

Capítulo I

TERRAS RARAS: DO MONOPÓLIO
DA PRODUÇÃO PRIMÁRIA AO
OLIGOPÓLIO TECNOLÓGICO

1. INTRODUÇÃO

Since the first discovery of rare earth elements, by Lieutenant Carl Axel Arrhenius, a Swedish army officer, in 1787, there has been a great deal of interest in their chemical properties and potential uses. One could argue that the study of rare earth elements has mirrored the industry.
(D. Kingsnorth)

O Brasil e a reglobalização das terras raras representa uma contribuição na definição de rumos para uma política brasileira de desenvolvimento da indústria mínero-química dos metais raros estratégicos, neste caso o das terras raras, torna-se imprescindível que as empresas do setor atendam aos conceitos de sustentabilidade e de responsabilidade social nos investimentos, o que pode significar um melhor aproveitamento de depósitos poliminerálicos através da valorização de seus subprodutos.

O conceito de investimento responsável em mineração exclui as praticadas lavras predatórias, isto é: aquelas que não atendam ao aproveitamento integral, poliminerálico de uma jazida, incluindo subprodutos, rejeitos, escórias e resíduos, até porque os custos de produção podem ser reduzidos pelo aproveitamento, ecologicamente correto, de todos os materiais.

Os metais raros, incluindo os elementos de terras raras, só raramente são minerados individualmente, como único ou principal produto. Mountain Pass na Califórnia, EUA, é exceção: é a única mina que opera exclusivamente na extração de terras raras (BRITISH GEOLOGICAL SURVEY, 2010).

Dadas as limitações que a China vem impondo a exportação de alguns metais raros considerados estratégicos, aliado ao fato do monopólio chinês dominar mais de 95% da produção mundial verificou, num período crescente (2009-2011), uma autêntica corrida para a busca e desenvolvimento de novos depósitos.

Para comprovar tal afirmativa, serão referidos e caracterizados, mais adiante, 30 projetos de prospecção e desenvolvimento de minas

em vários países, nomeadamente no Canadá, EUA, Groenlândia, Austrália, Madagascar e Kirguistão.

Atualmente, nos Estados Unidos, as terras raras são consideradas como um tema de relevância socioeconômica e de segurança nacional. Como tal, têm merecido a constante atenção do senado norte-americano (Apêndice C).

Assim é que começa a ser fortemente questionada, no caso das terras raras, a política de *offshoring*, que se traduziu na ‘exportação’ de conhecimentos e de alta tecnologia de ponta, que os EUA dominavam, criando, em relação à China, uma dependência que chega a atingir 100% para certos produtos estratégicos de terras raras.

Se a prática do *offshoring* pode trazer vantagens comerciais, e tão somente para as empresas que o praticam, reduzindo custos e expandindo mercados, em contrapartida aumenta o desemprego e tem efeitos adversos para a inovação e desenvolvimento de tecnologias de ponta no país que exportou o seu saber e o amplia em outro local.

Embora a situação americana seja diferente da brasileira, em especial no que diz respeito à aplicação das TR em questões de segurança militar, os objetivos finais são semelhantes, *obtaining loan guarantees to support the re-establishment of mining, refining, alloying and manufacturing operations for rare earth elements in the United States* (Senado Americano).

Como assinalou Stéphane Pambrun, as terras raras são, no século XXI, o que o petróleo foi no século XX e o carvão no século XIX: o motor de uma nova revolução industrial (PAMBRUN, 2010).

Segundo esse autor, o Congresso norte-americano pleiteia a criação de um organismo de controle internacional para as terras raras, como é a OPEP no caso do petróleo.

A corrida pela reativação ou colocação em produção de novas fontes de terras raras já se materializou em Mountain Pass, EUA, e em Mount Weld, Austrália. Resolvidos os problemas econômico-ambientais, foi retomada a atividade mineira e de extração/separação dos elementos de terras raras.

O Brasil apresenta antecedentes históricos marcantes na exploração das terras raras que se iniciou, no país, em 1885. Até 1886,

as areias monazíticas de Prado (BA) eram utilizadas como lastro de navios, e nas décadas posteriores cobrava-se menos de 10 dólares/tonelada de areia monazítica.

Na década de 50 (século XX) o Brasil, através da empresa ORQUIMA, dominava todo o ciclo dos processos de extração, purificação e separação em compostos de elevada pureza e “chegou a obter óxidos bastante puros (99,9 a 99,99%), tendo inclusive fornecido Eu_2O_3 para fabricação de barras metálicas destinadas ao controle, por absorção de nêutrons, do reator do primeiro submarino nuclear do mundo, o *Nautilus*” (SERRA, 2011).

A produção de terras raras no Brasil, que já teve posição de destaque, como vimos, é hoje praticamente nula. No entanto, o país, pelas suas reservas, teores dos minérios, variedade de depósitos e capacitação tecnológica, apresenta bom potencial para a extração de terras raras que poderá ser feita, tanto em depósitos específicos, como em jazimentos poliminerálicos.

2. IMPORTÂNCIA ESTRATÉGICA DOS ELEMENTOS DAS TERRAS RARAS

Com o crescimento da demanda dos metais raros e de seus óxidos de grande pureza que são indispensáveis nas indústrias de alta tecnologia, vem aumentando exponencialmente o interesse pelas terras raras.

Os lantanídeos, mais o ítrio e o escândio, constituem um conjunto de 17 elementos designados por elementos de terras raras – ETR (REE na sigla em inglês). São elementos cada vez mais usados nas indústrias ligadas à energia, ímãs permanentes, carros híbridos, turbinas eólicas, células foto voltaicas, fósforos, eletrônica fina, trens de alta velocidade, telecomunicações, fabricação de vidros, cerâmicas, craqueamento do petróleo, entre outros.

Aumenta a importância das terras raras em vários produtos de alta tecnologia, nomeadamente nos ímãs permanentes, cuja aplicação em larga escala, que teve início em 1960 com as ligas Sm-Co. A partir de meados da década de 80 começaram a ser usados em larga escala os

ímãs de neodímio, também chamados de ímãs de neodímio-ferro-boro ($\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$). Esses ímãs, também a base de terras raras, apresentam uma energia magnética de até 2,5 vezes superior aos de Sm-Co. Atualmente os ímãs permanentes são responsáveis por 38% do mercado de terras raras, 21% em volume (AVALON RARE METALS, 2009; LIFTON, 2009). Esses ímãs apresentam um enorme fluxo magnético, mas são mecanicamente frágeis e perdem seu magnetismo de modo irreversível a temperaturas acima de 120° C. Para vencerem estas limitações necessitam de ser dopados com Dy e Tb, que passam, assim, a serem indispensáveis nestas ligas para lhes aumentarem as qualidades.

Os ímãs Nd-Fe-B podem ser fornecidos em várias categorias de formato e de coercividade magnética, dependendo da aplicação. São usados em muitos tipos de motores elétricos e discos rígidos, ou em qualquer outra aplicação onde espaço (miniaturização) e rendimento sejam fatores importantes.

