMCOA até 2014.

Tabela 6 | Oferta média anual de óxidos de elementos de TR, entre 2012 e 2014, segundo sítios de produção selecionados (em toneladas)

Óxido de TR	China	Mt. Pass	Mt. Weld	Nolan's Bore	Thor Lake	Total
Lantânio	39.000	8.300	5.376	4.000	405	57.081
Cério	63.000	12.275	9.605	9.640	850	95.370
Praseodímio	7.500	1.085	1.138	1.196	170	11.089
Neodímio	24.000	3.000	3.910	4.300	780	35.990
Samário	3.000	200	512	480	1.085	5.277
Európio	600	25	116	82	40	863
Gadolínio	2.400	50	204	200	355	3.209
Térbio	300	0	19	16	45	380
Disprósio	1.350	0	34	68	250	1.702
Érbio	600	0	0	10	105	715
Ho-Tm-Yb-Lu	0	0	0	22	180	202
Total	141.750	24.935	20.914	20.014	4.265	211.878

Fonte: GMWG (2009).

Gráfico 12 | Cenários de oferta de longo prazo de óxidos de TR



Fontes: IMCOA (2009) e Oakdene Hollins R&C (2010).

O Cenário 1, mais otimista, assume que a oferta mundial crescerá a uma taxa anual de 12%, o que levaria a uma oferta de TR seis vezes maior em 2030. A fim de atender a esse aumento de oferta, será preciso abrir um grande número de novas minas. Para isso, todos os projetos aqui relacionados, ou a maioria deles, deverão entrar em produção e deverá haver um substancial aumento da produção chinesa.

O Cenário 2 e o Cenário 3 são mais realistas, ante as informações disponíveis sobre o suprimento de TR e os novos projetos em andamento. Ambos os cenários assumem que a China será bem-sucedida em restringir sua produção. Neles, a China reduzirá o crescimento da produção de 7% ao ano, em 2014, para 3% a partir desse ano. A diferença entre os cenários 2 e 3 reside no pressuposto de crescimento da produção nas outras partes do mundo. O Cenário 2 pressupõe que o resto do mundo manterá uma taxa de crescimento anual de 20% de 2014 até 2025, ano a partir do qual as taxas de crescimento se reduzirão. O Cenário 3 considera que o crescimento de oferta do resto do mundo se reduzirá já a partir de 2014. Nesse cenário, o crescimento de longo prazo para o resto do mundo é de 12% ao ano e a produção não chega a triplicar entre 2014 e 2025.

Demanda mundial de TR

Consumo

Em 2008, o consumo global de TR (incluindo ítrio) foi estimado em 124 mil toneladas. A Tabela 7 mostra a distribuição do consumo por região, segundo a aplicação, em 2008. O maior consumidor foi a China, com 60% da demanda. EUA, Japão e sudeste da Ásia foram responsáveis por quase toda a demanda restante. Já em 2010, o consumo chinês foi de setenta mil t, diante de uma produção global de 130 mil toneladas.

**Tabela 7 | Consumo global de TR, segundo a aplicação, em 2008
(em mil toneladas)**

Aplicação	China	Japão/SE Ásia	EUA	Outros	Total
Catalisadores	7,0	2,0	12,50	1,5	23,0
Vidros	8,0	2,0	1,00	1,5	12,5
Polimento	8,0	4,0	1,00	1,5	15,0

Continua

Continuação

Aplicação	China	Japão/SE Ásia	EUA	Outros	Total
Ligas metálicas	16,0	4,0	1,00	1,0	22,5
Ímãs	21,0	3,0	0,50	1,0	26,5
Fosforescentes	5,0	2,0	0,50	0,5	9,0
Cerâmicas	2,0	2,0	1,25	0,8	7,0
Outros	6,0	2,0	0,25	0,3	8,5
Total	73,0	21,0	18,00	8,0	124,0

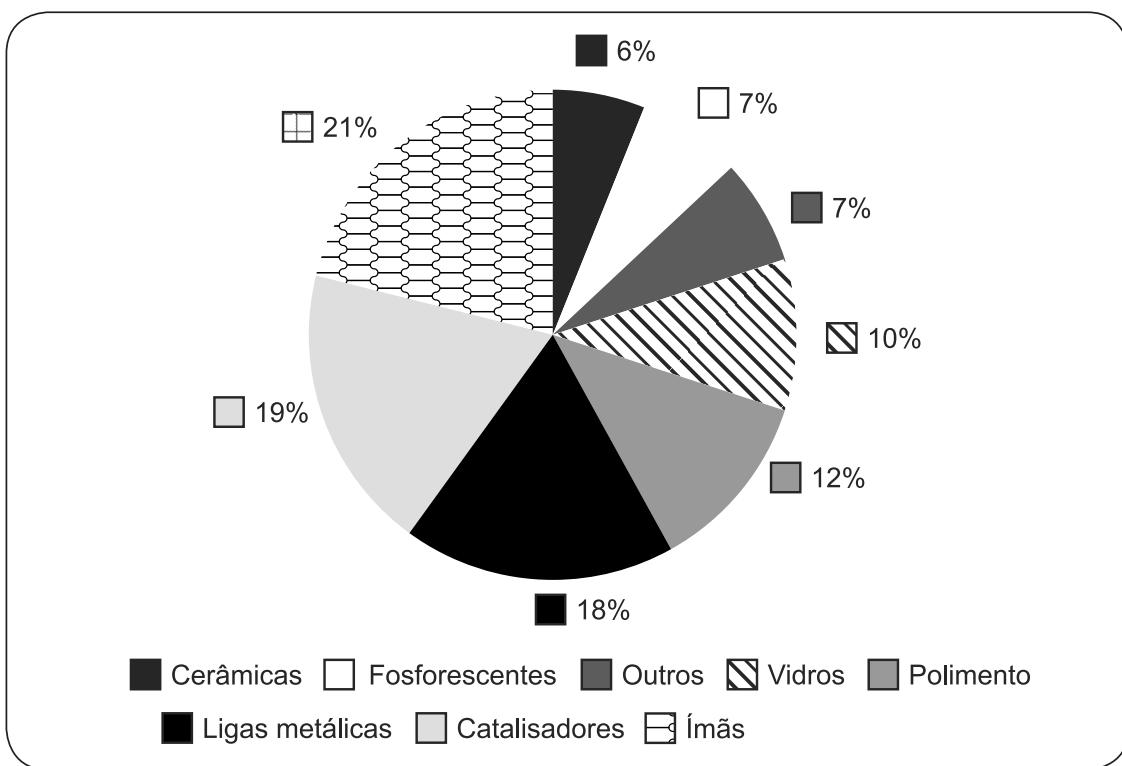
Fonte: IMCOA (2009).