Os motores elétricos das turbinas eólicas, em ampla expansão em todo o mundo, e também no Brasil, como fonte de ‘energia verde’, necessitam de grandes quantidades de terras raras, especialmente do elemento neodímio. Os motores de alta qualidade/rendimento das turbinas eólicas, nos quais cerca de 30% são elementos de terras raras, necessitam de 0,6-1,0 tonelada de ímãs de Nd (180 a 300 kg de Nd), por cada megawatt de capacidade geradora.

O mesmo se pode dizer de outras “indústrias verdes” em grande desenvolvimento como a dos carros híbridos elétricos, das quais são exemplos o ‘Toyota Prius’ e o ‘Ford Focus’.

No Toyota ‘Prius’, que entrou em circuito comercial, é sabido que o motor requer um kg de Nd, e cada uma de suas baterias, dez a quinze quilogramas de La. A empresa fabricante pensa em vender um milhão de unidades por ano (www.reuters.com/article/CGA-Autos/ - acesso em 22/09/10) o que representaria 1.000 t/ano de Nd e 10.000 a 15.000 t/ano de La, ou seja, mais de um décimo de toda a produção mundial, atual, de terras raras.

A Stock Market Review apresenta valores semelhantes especificando que, *the market-leading Prius uses large amounts of rare earth materials in its electric motors and batteries. Each engine uses 33lbs (15kg) of*

lanthanum and 2lbs (1 kg) of neodymium. Two other rare earth elements, terbium and dysprosium, are also added to the alloy to preserve neodymium's magnetic properties at high temperatures. (E:\Rare Earth Metals and Hybrid Cars « Stock Markets Review Blogs.mht).

No Brasil, foi amplamente divulgado que o grupo EBX pretende montar uma fábrica para construir veículos elétricos no país, a partir de 2014, capaz de produzir 100.000 unidades/ano, dando ciência de que o projeto já contava com dois parceiros: um europeu e o outro japonês (www.economia.ig.com.br).

Deve ser levado em consideração que, no Brasil, há importantes projetos em andamento, como, por exemplo, o “MagLev – Cobra”, veículo que está sendo desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da UFRJ, visando a uma revolução no transporte coletivo. Nele as terras raras são componente fundamental porque o sistema “MagLev-Cobra” vale-se das propriedades diamagnéticas dos supercondutores Y-Ba-Cu-O e do campo magnético produzido por ímãs de Nd-Fe-B. No craqueamento do petróleo também há amplo consumo de elementos de terras raras leves.

Além destas indústrias consumidoras de terras raras, outras, há um desenvolvimento constante de novos materiais e de novas tecnologias consumidoras de terras raras, como é o caso dos supercondutores (ítrio), da refrigeração magnética (gadolínio) e da termoeletricidade (cério ou térbio).

Adicionalmente, com o desenvolvimento dos motores elétricos à base de ímãs permanentes, fabricados com neodímio, nos quais se adiciona térbio e disprósio para melhorar e preservar as suas propriedades magnéticas a altas temperaturas, as próximas aplicações de destaque das terras raras, terão uma finalidade ambiental comprovada, muito particularmente, nos carros híbridos/elétricos e nos grandes geradores eólicos (YACINE, 2010). As terras raras passaram, assim, a ser consideradas como um importante bem mineral estratégico e crítico.

Rica de recursos de terras raras e com um plano de visão do futuro, que foi lançado em 1985, a China estabeleceu um programa

abrangente que lhe permitiu atingir, progressivamente, grande desenvolvimento. Atualmente, é responsável por mais de 95% de toda a indústria extrativa e de produção das terras raras no mundo.

Exportando a preços muito baixos, resultantes de mão de obra baratíssima e reconhecida como tendo poucas preocupações ambientais, a China eliminou, progressivamente, toda a concorrência ocidental, a partir dos anos de 1990. Assim foi que se instalou um monopólio que atingiu, em 2009-2010, 97% do fornecimento de terras raras, sob a forma de matérias-primas, produtos e componentes de materiais de alta tecnologia.

Na conferência realizada em Hong Kong, em novembro de 2009 (“Experts Gather in Hong Kong”) foi destacado que:

- a comercialização das terras raras, em escala mundial, parece ser algo insignificante, representando cerca de dois bilhões de dólares (embora hoje já se cite que pode atingir 6 a 8 bilhões), entretanto, sem elas as indústrias de alta tecnologia perderiam trilhões em decorrência da agregação de valores de suas aplicações;
- a produção de terras raras foi, em 2008, de 124 mil toneladas, sendo a China responsável por mais de 95%, havendo, entretanto, uma previsão de déficit de 44.000 toneladas, na demanda mundial projetada para 2015.

Durante a conferência citada acima, Nicholas Curtis, *Executive Chairman* da *Lynas Corporation* (Austrália) chamou a atenção para o fato que: *governments have now taken a very strong policy positions on industries they want to stimulate and many of those industries are Green Industries. And those green industries require rare earths.*

Foi ressaltado nessa conferência de Hong Kong que, nos últimos 3 anos, a demanda interna chinesa por terras raras tem crescido 25% anualmente, tendo sido apontado que essa é uma das principais razões para a redução das suas exportações. Em consequência, passou a haver um desequilíbrio entre a oferta e a demanda mundial.

A China, ao reduzir as exportações de terras raras e incitando as suas duas maiores companhias de mineração, a *Baotou Steel Rare Earth High-Tech Co.* e *Jiangxi Copper Corp.*, a aumentar o preço dos

minérios, provocou o alarme do grupo de países consumidores de seus produtos, a saber: EUA, UE e Japão (YACINE, J.P., 2010).

Por outro lado, sabe-se que na Austrália, a empresa Lynas, que é detentora da jazida de Mount Weld, começou a desenvolver um ambicioso projeto mineiro, graças a um contrato de longo termo feito com a empresa francesa Rhodia, que envolve a garantia do fornecimento de terras raras (YACINE, J.P. 2010).

Segundo JAMES KENNEDY (2010), o mundo está dependente da China, que produz mais de 90% dos óxidos de terras raras de baixo valor e, praticamente, 99% daqueles de alto valor. O mesmo autor cita que apenas a Ásia poderá consumir, até 2015, toda a produção mundial de vários elementos e ligas de terras raras, se não surgirem novos países produtores. Sendo assim, muitos empregos atuais e futuros se mostram dependentes de um fornecimento estável e constante de terras raras.

Ainda, segundo o mesmo autor: *The China's industries begin to consume most of its own rare earth production, you couple all those things together and you have the potential for a very serious supply and demand problem* (KENNEDY, 2010).

Essa situação leva a uma autêntica corrida, pela busca e reavaliação de depósitos, da mesma forma que estimula a reativação de jazidas que foram fechadas, em consequência dos baixos preços da matéria-prima e dos produtos industrializados chineses, a partir dos anos 1990. Entretanto, os recentes limites impostos pela China às exportações criam novas oportunidades para outros países, dentre os quais se inclui o Brasil, que deverão dedicar toda a atenção a retomada da exploração de terras raras.