A China voltou-se, com ênfase, para o desenvolvimento de “materiais avançados” com alto valor agregado. Nesses setores, a demanda cresceu mais de 20% ao ano entre 2005 e 2007. Espera-se que o crescimento da demanda na China exceda o de outros países e que sua participação na demanda mundial seja ainda maior até 2014. Não se sabe com certeza quanto a China exporta de produtos intermediários e acabados de TR, apesar da considerável demanda doméstica voltada para a fabricação de turbinas eólicas e bicicletas elétricas. Entretanto, considerando o atual domínio do país sobre a oferta mundial, qualquer produto portador de lantanídeos será, em algum ponto da cadeia de suprimentos, fornecido pela China.

A proporção estimada do consumo de TR segundo a indústria, em 2011, é exibida no Gráfico 13, e a distribuição dos respectivos valores, na Figura 14.

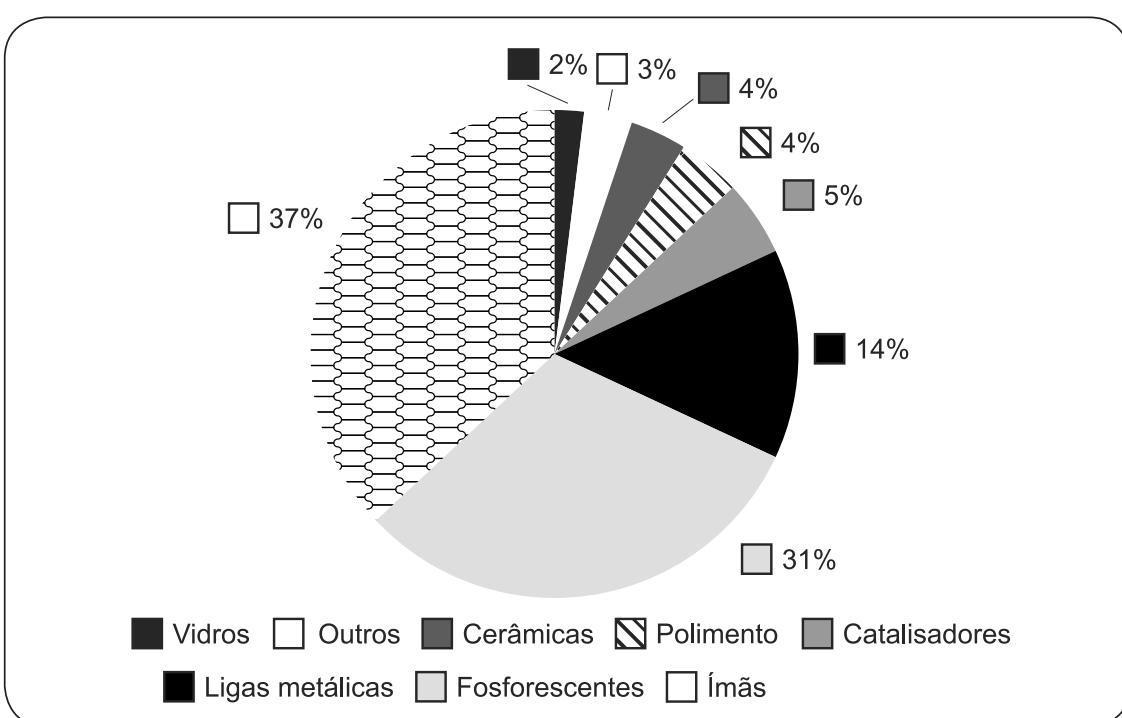
A previsão da demanda para 2014, comparada à de 2008, ano da crise, é mostrada na Tabela 8 e Gráfico 15. Estima-se que o consumo global, incluindo o de ítrio, fique entre 170 mil e 190 mil toneladas, com crescimento de 8 a 11% ao ano entre 2011 e 2014. As maiores taxas de crescimento referem-se a ímãs e ligas metálicas, que são utilizados em veículos híbridos e elétricos: em ambos os casos, as taxas são superiores a 10% ao ano.

Gráfico 13 | Proporção estimada do consumo de TR, segundo a indústria, em 2011



Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

Gráfico 14 | Proporção estimada do valor do consumo de TR, segundo a indústria, em 2011



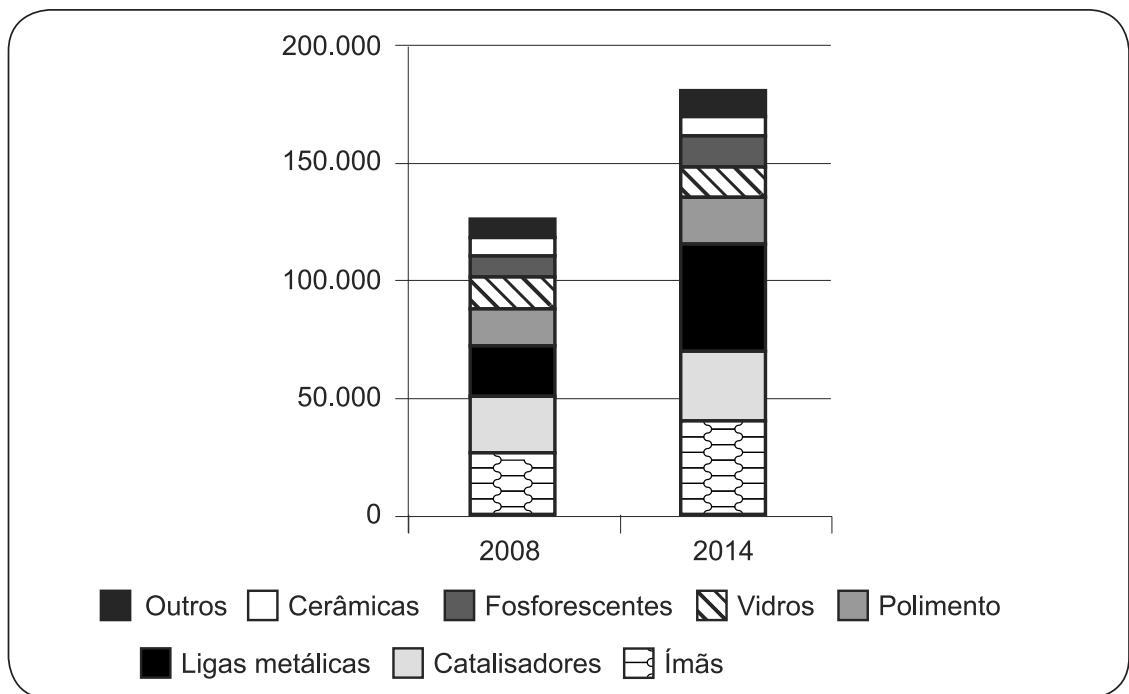
Fonte: Oakdene Hollins Research & Consulting (2010).

**Tabela 8 | Previsão de demanda de elementos de TR, segundo a aplicação
(em mil toneladas por ano)**

Aplicação	Consumo 2008	Consumo 2014	Var. 2011-14
Ímãs	26,5	39,0-43,0	10-15
Catalisadores	23,0	28,0-30,0	6-8
Ligas metálicas	22,5	43,0-47,0	15-20
Polimento	15,0	19,0-21,0	6-8
Vidros	12,5	12,0-13,0	Insignificante
Fosforescentes	9,0	11,0-13,0	7-10
Cerâmicas	7,0	8,0-10,0	7-9
Outros	8,5	10,0-12,0	7-9
Total	124,0	170,0-190,0	8-11

Fonte: IMCOA (2009).

**Gráfico 15 | Previsão de demanda de elementos de TR, em toneladas anuais,
segundo a aplicação**



Fonte: IMCOA (2009).

Preços

Os elementos de TR são negociados no mercado privado. Os preços são publicados periodicamente em *sites* como o *mineralprices.com* e o *metal-pages.com*. Os elementos são vendidos a teores de 99%, na forma de óxidos ou em ligas a teores variados. Por essa razão, os preços podem variar em função da qualidade e da quantidade requeridas nas aplicações.

A Tabela 9 expõe o preço médio anual para elementos a teores de 99%, cotados em US\$/kg *FOB China*.

Tabela 9 | Preços de exportação dos óxidos de TR na China, entre 2007 e 2011 (valores em US\$/kg)

Óxido de:	2007	2008	2009	4T/10	1T/11	20.6.11
Lantânia	3,44	8,71	4,88	52,49	75,87	140,10
Cério	3,04	4,56	3,88	52,62	77,52	150,60
Neodímio	30,24	31,90	19,12	81,38	130,23	330,00
Praseodímio	29,05	29,48	18,03	78,62	119,65	235,50
Samário	3,60	5,20	3,40	36,58	72,75	135,60
Disprósio	89,10	118,49	115,67	287,85	412,90	1.470,00
Európio	323,90	481,92	492,92	611,54	719,20	3.400,00
Térbio	590,40	720,77	361,67	620,38	717,60	2.800,00

Fonte: <www.lynascorp.com>.

A Tabela 10 relaciona os preços domésticos chineses, em US\$/kg. O preço doméstico é determinado com base no preço *FOB*, do qual se subtraem o imposto de valor agregado, as taxas de exportação (de 15 a 25%) e o custo da cota de exportação.

Tabela 10 | Preços domésticos dos óxidos de TR na China, em 2011 (valores em US\$/kg)

Óxido de:	jan. 11	fev. 11	mar. 11	abr. 11	mai. 11	jun. 11
Lantânia	4,57	5,18	12,50	16,77	23,02	25,93
Cério	5,56	7,01	12,50	24,39	28,96	32,41
Neodímio	48,78	57,62	77,74	105,49	140,24	223,77

Continua

Continuação

Óxido de:	jan. 11	fev. 11	mar. 11	abr. 11	mai. 11	jun. 11
Praseodímio	39,63	45,73	71,65	91,46	103,66	163,58
Samário	3,20	3,96	5,18	11,43	11,43	16,98
Disprósio	283,54	352,90	419,21	512,96	769,82	1.620,37
Európio	480,18	513,72	670,73	960,37	1.676,83	4.120,37
Térbio	472,56	548,78	670,73	975,61	1.448,17	3.240,74

Fonte: <www.lynascorp.com>.

Os preços de elementos mais pesados, como o disprósio, o európio e o térbio, são bem mais elevados em razão da relativa escassez. Os preços para corpos de minério específicos variam de acordo com a composição.

Os preços dos elementos utilizados em ímãs – neodímio, praseodímio, disprósio e térbio – foram triplicados ou quintuplicados entre 2001 e 2008, antes da queda em 2009 provocada pela crise.

Depois da crise, notadamente a partir do segundo semestre de 2010, os preços de exportação da China de todos os elementos de TR tiveram altas muito significativas, alguns chegando a um aumento de mais de 16 vezes, como o lantânio.