Para fazer face a essa situação, foi reativada a mina de Mountain Pass (EUA), que estava paralisada desde 2002, assim como foi colocada em produção a jazida de Mount Weld (Austrália), mas também são reavaliados depósitos previamente conhecidos e são pesquisadas, concomitantemente, novas ocorrências de terras raras em vários países.

Segundo KINGSNORTH (2010) nos últimos dois anos tem-se verificado grandes mudanças no comércio e indústrias das terras raras, em função das seguintes causas:

- *Rare earths have unique chemical, magnetic and luminescent properties*
- *Each orebody is different; so the process route is project specific*
- *China declares 'heavy' rare earths resources are finite (approx. 15 years life)*
- *Chinese export quotas reduced*
- *Chinese export taxes maintained*
- *Constraints on Chinese exports are creating opportunities for non-Chinese projects*
- *Several non-chinese rare earths projects being evaluated*
- *Supply and demand for individual REOs is not in balance*
- *Stockpiles of rare earths established in Baotou and Southern China*
- *Consolidation of rare earths industry started in Southern China (ionic clays).*

Pode-se citar, ainda, como exemplo que nos Estados Unidos, Pea Ridge foi considerada e operou como mina de ferro durante 38 anos. No final dos anos 70, descobriu-se que continha terras raras e, cerca de uns 10 anos depois, o Serviço Geológico Americano (USGS) definiu que: *the heavy REO deposit was Strategic and Critical to the United States. The former owners never initiated production due to lack of capital and increasing pricing pressure from the Chinese. The Pea Ridge deposit also has recoverable values of Tellurium (Te), Molybdenum (Mo), Cobalt (Co) and Tin (Sn)* [www.treo.typepad.com/raremetalblog/2010].

Em consonância com essa preocupação, o Serviço Geológico Americano retomou, mais recentemente, uma série de trabalhos de pesquisa no âmbito do programa *Minerals at Risk and for Emerging Technologies*, os quais incluíram, com destaque os resultados obtidos na avaliação do depósito da empresa *Wings Enterprises* (GRAUCH, R.I. et al. 2010).

2.1. Síntese Cronológica da Evolução da Produção Mundial de Terras raras

A primeira aplicação das terras raras surgiu em 1883 com o desenvolvimento da iluminação a gás. Os seus óxidos associados ao de zircônio eram utilizados nas camisas dos lampiões.

Durante muitos anos o único mineral de minério de terras raras, utilizado industrialmente, foi a monazita $(\text{Ce,La,Nd,Th})\text{PO}_4$. A bastnaesita $(\text{Ce,La})(\text{CO}_3)\text{F}$ é o principal mineral de terras raras leves (ETRL), enquanto o xenotímio (YPO_4) , é o das terras raras pesadas (ETRP).

Seis períodos balizam a indústria mundial extrativa de terras raras

- 1885 – O início da produção em larga escala, tendo como matéria-prima as areias monazíticas do litoral brasileiro. Em 1887, a monazita também começou a ser extraída de *placers* fluviais, na Carolina do Norte, EUA. O Brasil figurou como o maior produtor mundial até 1915, quando passou a alternar essa posição com a Índia, durante 37 anos.
- 1952 – A África do Sul torna-se o maior produtor mundial de terras raras, que também são produzidas pelo Brasil e Índia.
- 1960 – Os EUA assumem a liderança da produção mundial, com a exploração de um outro mineral: a bastnaesita proveniente de Mountain Pass – Califórnia.
- 1970 – Nesta década a Austrália passa a produzir mais de 50% do total mundial (excluindo a China), a partir da monazita.
- 1980 – Nos anos 80, a China surge como um gigante, em razão das reservas definidas e pela produção a partir da jazida de Bayan Obo, ampliando, significativamente, a sua participação no mercado mundial a partir de 1990.
- 2000 – Durante a primeira década do século XXI, a China atinge 97% do comércio mundial de terras raras, antes do final da década 2000-2010. Nessa mesma década, começa a restringir

fortemente as suas exportações fazendo com que a demanda mundial de 134.000 toneladas ultrapassasse a oferta de 124.000 toneladas. Como consequência houve uma verdadeira corrida para a retomada e entrada em produção de jazidas e depósitos conhecidos em vários países, de tal forma que: *Exploration efforts to develop rare earths projects surged in 2010, and investment and interest increased dramatically. Economic assessments continued in North America at Bear Lodge in Wyoming; Diamond Creek in Idaho; Elk Creek in Nebraska; Hoidas Lake in Saskatchewan, Canada; Lembi Pass in Idaho-Montana; and Nechalacho (Thor Lake) in Northwest Territories, Canada. Other economic assessments took place in other locations around the world, including Dubbo Zirconia in New South Wales, Australia; Kangankunde in Malawi; Mount Weld in Western Australia, Australia; and Nolans Project in Northern Territory, Australia* (U.S. Department of the Interior, Rare Earths Statistics and Information, USGS, 2010).

2.2. Tópicos Gerais sobre Terras raras e seus Minerais

São chamadas de terras raras ou elementos de terras raras, um conjunto de 15 elementos químicos cujos números atômicos vão de 57, lantânio (La), até 71, lutécio (Lu). O ítrio (Y) e o escândio (Sc), números atômicos 39 e 21, com propriedades físico-químicas e características de ocorrência semelhantes, são também designados como terras raras.

Conforme as bases do conhecimento da química geral, é sabido que a passagem de um elemento ao outro por aumento de uma unidade do número atômico, corresponde à captura de um elétron denominado elétron de valência, que se situa habitualmente numa órbita externa. No grupo das terras raras, o aumento de elétrons verifica-se, entretanto, numa camada mais interna (4f), permanecendo constante o número de elétrons das camadas superficiais.

No caso dos elementos das terras raras a carga do núcleo com o número atômico, cresce a atração sobre os elétrons periféricos, resultando uma contração das órbitas eletrônicas, gerando a denominada contração lantanídica, que é tanto maior quanto maior for o número atômico. As pequenas diferenças de raios iônicos entre os

elementos de terras raras explicam as causas para que, no estado natural, ocorram sempre misturados.

A contração lantanídica consiste na diminuição do caráter eletropositivo, com o aumento do peso molecular, o que faz surgir, entre as extremidades dos elementos do grupo, propriedades cristaloquímicas suficientemente diferentes para que se possa dividir as terras raras em dois grupos: céricas ou leves e ítricas ou pesadas.

Estes 15 elementos consecutivos da tabela periódica são os únicos a apresentarem propriedades tão semelhantes. Em razão disso, a sua separação individual torna-se difícil e, em alguns casos, onerosa. Porém, quando separados, as suas propriedades físicas colocam-nos no topo dos mais raros e, em muitos casos, mais específicos elementos para aplicações de alta tecnologia.