Balanço mundial de oferta e demanda

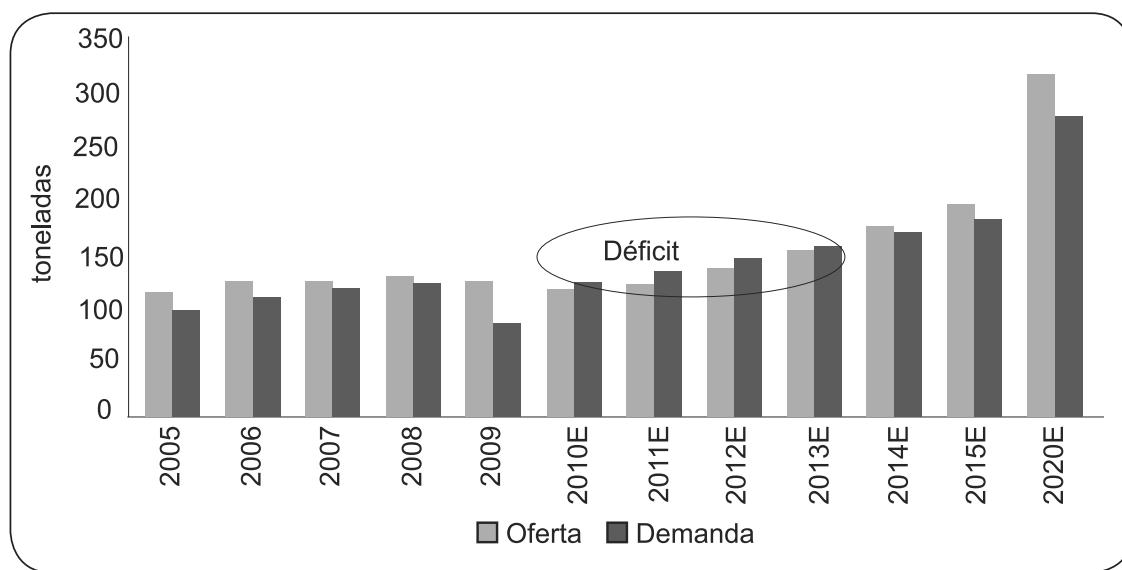
O panorama das TR resume-se em restrições de oferta de curto prazo enquanto novas minas não entrarem em operação, conquanto no longo prazo as reservas mundiais deverão atender à demanda prevista. Entretanto, espera-se escassez dos elementos de TR mais procurados em 2014.

O Gráfico 16 mostra a situação de oferta e demanda, estimada a partir de 2010, considerando-se que as tendências atuais perdurem, que novos projetos sejam desenvolvidos e que haja um equilíbrio entre oferta e demanda para cada elemento de TR.

Prevê-se que tanto a oferta quanto a demanda aumentarão fora da China, mas a produção do resto do mundo participará mais na oferta mundial.

Por elemento

A Tabela 11 e a Tabela 12 apresentam, respectivamente, dois conjuntos com estimativas de balanço oferta-demanda médio para o período de 2012 a 2014, realizadas pelo GWMG, e exclusivamente para 2014, pela IMCOA.

Gráfico 16 | Oferta e demanda globais de óxidos de TR entre 2005 e 2020E

Fonte: Ernst & Young (2011).

Apesar de a oferta total exceder a demanda prevista, ambos revelam deficiências em relação a alguns elementos, como neodímio, disprósio e térbio. Entretanto, ao custo de um desempenho inferior, o praseodímio pode substituir o neodímio. Por outro lado, em ambas as estimativas o lantânia terá oferta 7% maior que a demanda.

É possível que, em relação aos elementos escassos, haja aumentos de preços significativos. Isso levará a que esses elementos sejam destinados a aplicações avançadas que não tenham opções para as quais não haja substitutos.

Tabela 11 | Balanço entre valores médios anuais de oferta e demanda de óxidos de TR para o triênio 2012-2014 (em toneladas)

Óxido de TR	Oferta total	Demand	Balanço	Bal./Dem. (%)
Lantânio	57.081	53.000	4.081	7,70
Cério	95.370	66.000	29.370	44,50
Praseodímio	11.089	9.250	1.839	19,88
Neodímio	35.990	43.475	(7.485)	(17,22)
Samário	5.277	2.775	2.502	90,16
Európio	863	925	(63)	(6,81)
Gadolínio	3.209	2.775	434	15,64

Continua

Continuação

Óxido de TR	Oferta total	Demanda	Balanço	Bal./Dem. (%)
Térbio	380	700	(320)	(45,71)
Disprósio	1.702	2.600	(898)	(34,54)
Érbio	715	850	(135)	(15,88)
Ítrio	9.178	14.800	(5.622)	(37,99)
Ho-Tm-Yb-Lu	202	2.850	(2.648)	(92,91)
Total	221.056	200.000	21.055	10,53

Fonte: GMWG (2009).

Tabela 12 | Balanço entre médias anuais de oferta e demanda de óxidos de TR, para 2014 (em toneladas)

Óxido de TR	Oferta total	Demanda	Balanço	Bal./Dem. (%)
Lantânia	54.750	51.050	3.700	7,25
Cério	81.750	65.750	16.000	24,33
Praseodímio	10.000	7.900	2.100	26,58
Neodímio	33.000	34.900	(1.900)	(5,44)
Samário	4.000	1.390	2.610	187,77
Európio	850	840	10	1,19
Gadolínio	3.000	2.300	700	30,43
Térbio	350	590	(240)	(40,68)
Disprósio	1.750	2.040	(290)	(14,22)
Érbio	1.000	940	60	6,38
Ítrio	11.750	12.100	(350)	(2,89)
Ho-Tm-Yb-Lu	1.300	200	1.100	550,00
Total	203.500	180.000	23.500	13,06

Fonte: IMCOA (2009).

Terras-raras no Brasil

Ocorrências de minerais de TR

As reservas de minerais de TR mais expressivas do Brasil localizam-se nos municípios de Presidente Figueiredo (AM) e de Catalão (GO). No

primeiro caso, a ocorrência de xenotímio está associada à mineralização de cassiterita, um minério de estanho, e a reserva estimada é de vinte mil toneladas de óxidos de TR. No segundo, a ocorrência de monazita associa-se à mineralização de pirocloro e apatita – minerais de nióbio e de fósforo, respectivamente –, e as reservas estimadas são de trinta mil toneladas de monazita a um teor de 7,56% de óxidos de TR.

A costa do Brasil já foi exaustivamente pesquisada e não há expectativa de se ter acesso a reservas semelhantes àquelas exploradas pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e pelas suas antecessoras durante décadas. Nas diversas ocorrências localizadas ao longo da costa, a lavra não é permitida ou seria extremamente custosa, seja por questões de preservação ambiental ou porque o solo encontra-se habitado.