A diferente abundância individual dos elementos das terras raras na parte superior da crosta continental resulta da sobreposição de dois efeitos, um nuclear e outro geoquímico (HAXEL, HEDRICK, & ORRIS, 2010).

- Terras raras com números atômicos pares como, por exemplo, $_{58}\text{Ce}$ e $_{60}\text{Nd}$ são mais abundantes, na terra e cosmicamente, do que as adjacentes $_{57}\text{La}$ e $_{59}\text{Pr}$.
- Elementos de terras raras leves são mais incompatíveis porque têm maiores raios iônicos, mas, no entanto, são mais abundantes na crosta continental do que os elementos pesados.
- Na maioria dos depósitos de terras raras os primeiros 4 elementos – La, Ce, Pr, Nd, representam 80 a 99% do total, em seus minérios.

Os depósitos contendo concentrações mais elevadas de elementos de terras raras pesadas (Gd até Lu, Y) são os mais procurados.

Até então, são conhecidos cerca de 200 minerais (carbonatos, fosfatos, silicatos, óxidos, haloides) contendo terras raras. Devido às grandes dimensões dos seus raios iônicos e ao estado trivalente de

oxidação, as terras raras têm elevados números de coordenação (nc 6-10), quando ligados com os ânions O^{2-} , F^- , HO^- .

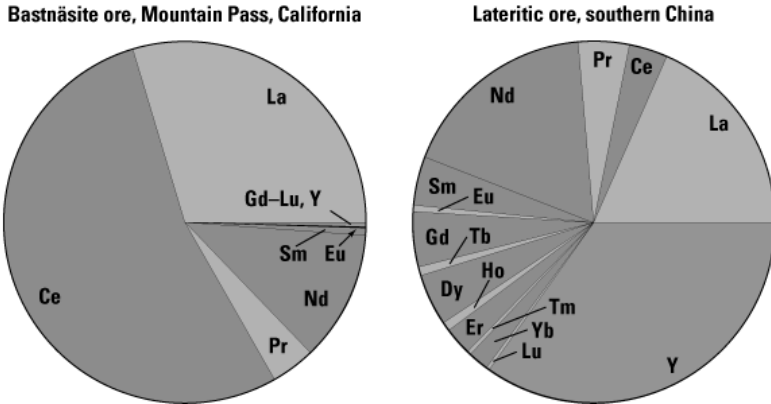
Por outro lado, os elementos de terras raras leves tendem a ocupar os maiores sítios (nc 8-10) e concentram-se em carbonatos e fosfatos. Os elementos de terras raras pesadas e o ítrio ocupam os sítios 8 (nc) e são abundantes associados a óxidos e em parte dos fosfatos (KANAZAWA. & KAMITANI, 2006).

É sabido que argilas de adsorção iônica, ricas de terras raras pesadas, são explotadas em Jiangxi, no sul da China. As terras raras concentram-se numa camada de argila formada por intemperismo de rochas ricas de terras raras, granitos no caso de Jiangxi, mas também de carbonatitos.

Deve ser citado que o Brasil apresenta bom potencial para este tipo de depósitos, tanto nas argilas formadas por intemperismo dos granitos alcalinos do norte do país (região de Pitinga – AM, por exemplo), como nas argilas de cobertura dos numerosos complexos carbonatíticos conhecidos, nomeadamente o de Maicuru – AM.

As proporções individuais dos elementos de terras raras nos minérios são muito variáveis. Na Figura 1 mostra-se a composição de dois minérios representativos: o de Mountain Pass, Califórnia, EUA (bastnaesita), em que predomina La, Ce e Nd, com Eu, Lu mais Y totalizando apenas 0,4%; e as argilas de adsorção iônica de Jiangxi com predominância de Y.

A Figura 1 e a Tabela 1 apresentam a composição de terras raras de algumas jazidas exploradas comercialmente.



Fonte: CHRISTIE et al., USGS. Mineral Commodity – Report 17

Figura 1 – Composição dos ETR em dois minérios representativos

Tabela 1 – Composição (%) em termos de elementos de terras raras, de algumas jazidas comerciais

Elementos	Bastnaesita	Monazita (Capel, WA)	Xenotímio (Lahat, Perak)	“Longnan Clay” (Jiangxi)	Loparita, (Rússia)
Lantânio	33,20	23,89	1,24	43,37	25
Cerio	49,10	46,02	3,13	2,38	53
Praseodímio	4,34	5,04	0,49	9,02	6
Neodímio	12,00	17,38	1,59	31,65	14
Promécio	---	---	---	---	---
Samário	0,79	2,53	1,14	3,90	0,9
Európio	0,12	0,05	0,01	0,50	0,08
Gadolínio	0,17	1,49	3,47	3,00	0,56
Térbio	0,02	0,04	0,91	traços	0,37
Disprósio	0,03	0,69	8,32	traços	0,12
Holmio	0,01	1,98	trace	0,05	0,08
Érbio	0,00	6,43	0,21	traços	0,016
Túlio	0,00	0,02	trace	1,12	0,003
Itérbio	0,00	0,12	6,77	0,26	0,008
Lutécio	0,00	0,04	0,99	0,10	0,002
Ítrio	0,09	2,41	61,00	8,00	0,008
Total	99,86	99,98	98,59	102,18	100,147

Fonte: CHRISTIE et al., USGS – Mineral Commodity Report 17, 1998

É reconhecido que o minério do sul da China tem grande valor econômico pela sua riqueza em elementos pesados de terras raras, principalmente Y, e também Nd, mas a sua exploração tem causado sérios problemas ambientais.

A Tabela 2, por outro lado, mostra algumas das diferentes composições de jazidas conhecidas.

Tabela 2 – Composição (%) de terras raras totais, em seis importantes jazidas de classe mundial

	Nolans Bore	Mountain Weld	Bayan Ebo	Mountain Pass	Dong Pao	“Ionic Clays”
Ce+La	67	71	77	82	83	~2
Nd+Pr+Dy	27	24	21	16	15	~10
Sm+Eu+Gd+Y	5	4	2	1	1	~75
Co-produto	Ác. fosfórico	---	Ferro	---	---	---
Subproduto	U e Gesso	---	---	---	---	---

Fonte: LONG, 2010

Os elementos de terras raras são obtidos, via de regra, como subproduto ou coproduto de outros bens minerais, conforme citam, entre outros, K.R. Long, *et al.* (2010): *The balance of a global REE production is as a byproduct. Conceivably, as much as 90% of rare earth elements production is as a byproduct or coproduct.*

Na China de uma produção total de 120.000 toneladas métricas de terras raras, cerca de 55.000 são produzidas como coproduto da mina de ferro e nióbio de Bayan Obo.

2.3. Geologia das Terras raras

São conhecidos cerca de 200 minerais contendo terras raras (HOGARTH, 1989), dos quais apenas um número reduzido tem, ou pode vir a ter, interesse comercial (Tabela 3).

Tabela 3 – Seleção de minerais de terras raras, por ordem decrescente de teores

Mineral	Fórmula	OTR, (aprox.) %
Bastnaesita-(Ce)	(Ce,La)(CO ₃)F	75
Monazita-(Ce)	(Ce,La,Nd,Th)PO ₄	65
Xenotímio	YPO ₄	61
Parisita-(Ce)	Ca(Ce,La) ₂ (CO ₃)F ₂	61
Gadolinita-(Y)	(Ce,La,Nd,Y)Fe ²⁺ Be ₂ Si ₂ O ₁₀	60
Ytrocercita-(Y,Ce)	(Ca,Ce,Y,La)F ₃ .nH ₂ O	53
Fergusonita (Ce)	(Ce,La,Nd)NbO ₄	53
Huanghoita-(Ce)	(Ba,Ce)(CO ₃)F	39
Allanita-(Ce)	(Ce,Ca,Y) ₂ (Al,Fe ³⁺) ₃ (SiO ₄) ₃ OH	38
Kainosita-(Y)	Ca ₂ (Y,Ce) ₂ Si ₄ O ₁₂ CO ₃ .H ₂ O	38
Aechynita-(Ce)	Ce,Ca,Fe,Th)(Ti,Nb) ₂ (O,OH) ₆	32
Britholita-(Ce)	(Ce,Ca) ₅ (SiO ₄ .PO ₄) ₃ (OH,F)	32
Florencita-(Ce)	CaAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₆	32
Cebaita-(Ce)	Ba ₃ Ce ₂ (CO ₃) ₅ F ₂	32
Loparita	(Ce,La,Na,Ca,Sr)(Ti,Nb)O ₃	30
Euxenita-(Y)	(Y,Ca,Ce,U,Th(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	24
Samaraskita-(Y)	(Y,Ce,U,Fe ³⁺) ₃ (Nb,Ta,Ti) ₅ O ₁₆	24
Apatita	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	19
Eudialita	Na ₄ (Ca,Ce) ₂ (Fe ²⁺ ,Mn,Y)ZrSi ₈ O ₂₂ (OH,Cl ₂)	9
Brannerita	(U,Ca,Y,Ce)(Ti,Fe) ₂ O ₆	9

Fonte: BRITISH GEOLOGICAL SURVEY e CLARK (2010)

A grande maioria dos recursos de terras raras estão, porém, associados, predominantemente, a apenas três minerais: bastnaesita e monazita, para as terras raras leves (ETRL) e xenotímio, para as terras raras pesadas (ETRP).

Pela sua abundância e teor, o mais importante mineral de terras raras é a monazita, de fórmula geral A B O₄, sendo A = Bi, Ca, Ce, La, Nd, Th, e U; B = As⁵⁺, P⁵⁺ ou Si⁴⁺.

Há 4 variedades de monazita:

Monazita-(Ce) (Ce, La, Nd, Th) (P,Si) PO₄

Monazita-(La) (La, Ce, Nd) PO₄

Monazita-(Nd) (Nd, La, Ce) PO₄

Monazita-(Pr) (Pr, Nd, Ce, La)PO₄

A monazita, de fórmula empírica $(\text{Ce,La,Nd,Th})\text{PO}_4$, tem como fonte primária mais comum granitos pegmatíticos.

Os seus depósitos formam-se por alteração e desagregação das rochas fonte, transporte e deposição em cordões litorâneos e aluviões fluviais.

O seu peso molecular é de 240,21 gm. A composição química varia em função das suas variedades. O Webmineral apresenta a seguinte composição média:

Ce_2O_3	34.16 (%)
La_2O_3	16.95 (%)
Nd_2O_3 ,.....	14.01 (%)
ThO_2	5.50 (%)
P_2O_5	29.55 (%)
O	26.64 (%)

A bastnaesita, $\text{Ce}(\text{CO}_3)\text{F}$, ocorre no contato ou em zonas de alteração de rochas alcalinas. O seu peso molecular é 219,12 gm e apresenta a seguinte composição química média:

Ce_2O_3	74,90 (%)
CO_2	20,08 (%)
O	21,90 (%)
F	8,67 (%)

O xenotímio, YPO_4 , é mineral acessório tanto em rochas ácidas como alcalinas, principalmente em pegmatitos. O seu peso molecular é de 183,88 gm e apresenta a seguinte composição química média:

Y_2O_3	61,40 (%)
P_2O_5	38,60 (%)
O	34,80 (%)

Utilizamos o galicismo “gitologia” (“gîte” = jazida => “gitologie”) por entendermos que na língua portuguesa não há nenhuma palavra que traduza a descrição e caracterização geológico-

mineralógica de um depósito sem envolver a sua metalogênese. Se quiséssemos recorrer a um neologismo, seria a palavra “jazidologia”, com o sentido de descrição de jazida.

Recentemente (2010), o Serviço Geológico Britânico (British Geological Survey, 2010), no âmbito da Série Commodity Profiles, elaborou excelente relatório sobre terras raras, compilado por Abigail Walters e Paul Lusty, com a assistência de Claire Chetwyn e Amanda Hill. Os autores consideram quatro tipos de depósitos primários e cinco secundários (Quadro 1).

Quadro 1 – Tipos de depósitos de terras raras/número de ocorrências documentadas, características, principais exemplos

Tipos/Nº de ocorrências	Características	Reservas/Teores OTR	Exemplos Principais
Depósitos Primários			
Associados a carbonatitos/(107)	Complexos alcalinos / zonas de falha	Dezenas de milhar a milhões de toneladas / 0,1-10%	Mountain Pass (EUA), Bayan Obo (China), Catalão (GO), Araxá (MG), Kangankunde (Malawi)
Associados a carbonatitos em minérios de P, Ti, Nb / (4)	Complexos alcalinos / zonas de falha	Dezenas a centenas de milhares de toneladas / 0,5-10%	Tapira (MG), Araxá (MG), Catalão (GO), Maicuru (AM)
Associados a rochas alcalinas/ (122)	Rochas ricas de minerais alcalinos e enriquecimento em HFSE	Dezenas a mais de 1000 Milhões de toneladas / <5%	Ilimaussak (Groenlândia), Khibiny e Lovozero (Rússia), Thor Lake e Strange Lake (Canadá), Weishn (China), Brockman (Aust.), Pajarito (EUA)
Fe-TR-Cu-Au/(4)	Depósitos de Cu-Au ricos de óxidos de Fe	Olympic Dam: 2000 Milhões de toneladas / 0,3295%	Olympic Dam (Austrália), Pea Ridge, USA
Minérios de Zr, Nb-Ta, Sn e respectivos eluviões e aluviões em granitos alcalinos/(?)	Granitos mineralizados em zircão, niobotantalitas, cassiterita e xenotímio	-	Pitinga (AM) e outros depósitos de cassiterita do norte do Brasil

Quadro 1 (cont.) – Tipos de depósitos de terras raras/número de ocorrências documentadas, características, principais exemplos.