Por outro lado, existe uma gama de minerais contendo TR não acumulados em aluviões marinhos que podem ser estudados com o objetivo de se encontrarem fontes alternativas para a monazita. Atualmente, o mais promissor é o minério do Córrego do Garimpo, localizado em Catalão (GO), cujos direitos minerários pertencem à Vale Fertilizantes S.A.

De 1997 a 2001, foram elaborados estudos visando à exploração conjunta das reservas de TR existentes em Catalão, conforme convênio celebrado com a INB. O projeto previu a produção de concentrados e óxidos individuais de TR. Das reservas existentes, foi bloqueada apenas a parte medida. Pesquisou-se, também, a porção de rocha alterada do Córrego do Garimpo e foram estimadas mais de um milhão de toneladas de TR contidas no minério, com um teor médio de 7,63% a um *cutoff* de 5%. Devem ser levadas em conta, ainda, as TR existentes no silexito, na rocha sã e o depósito localizado em Lagoa Seca. Em seguida, foram elaborados estudos preliminares de beneficiamento físico pelo Centro de Tecnologia Mineral (Cetem), pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e pelo Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT/USP). O processo químico foi pilotado pelo CDTN e, depois, pela equipe técnica da INB. Esse projeto foi interrompido pela demora na concessão de licença de operação para a INB Caldas, uma vez que a previsão era instalar a unidade química ao lado do Tratamento Químico da Monazita (TQM).

No minério de Catalão, o mineral que contém as TR também é um fosfato, porém difere da monazita por ser solúvel em ácidos nas condições

normais de temperatura e pressão e pelos baixíssimos teores de urânio e tório.

No Apêndice II são discriminadas a ocorrências de minerais portadores de elementos de TR no Brasil.

Reservas

Segundo relatório do Departamento Nacional da Produção Mineral [DNPM (2011)], as reservas brasileiras de terras-raras representam menos de 1% do total mundial. Totalizam 30.627 t de metais de terras-raras contidos em minérios e 9,7 mil t de metais em monazita, localizadas nos estados de Minas Gerais e do Rio de Janeiro. As empresas que detêm essas reservas são as seguintes: Mineração Terras Raras (seis milhões de t de reservas lavráveis, com teor de 0,5% de TR, com trinta mil t de metal contido); INB (609 mil t de reserva lavrável, com teor de 0,103% de TR, com 627 t de metal contido) e Vale (17,2 mil t de TR de reservas medidas e indicadas, contendo 57% de monazita, equivalente a 9,7 mil t).

Ainda de acordo com o relatório citado, outras reservas, não consideradas no parágrafo anterior, incluem a da província mineral de Pitinga, em Presidente Figueiredo (AM), com dois milhões de t de xenotímio, com 1% de ítrio, e a de Catalão (GO), onde a Anglo American Brazil é proprietária de um depósito com 1,1 milhão de t de fosfato contendo cério e lantânia, ao teor de 7,6%, e baixíssimos teores de urânio e tório [Rosental (2008)].

Produção de compostos de TR

O início da produção de compostos de TR no Brasil ocorreu no fim da década de 1940. A produção iniciou-se com a Usina Santo Amaro (Usam), pertencente às Indústrias Químicas Reunidas S.A. (Orquima), localizadas na cidade de São Paulo, com a monazita. Esse mineral era beneficiado na Usina de Praia (Upra), pertencente à Sociedade Comercial de Minérios Ltda. (Sulba), localizada em Buena, no atual município de São Francisco de Itabapoana, no norte do estado do Rio de Janeiro, ambas empresas privadas.

Em 1960, em razão da presença de urânio e tório na monazita, ocorreu a estatização da Sulba, cujas atividades foram assumidas pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). No mesmo ato, a CNEN assume

parte da Orquima (o TQM). A implantação e a operação do TQM se deram de acordo com os melhores padrões tecnológicos, em nível mundial, com a fabricação de produtos de alta qualidade e grande ênfase na área de pesquisa e desenvolvimento, gerando resultados práticos importantes, ao colocar no mercado de novos produtos.

A Usam passou por fases com características bem distintas, que explicam os motivos pelos quais o Brasil se atrasou mundialmente no que se refere ao aproveitamento das TR, consideradas entre os “materiais da terceira onda” por suas aplicações em produtos de alta tecnologia.

Desde julho de 2005, com a interrupção da unidade de TQM da INB, em Caldas (MG), depois de um ano de atividade, a produção de compostos de TR no Brasil reduziu significativamente.

Demanda

Apesar de existirem no Brasil reservas minerais de terras-raras, conforme mencionado, o país ainda não tem uma demanda que justifique a mineração de TR em larga escala.

Nos últimos 15 anos, quase não houve demanda por parte de empresas em relação a terras-raras, tanto no tocante à produção mineral como à fabricação de produtos com maior valor agregado que utilizem esse insumo. No entanto, foi significativo o número de 65 requerimentos para pesquisa mineral de terras-raras em 2010, considerando que nos cinco anos anteriores eles foram praticamente inexistentes.

Entre as principais aplicações dos compostos de terras-raras no Brasil, citam-se: composição e polimentos de vidros e lentes especiais; catalisadores de automóveis e refino de petróleo; fósforo para tubos catódicos de televisor em cores; ímãs permanentes para motores miniaturizados; ressonância magnética nuclear; cristais geradores de laser; supercondutores; e absorvedores de hidrogênio.

A produção brasileira de óxidos de TR foi de 550 toneladas em 2010, equivalendo a apenas 0,41% da produção mundial. O consumo de produtos de TR na forma de compostos químicos e manufaturados foi de 1.315 toneladas, em 2010. Somente na produção de catalisadores, o consumo de óxidos de TR foi de oitocentas toneladas.

É provável que, nos próximos dez anos, haja um aumento substancial no consumo de TR no Brasil, em virtude do aumento da capacidade de refino de hidrocarbonetos, da produção automotiva, de motores e turbinas que requeiram o uso de ímãs permanentes e da possível produção de telas de alta definição de aparelhos eletrônicos.