Tipos/No de ocorrências	Características	Reservas/Teores OTR	Exemplos Principais
Depósitos Primários			
Hidrotermais/(63)	Veios poliminerálicos de quartzo, fluorita e pegmatitos	Comum, < 1 milhão de toneladas, raramente até 50 milhões de toneladas / 0,5-4% (raramente até 12%)	Karonje (Burundi); Naboomspruit e Steenkampskraal (África do Sul); Lehmi Pass, Snowbird e Bea Lodge (EUA); Hoidas Lake (Canadá)
‘Placers’ Marinhos / 264	Acumulações de minerais pesados em areias de praia e cordões litorais	Reservas muito variáveis, de dezenas até 1-3 centenas de MILHÕES DE TONELADAS/ < 1% de monazita	Eneaba, Jangarup, Capel, WIM 150 (Austrália); Green Cove Springs (EUA); Richards Bay (África do Sul); Chavara (Índia), Cumuruxatiba, Guarapari e Buena(Brasil);
‘Placers’ aluvionares/(78)	Acumulações de minerais pesados em canais fluviais	Dezenas até <200 Milhões de toneladas / < 0,1% de monazita	Perak (Malásia); Chavara (Índia); Carolina monazite belt e Horse Creek (EUA); Guangdong (China)
‘Paleoplacers’/(13)	Antigos ‘placers’ consolidados	Dezenas de MILHÕES DE TONELADAS até 100 Milhões de toneladas/<0,1%	Elliot Lake (Canadá); Bald Mountain (USA)

Fonte: Adaptado de BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010) e ampliado com outros tipos do Brasil.

No tipo de origem carbonatítica acrescentamos mais um, que está representado no Brasil, em que as terras raras podem ser subproduto de minérios que contém P, terras raras, Ti, Nb, assim como consideramos também o caso dos granitos alcalinos mineralizados em cassiterita, zircão e niobo-tantalitas da Amazônia.

Por outro lado, no Brasil, por exemplo, a partir do minério de cassiterita do depósito poliminerálico de Pitinga foi possível obter-se um concentrado de xenotímio, com a seguinte composição: xenotímio (89,5%), zircão (9,3%), torita (0,7%), outros (0,5%). Na designação de outros incluem-se: quartzo, cassiterita, columbita-tantalita, feldspato e magnetita. A composição química do concentrado está indicada na Tabela 4 (BARBOSA, 2001).

Tabela 4 - Composição química do concentrado de xenotímio da mina de Pitinga

Constituintes	Teor (% peso)
TR ₂ O ₃	61,60
ZrO ₂	6,20
SiO ₂	3,70
ThO ₂	0,59
U ₃ O ₈	0,07
P ₂ O ₅	27,60
Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ +Nb ₂ O ₅ +SnO ₂	0,24

Fonte: BARBOSA, 2001

O concentrado de xenotímio de Pitinga revelou, ainda, a seguinte composição em termos de óxidos totais, Tabela 5.

Tabela 5 - Composição, para 100% de terras raras, do concentrado de xenotímio de Pitinga – AM

ETRL	TEOR %	ETRP	TEOR %
La	---	Tb	1,41
Ce	0,07	Dy	10,64
Pr	0,01	Ho	3,27
Nd	0,04	Er	14,27
Pm	---	Tm	2,98
Sm	0,25	Yb	20,97
Eu	0,04	Lu	2,73
Gd	1,20	Y	42,13
TOTAL	1,61	TOTAL	98,40

Fonte: BARBOSA, 2001

Constata-se que o xenotímio de Pitinga apresenta altíssimo valor para o somatório dos teores dos elementos de terras raras pesadas (98,4%), embora seja relativamente baixo o teor de ítrio (42,13%). Merecem, ainda, destaque especial os valores de Yb (20,97%), Er (14,27%) e Dy (10,64).

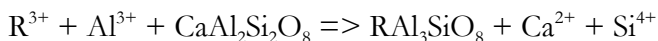
As terras raras ocorrem numa vasta gama de rochas, ígneas, sedimentares e metamórficas, em grande variedade de minerais: haloides, carbonatos, óxidos e fosfatos, mas nunca sob a forma metálica.

A formação de minerais de TR é possível nas rochas em que a razão $100x(\text{TR}_2\text{O}_3/\text{Ca}) > 1$ (SMIRNOV, 1976).

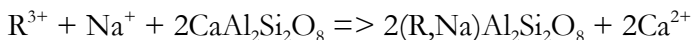
O grande raio iônico dos elementos de terras raras só permite a sua substituição por cátions também de grandes dimensões.

Outro caso que deve ser considerado é a substituição de terras raras trivalentes (R^{3+}) por cátions de cargas diferentes (“substituição altermvalente”), o que requer mecanismos de compensação de carga.

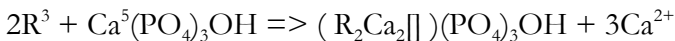
Na anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), por exemplo, pode acontecer a troca de Al^{3+} por Si^{4+} , como se indica,



Ou haver uma troca por 2Ca^{2+} , segundo a equação,



No caso da apatita, importante fonte potencial carreadora de terras raras, a substituição se dá por uma vacância (símbolo []), como se pode ver,



Os elementos de terras raras que são via de regra trivalentes, podem apresentar-se, eventualmente, como bivalentes. Destaque-se o caso do Eu pela sua relevância na indústria luminófora.

Esse elemento que é raro como ocorrência em minerais específicos, aparece, por vezes, em quantidades notáveis nos minerais de Sr, principalmente, assim como de Pb, sob a forma de Eu^{2+} . Os

respectivos raios iônicos e a ambiência geológica permitem-lhes essas substituições. O Eu^{2+} pode, ainda, substituir o Ca^{2+} .

Nesse contexto, deve ser citado que o complexo carbonatítico da Barra do Itapirapuã, no vale do Ribeira (SP-PR), deve merecer particular atenção, visto que além de ser uma ocorrência de terras raras, são encontrados minerais de Pb (galena, wulfenita) nas rochas carbonatíticas (LAPIDO-LOUREIRO, 1994).

Os carbonatitos são, entre todos os tipos de rochas, os que apresentam teores mais elevados de terras raras, oscilando entre 72 e 15.515 ppm, e as maiores razões La/Lu quando normalizadas para condritos (7,1 a 1240) (CULLERS & GRAF, 1984).

Os processos formadores de rochas (petrogênese), incluindo a mobilização de elementos químicos em fluidos hidrotermais ou durante o intemperismo, influenciam o enriquecimento em terras raras e a formação dos seus minerais. Podem, portanto, gerar dois tipos de depósitos: primários, associados a processos ígneos e hidrotermais, e secundários resultantes de processos sedimentares e de intemperismo.

Cada um deles pode ser subdividido em função de suas associações genéticas (paragênese mineral), mineralogia e forma de ocorrência.

Depósitos associados a carbonatitos, uma das principais rochas-mãe de depósitos de terras raras, podem resultar diretamente de processos magmáticos ou de intemperismo associado a enriquecimento residual, ou ainda da sua combinação.