Importações

Segundo dados do Departamento Nacional da Produção Mineral, em 2010, o Brasil importou compostos químicos e produtos manufaturados com elementos de TR no montante de US\$ 14,1 milhões FOB. Essas importações foram originadas principalmente dos seguintes países: (i) bens primários: EUA (88%); (ii) produtos manufaturados: China (82%), EUA (5%), Bulgária (7%), Austrália (2%) e Bélgica (2%); (iii) compostos químicos: China (93%), EUA (2%), Espanha (2%) e França (2%).

Exportações

O Brasil exportou, em 2010, compostos químicos e produtos manufaturados no montante de US\$ 1,4 milhão FOB. O principal país de destino dos compostos químicos exportados foi a Espanha (99%). Para os produtos manufaturados, os principais países de destino foram Reino Unido (27%), Canadá (21%), Angola (21%), EUA (17%) e Países Baixos (4%).

Perspectivas e conclusões

O mercado global de terras-raras, elementos químicos metálicos utilizados pela indústria de alta tecnologia, deve praticamente dobrar sua produção até 2020. Até 2014, prevê-se um *déficit* na oferta desse grupo de elementos, dos quais o mais emblemático é o caso do neodímio, usado em *smartphones* e turbinas eólicas, entre outras aplicações.

Atualmente, há mais de duzentos projetos de exploração sendo desenvolvidos por 165 empresas em 24 países. A maioria dos projetos está concentrada na China, mas os EUA, a CEI e o Canadá também desempenham papel importante nessa expansão. O aporte desses novos projetos poderá gerar uma sobreoferta já a partir de 2014, o que pode aumentar ainda mais a volatilidade dos preços desses elementos, que já é muito alta.

Mesmo com preços atuais que permitem amplas margens, as grandes mineradoras continuam fora do mercado de TR. Elas preferem trabalhar com larga escala, e as terras-raras são utilizadas em baixo volume pela indústria. Basicamente, os projetos são realizados por mineradoras de menor porte, conhecidas como *junior companies*, com o apoio de investidores.

No caso do Brasil, com baixa demanda, uma forma de estimular a mineração de TR e a fabricação de produtos com base nesses insumos seria estabelecer parcerias/consórcios entre as empresas consumidoras – por exemplo, as fabricantes de motores com ímãs permanentes, as empresas produtoras de catalisadores automotivos e de refino de petróleo, entre outras – e as empresas mineradoras, com vistas a diminuir o risco de abastecimento e a volatilidade e a permitir uma margem adequada para as mineradoras, viabilizando, assim, investimentos nesse segmento estratégico.

Um dos principais vetores para o desenvolvimento da exploração de TR tem sido a resposta dos principais países consumidores à estratégia de barreiras à exportação adotada ultimamente pela China, visando à garantia de suprimento estável, ainda que a um alto custo relativo de produção.

Apêndice I | Produtos e aplicações dos elementos de terras-raras

Elemento (símbolo)	Produto	Aplicação
Escândio (Sc)	Óxido	Componentes eletrônicos; indústria nuclear; revestimento de tubos de raios catódicos (TRC); cerâmicas
	Metálico	Ligas; indústria nuclear
Ítrio (Y)	Óxido	Cerâmicas; catalisadores; revestimento de TRC; cristais; joias; <i>lasers</i> ópticos
	Metálico	Ligas especiais; indústria nuclear
	Carbonato	Cerâmicas; vidros; revestimento de TRC
	Cloreto	Cerâmicas; catalisadores; revestimento de TRC
	Nitrato	Cerâmicas; catalisadores; revestimento de TRC
Lantâno (La)	Fluoreto	Matéria-prima do ítrio metálico; vidros; fibra óptica
	Óxido	Vidros ópticos; catalisadores; cerâmicas; componentes eletrônicos; cristais; revestimentos de TRC

Continua

Continuação

Elemento (símbolo)	Produto	Aplicação
Cério (Ce)	Metálico	Ligas para armazenamento de hidrogênio; metalurgia; ligas
	Liga La-neodímio	Ligas para armazenamento de hidrogênio; metalurgia; ligas
	Carbonato	Catalisadores; cerâmicas; medicina
	Cloreto	Catalisadores; tratamento de água
	Nitrato	Catalisadores; cerâmicas
	Hidróxido	Fibra óptica; radiação; lâmpadas fluorescentes; eletrodos
Praseodímio (Pr)	Óxido	Catalisadores; vidros e lentes; pó para polimento; cerâmicas; cristais; revestimento de TRC; semicondutores
	Metálico	Metalurgia; ligas para armazenamento de hidrogênio
	Mischmetal	Metalurgia; inoculante e nodularizador; acendedores em fundições
	Carbonato	Catalisadores; vidros; pó para polimento; cerâmicas
	Nitrato	Catalisadores; vidros; pó para polimento
	Hidróxido	Catalisadores; vidros; pó para polimento
	Fluoreto	Matéria-prima em eletrólise
	Oxalato	Catalisadores; vidros; revestimento de TRC; pó para polimento
	Acetato	Catalisadores
	Cloreto	Catalisadores de petróleo
	Nitrato de Ce-amônio	Reagentes químicos; revestimento de circuitos integrados; medicina
	Sulfato	Antioxidantes industriais; materiais à prova d'água; revestimento de circuitos integrados; pó de polimento; vidros especiais; cerâmicas
	Óxido	Pigmentos; vidros; cerâmicas
	Metálico	Ímãs; ligas; alvos de dispersão
	Carbonato	Pigmentos; vidros; cerâmicas

Continua

Continuação

Elemento (símbolo)	Produto	Aplicação
Neodímio (Nd)	Óxido	Vidros; cerâmicas; ligas; cristal de <i>laser</i> ; capacitores elétricos; aditivos em borracha
	Metálico	Ímãs; ligas; alvos de dispersão
	Carbonato	Vidros; capacitores de cerâmica multicamada
	Cloreto	Catalisadores; cerâmicas; vidros
	Hidróxido	Capacitores elétricos; aditivos em borracha; vidros
Samário (Sm)	Óxido	Catalisadores; cerâmicas; absorção de nêutron
	Metálico	Ímãs; alvos de dispersão
	Concentrado Sm-Eu-Gd	Ligas especiais; indústria nuclear
Európio (Eu)	Óxido	Revestimento de TRC e lâmpadas fluorescentes; tela de plasma; indústria nuclear
	Metálico	Ligas especiais; indústria nuclear
Gadolínio (Gd)	Óxido	Revestimento de TRC; absorção de nêutron; vidros ópticos; componentes eletrônicos; componentes ópticos; cristais; cerâmicas
	Metálico	Ligas; cerâmicas; ímãs; indústria nuclear
	Fluoreto	Vidros; revestimento de TRC; cerâmicas
	Nitrato	Indústria nuclear; revestimento de TRC
Disprósio	Óxido	Dopante; lâmpada de haleto metálico; indústria nuclear; cerâmicas
	Metálico	Ímãs; alvos de dispersão; indústria nuclear; terfenol-D (magnetoestrictivo)
	Liga	Materiais magnéticos; ligas-mestras
	Fluoreto	Metalurgia; cerâmicas; lâmpada de haleto metálico
	Cloreto	Matéria-prima do hólvio metálico; aditivo
Hólvio (Ho)	Óxido	Aditivos; vidros; cerâmicas
	Metálico	Alvos de dispersão; superligas; materiais magnéticos

Continua

Continuação

Elemento (símbolo)	Produto	Aplicação
Érbio (Er)	Óxido	Vidros ópticos; reatores nucleares; fibra óptica; pigmentos
	Metálico	Reatores nucleares; fibra óptica; ligas especiais
Túlio (Tm)	Óxido	Revestimento de TRC tubos de raios X; cerâmicas; componentes eletrônicos
	Metálico	Superliga; alvos de dispersão
Itérbio (Yb)	Óxido	Aditivos; indústria eletrônica
	Metálico	Ligas; indústria nuclear
Lutécio (Lu)	Óxido	Aditivos
	Metálico	Ligas; indústria nuclear

Fonte: USGS (2011).

Apêndice II | Ocorrências de terras-raras no Brasil

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
Carbonatito							
	Barra do Itapirapuã	SP		Ocorrência	Bastnasita, ancilita, sinquisita, parisita	Carbonatito, nefelina sienito, pulaskita	
	Itanhaém	SP		Ocorrência		Diques de tinguaíto	
	Mato Preto	PR		Antiga produção de flúor		Nefelina (ijolito), nefelina sienito, carbonatito, fonolito	
	Salitre I e II	MG		Fonte de titânio; ocorrência de elementos de TR	Monazita, apatita, anatásio, perovskita	Sienito, nefelina sienito, piroxenito, traquito, carbonatito	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
Carbonatito com enriquecimento residual							
	Angico dos Dias	BA		Ocorrência	Apatita		
	Anitápolis	SC		Produção de fósforo; ocorrência de elementos de TR	Apatita	Nefelina (ijolito), sienito peralcalino, piroxenito, nefelina sienito, glimerito, carbonatito	
Araxá (Barreiro)	MG	> 450 mil t de minério de nióbio a 2,5% de Nb ₂ O ₅ , 4,4% de óxidos de TR; 800 t de laterita a 13,5% de óxidos de TR, 2% de Nb ₂ O ₅ , 0,05% de U ₃ O ₈ (em 1984); 546 t a 10-11% de óxidos de TR; 462 mil t a 0,033% de óxidos de TR		Produção de nióbio e fósforo; ocorrência de elementos de TR e bário	Monazita, gorceixita, goyazita, apatita, bárho-pirocloro, calcite, ancilita, cério-pirocloro	Beforsito, glimerito, carbonatito, piroxenito	CBMM