2.4. Campos de Aplicação das Terras raras

As terras raras apresentam propriedades químicas, magnéticas e luminescentes sem igual. Os seus campos de aplicação são muito variados. Englobam desde produtos comuns do nosso dia-a-dia (catálise no âmbito dos automotivos e do craqueamento do petróleo, pedras de isqueiro, pigmentos e polimento de vidros, cerâmicas) até produtos de alta tecnologia (baterias miniaturizadas, repetidores laser, luminóforos, supercondutores, ímãs permanentes). Separadas ou em mistura, são utilizadas em múltiplas aplicações (Tabela 6, Apêndices 1 e

1a). Atualmente têm grande importância nas ‘indústrias verdes’ como as das turbinas eólicas e dos carros híbridos. Como tal, são designadas por “elementos verdes” (*green elements*).

Tabela 6 – Aplicações dos elementos de terras raras, por ordem alfabética, Y e Sc

Elemento	Aplicações
Cério (Ce)	Catálise (automóveis e refino de petróleo), cerâmicas, vidros, <i>mischmetal</i> *, fósforos, pós para polimento.
Disprósio (Dy)	Cerâmicas, fósforos e aplicações nucleares.
Érbio (Er)	Cerâmicas, coloração de vidros, fibras óticas, lasers e aplicações nucleares.
Európio (Eu)	Fósforos.
Gadolínio (Gd)	Cerâmicas, vidros, detecção ótica e magnética, visualização de imagens em medicina.
Hólmio (Ho)	Cerâmicas, lasers e aplicações nucleares.
Lantânio (La)	Catálise automotiva.
Lutécio (Lu)	Cintiladores de cristal único.
Neodímio (Nd)	Catálise, filtros infravermelho, lasers, ímãs permanentes, pigmentos.
Praseodímio (Pr)	Cerâmicas, vidros e pigmentos.
Promécio (Pm)	Fósforos, miniaturas de baterias nucleares e dispositivos de medida.
Samário (Sm)	Filtros de micro-ondas, aplicações nucleares e ímãs permanentes.
Térbio (Tb)	Fósforos.
Túlio (Tm)	Tubos de feixes eletrônicos e visualização de imagens médicas.
Íterbio (Yb)	Indústrias química e metalúrgica.
Ítrio (Y)	Capacitores, fósforos, radares e supercondutores.
Escândio (Sc)	Indústria aeroespacial, bastões de baseball, aplicações nucleares, iluminação e supercondutores.

**Mischmetal* – Liga de elementos de terras raras utilizada na remoção do oxigênio e enxofre, na purificação do aço, e em pedras de isqueiro.

Fonte: Extraído e adaptado de BRITISH GEOLOGICAL SURVEY (2010)

Na versão inglesa do China Rare Earth Industry Report, 2007-2008 verifica-se que: apenas cerca de 25% dos minérios são processados para extração individual de metais. As terras raras mais usadas na forma elementar são: La, Eu, Gd, Nd, Ce e Tb. Em muitas

aplicações são utilizadas sob a forma de compostos de baixo custo. Na forma de óxidos são muito usadas nas indústrias cerâmicas, de vidros e em vários campos das indústrias metalúrgicas.

Nos EUA as principais aplicações das terras raras estavam, em 2006, representados pelos conversores catalíticos de automóveis (25%), pelos catalisadores usados no refino do petróleo (22%) e em aditivos para a produção de ligas especiais. Mais recentemente o consumo de terras raras para ímãs permanentes e baterias de carros híbridos tem crescido num ritmo intenso.

O consumo por aplicações em 2010 e projetado para 2015 é apresentado nas Figuras 2 e 3 (HUMPHRIES, 2011)

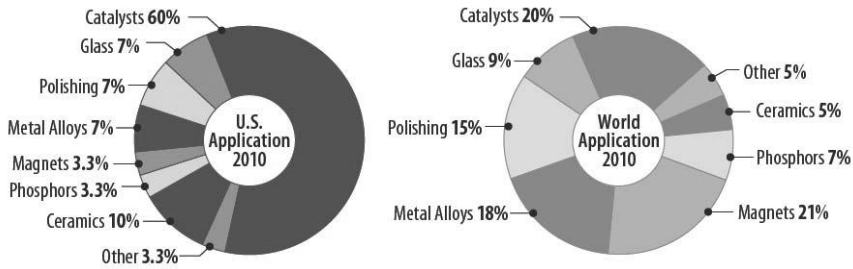
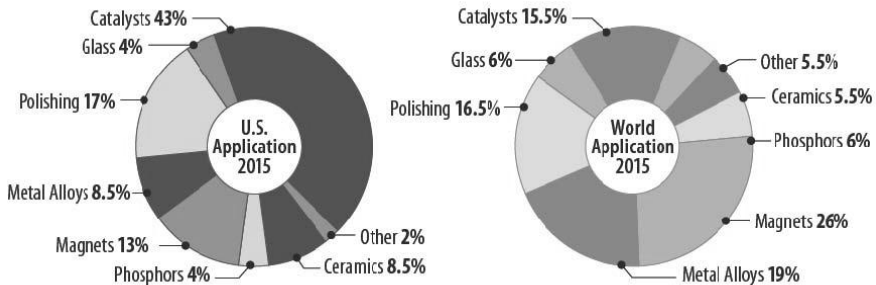


Figura 2 - Demanda de terras raras, por aplicação nos EUA e no mundo, em 2010



Fonte: HUMPHRIES, 2011

Figura 3 – Projeção da demanda de terras raras, por aplicação, nos EUA e no mundo em 2015

Como se referiu, anteriormente, em detalhe, cada elemento de terras raras, tem aplicações específicas, enquanto cada depósito tem a sua identidade, isto é, o seu perfil de terras raras.

A propósito das aplicações industriais dos elementos das terras raras a Tabela 7 abaixo mostra as mais usualmente conhecidas.

Tabela 7 – Aplicação (%) dos elementos de terras raras por elemento

Aplicações	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Y	(a)
Imãs	--	--	23,4	69,4	--	--	2	0,2	5	--	--
Ligas/baterias	50	33,4	3,3	10	3,3	--	--	--	--	--	--
Ligas metálicas	26	52	5,5	16,5	--	--	--	--	--	--	--
Catálise auto	5	90	2	3	--	--	--	--	--	--	--
Refino/petróleo	90	10	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Polimento	31,5	65	3,5	--	--	--	--	--	--	--	--
Aditivos/vidros	24	66	1	3	--	--	--	--	--	2	4
Fósforos	8,5	11	--	--	--	4,9	1,8	4,6	--	69,2	--
Cerâmicas	17	12	6	12	--	--	--	--	--	53	--
Outras aplicações	19	39	4	15	2	--	1	--	--	19	--

(a)Outros elementos de terras raras

Fonte: LONG, 2010

Os fatores de demanda e escassez específica de certos elementos fazem, portanto, com que haja grandes variações de preços, entre esses elementos ao longo do tempo (Tabela 8).