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
	Caiapó	GO		Ocorrência		Carbonatito, brecha carbonatítica, nefelina (ijolito), monchiquito, silexito	
Catalão I		GO	2 mil t de laterita a 12% de óxidos de TR; 5 mil t de óxidos de TR; 21 mil t a 1,02% de óxidos de TR; 4,6 mil t a 4% de óxidos de TR	Produção de nióbio e fósforo; subprodução de elementos de TR (cério); fonte de titânio	Cério-bárionióbio e fósforo; pirocloro, gorceixita, apatita, monazita, florencita, ancilita, goyazita, anatásio, rabdofânio	Carbonatito, piroxenito, peridotito serpentinizado, glimerito	
Catalão II		GO		Fonte de nióbio	Fosfatos de TR	Carbonatito, foscorito, glimerito	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
	Maicuru	PA	Laterita contém 17% de elementos de TR		Apatita, anatásio, monazita	Laterita, ultrabásicas alcalinas intrusivas (provavelmente com carbonatito)	
	Maraconáí	PA			Monazita, anatásio	Ultrabásicas alcalinas intrusivas, provavelmente	
	Mutum	PA		Ocorrência		Nefelina, sienito, carbonatito	
	Morro dos Seis Lagos (São Gabriel da Cachoeira)	AM	130 t de elementos de TR; laterita contém 1,5% de óxidos de TR	Fonte potencial de nióbio e elementos de TR	Florencita, óxidos e hidróxidos de TR	Carbonatito	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
	Serra Negra	MG	200 mil t a 27,7% de Ti2; concentrados de titânio contêm > 3% de elementos de TR	Fonte de titânio com potencial subprodução de elementos de TR	Apatita, anatásio	Carbonatito, peridotito, dunito, shonkinito, jacupiranguito	
	Tapira	MG	150 mil t a 0,03% de óxidos de TR	Produção de titânio e fósforo; fonte potencial de nióbio, elementos de TR	Anatásio, hidroxiapatita, pirocloro, apatita	Piroxenito, sienito, carbonatito, silexito, jacupiranguito	
<hr/>							
Rocha ígnea alcalina							
	Arenópolis	GO		Ocorrência	Baddeleyita, eudialita	alcalimetagabro, ijolito, melteigito, piroxenito, nefelina sienito, foyaito, laterita	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
	Jacupiranga	SP		Produção de fósforo; ocorrência de elementos de TR e níquel	Apatita	Piroxenito, jacupiranguito, ijolito, nefelina sienito	
	Mutum	PA		Ocorrência	Fosfatos de TR	Nefelina sienito	
Poços de Caldas (Morro do Ferro)	MG, SP	> 1 mil t a 4% de óxidos de TR, 1% de ThO ₂ ; 1,5 mil t de bastnasita ou 0,05 t de óxidos de TR (em 1990); 6 mil t a 3% de óxidos de TR		Antiga produção de zircônio, urânio e bauxita	Allanita, bastnasita, eudialita, cerianita	Lujavrito e khibinito Nefelina sienito, fonolito, bauxita	
Sucunduri	AM			Ocorrência	Eudialita	Nefelina sienito, traquito, fonolito	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
Outras ígneas, incluindo pegmatitos e veios							
Pitinga		AM		Subprodução potencial	Xenotímio, mineralização de ítrio-nióbio		Mineração Taboca S.A.
<i>Plácer, praia</i>							
Alcobaça		BA	0,47% de monazita	Antiga subprodução	Monazita	Areias de duna e praia	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)
Anchieta (Parati, Imbiri, Pipa de Viho, Mäeba)		ES	Reservas medidas: 698 t de monazita com 60,02% de óxidos de TR; 57 t a 0,71% de monazita (em 1987)	Antiga produção (?)	Monazita	Sedimentos do Grupo Barreiras e mais recentes	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1988)
Aracruz		ES	Reservas medidas: 2964 t de monazita com 59,98% de óxidos de TR; 282 t a 1,05% de monazita (em 1987)	Subprodução	Monazita	Sedimentos do Grupo Barreiras	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
Brejo Grande – Pacatuba	SE	62 t de monazita	?	Monazita	Sedimentos		
Buena (Buena Norte, Buena Sul)	RJ	0,83% de monazita	Subprodução	Monazita	Areias de duna e praia	Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB)	
Barra de Camaratuba	RN	447 t a 0,55% de monazita	?	Monazita, xenotímio	Areias de duna		
Cumuruxatiba	BA		Subprodução	Monazita		Nuclemon Minero-Química Ltda. (1989)	
Guarapari (Praia do Vaz, Vila Velha, Rastinga, Canto do Riacho, Praia de Diogo)	ES	Reservas medidas: 818 t de monazita com 60,04% de óxidos de TR (em 1986); 950 t de monazita (em 1987)	Subprodução	Monazita	Sedimentos do Grupo Barreiras e mais recentes	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
	Itapemirim (Boa Vista, Siri)	ES		Subprodução	Monazita	Sedimentos do Grupo Barreiras e mais recentes	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)
	Mataraca	PB		Prospectos	Monazita	Sedimentos	
	Dunas no Nordeste		145 mil t a 0,033% de monazita (em 1990)	Prospectos	Monazita	Areias de duna	
	Paranaguá	PR	Reservas medidas: 55 t de monazita contendo 1,81% de óxidos de TR (em 1985)		Monazita		
	Pitinga	AM			Monazita, xenotímio		Paranapanema Mineração (1988)
	Porto Seguro	BA		Antiga subprodução	Monazita		Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
Prado	BA	Reservas medidas: 4564 t de monazita contendo 19,98% de óxidos de TR	Antiga subprodução	Monazita, xenotímio, allanita	Areias de praia	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)	
São João de Barra (Barra de São João)	RJ	Reservas medidas: 8177 t de monazita contendo 59,99% de óxidos de TR	Subprodução	Monazita	Sedimentos do Grupo Barreiras e mais recentes	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda. (1989)	
São Mateus	ES		Ocorrência	Monazita	Areias de praia		
Sepetiba	RJ		Ocorrência	Monazita	Areias de praia		
Serra (Jacareípe)	ES	43,6 t a 0,8% de monazita	Ocorrência	Monazita	Areias de duna e praia		
Vitória	ES		Produção	Monazita	Areias de praia	Nuclebrás de Monazita e Associados Ltda.	
Pitinga	AM		Subprodução potencial	Xenotímio, mineralização de ítrio-nióbio		Mineração Taboca S.A.	

Continua

Continuação

Tipo de depósito	Depósito ou distrito	UF	Tonelagem e teor	Status	Minerais DE TR	Rochas hospedeiras	Empresa exploradora
	São Gonçalo do Sapucaí	MG	28 m ³ com 0,05 t de monazita; 0,066% de monazita	Em desenvolvimento	Monazita	Areias aluviais	S.A. Mineração da Trindade – Samitri (1989)
<i>Plácer, origem incerta</i>							
	Careaçu	MG	2500 t de monazita (em 1987)	Ocorrência	Monazita		
	Cordislândia	MG	8200 t de monazita (em 1987)	Ocorrência	Monazita		
<i>Outro, incerta</i>							
	São Sebastião da Bela Vista	MG	4100 t de monazita (em 1987)	Ocorrência	Monazita		

Fonte: USGS (2011).

Referências

DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. Terras-raras. *Sumário Mineral*, 2011.

ERNST & YOUNG. *Technology minerals – The rare earths race is on!* Reino Unido: Apr. 2011.

GWMG – Great Western Minerals Group presentation. *Rare earth magnets and their raw materials supply*. In: *5th International Rare Earths Conference*. Hong Kong: nov. 2009.

KINGSNORTH, D. *Meeting demand in 2014: the critical issues*. In: *5TH INTERNATIONAL RARE EARTHS CONFERENCE*. Hong Kong, nov. 2009, IMCOA, 2009. (Apresentação).

OAKDENE HOLLINS RESEARCH & CONSULTING LTD. *Lanthanide resources and alternatives*. Aylesbury, May 2010.

ROSENTAL, S. *Terras-raras*. Rio de Janeiro: CETEM, dez. 2008. (Comunicação Técnica: CT2008-188-00).

USGS – United States Geological Survey. *Mineral Commodity Summaries: rare earths*, 2011.

Sites consultados

Lynas Corporation Ltd. – <www.lynascorp.com>.

Mindat.org. – <www.mindat.org/>.

Wikipedia – <en.wikipedia.org/wiki/Rare_earth_element>.