Tabela 8 - Evolução dos preços de 7 elementos de terras raras (metal com 99% de grau de pureza) em US\$/kg – FOB China

Elem.	Média 2002-2003	Julho 2011	Fator de variação ^(a)	Final 2011 ^(b)
Eu	800	6.780	8,5	5.400
Tb	204,5	5.110	25	4.100
Dy	32,1	3.410	106	2.900
Nd	6,67	467	70	310
Y	< 25	270 ^(a)	--	195
La	< 5	170 ^(a)	--	270
Ce	< 5	290 ^(a)	--	120

(a) Fator de variação entre 2002-2003 e julho 2011 (b) Valores aproximados

Fonte: China Rare Earth Industry Report, 2009

Nas indústrias de alta tecnologia a aplicação das terras raras é feita a níveis de pureza muito elevados, de até quatro casas decimais (6N – 99,9999%). É o caso dos luminóforos (fósforos), por exemplo.

Como nos minérios ocorre a mistura dos 17 elementos de terras raras, há necessidade de se proceder a um grande número de operações para separá-los e, então, atingir os níveis de pureza indicados. A necessidade de efetuar tratamentos químicos complexos, somada à sua escassez, fazem com que certos elementos de terras raras, com elevado grau de pureza, atinjam elevados preços, da ordem de milhares de dólares por quilograma.

Em razão das peculiares propriedades físicas e químicas, os elementos terras raras (ETR) desempenham várias funções em numerosos materiais de uso no nosso cotidiano. As terras raras, na sua qualidade de “elementos verdes”, têm cada vez mais aplicações na tecnologia moderna. As aplicações das terras raras por razões ambientais cresceram, intensamente, nas últimas três décadas, conforme vários autores relatam a seguir.

This trend will undoubtedly continue, given growing concerns about global warming and energy efficiency. Several REE are essential constituents of both petroleum fluid cracking catalysts and automotive pollution-control catalytic converters. Use of REE magnets reduces the weight of automobiles. Widespread adoption of new energy-efficient fluorescent lamps (using Y, La, Ce, Eu, Gd, and Tb) for institutional lighting, could potentially achieve reductions in U.S. carbon dioxide emissions equivalent to removing one-third of the automobiles currently on the road. Large-scale application of magnetic-refrigeration technology (described below) also could significantly reduce energy consumption and CO₂ emissions” (HAXEL, HEDRICK, ORRIS, 2010).

The Green Elements have an ever-growing variety of applications in modern technology. The physical and chemical properties of the Rare Earth elements contribute essential functions to a range of uses that affect our daily lives. Cell phones, PDA's, “ear bud” miniature speakers, media storage systems such as IPOD's, computers, vehicles – all depend on Rare Earths (Apêndice 1).

Com o desenvolvimento dos motores elétricos de ímãs permanentes, à base de neodímio (com térbio e disprósio), com larga aplicação, nos grandes geradores eólicos e nos carros híbridos, entre muitas outras, haverá forte aumento de consumo de terras raras, o que terá grande reflexo no seu comércio.

Em 2008, só a demanda japonesa foi de 40.000 toneladas, enquanto a cota de ofertas chinesas para o exterior não ultrapassou 38.000 toneladas, como afirmaram A. Loesekrug-Pietri, cogente de um fundo de investimentos na China, e Dominique de Boisson, ex-vice presidente da Câmara de Comércio Europeia na China.

Segundo esses especialistas, é quase certo que as cotas vão continuar a diminuir e que a China poderá até mesmo cortar as exportações de certas terras raras. A exportação de ítrio, térbio e túlio foram inclusive suspensas entre 2009 e 2010.

China carried out mandatory management plan on the production of rare earth products and smelting / separating rare earth products. In the year, the output of rare earth products was 120,800 tons, (by REO, the same hereinafter), down 8.83% year on year, and the output of smelting and separating rare earth products was 126,000 tons (including nearly 18,000 tons from waste recovery), down 19.75% year on year.

In 2007, China's export volume of rare earth products (rare-earth magnet included) was 49,000 tons, down 14.93% year on year, but the export value reached US\$1,18 billion, up 51% year on year. Among the total exports, the export volume of rare-earth magnet, exporting to 69 countries and regions, reached 21,532 tons, nearly doubling against the previous year, and the export value was US\$415 million, up 36.96% year on year. The top nations and regions in terms of China's export volume were Hong Kong and USA, Japan, Singapore, German, Thailand, Korea, Italy, Holland and Finland (CHINA RARE EARTH INDUSTRY REPORT, 2009).

O economista C. Hocquard, do BRGM da França, baseado nos fatos da China, a firma que esse país: i) é responsável por mais de 95% da produção mundial; ii) está fechando as “produções sujas” (garimpos) por razões ambientais e de melhor gerenciamento de preços; iii) consome internamente 60% da demanda mundial e

apresentar um crescimento anual de 20%; iv) mostra que a sua capacidade de exportação tende para zero em 2014. Daí, ele vê duas soluções para a questão relacionadas com o risco de desabastecimento, quais sejam: deslocar as indústrias para a China ou desenvolver rapidamente novas jazidas de terras raras, fora da China (HOCQUARD, 2010).

Em concordância com Hocquard, Jack Lifton, conhecido especialista em terras raras cita que: *in America, Britain and elsewhere we have not yet woken up to the fact that there is an urgent need to secure the supply of rare earths from sources outside China. China has gone from exporting 75% of the raw ore it produces to shipping just 25%.*

Esse último autor, reforça que há uma preocupação considerável nos EUA, pelo fato desses elementos serem usados largamente na indústria militar, em sistemas de defesa antimísseis, peças de avião, sistemas de comunicação, medidores eletrônicos (*electronic countermeasures*), detetores de minas submarinas (*underwater mine detection*) sistemas de orientação de mísseis (*missile guidance systems*) e em geração de energia em satélites, entre muitas outras aplicações militares.

Segundo Relatório da Roskill de 2007 sobre a economia das terras raras e ítrio, */.../ this has brought fundamental change to the global industry, taking it from oversupply to demand shortages. /.../ with demand growth for rare earths forecast at 8-11% per annum, and should China's strict control persist, there will be a significant need for "new non-Chinese capacity in the next 3 to 4 years.*

2.5. Como a China Atingiu a Liderança em P, D&I, na Produção, Industrialização e Comércio de Terras raras no Mundo

A indústria das terras raras na China começou na década de 50. Após 50 anos de notável desenvolvimento, foram conseguidos resultados notáveis na definição de recursos e nos domínios da P&D (*ABN Newswire* de 29/06/2010).

Tornou-se o maior país tanto em reservas como na produção, consumo e exportação. *At present, rare earth products have been used in more than 30 industry fields in China, the development and application of rare earth*

novel materials have become the major growth pole of China rare earth industry (op. cit.) (Apêndice E).

A China, desde 1958, com a criação do *General Research Institute for Nonferrous Metals – GRINM* que incluía o *Department of Rare Earth*, atingiu um lugar proeminente nos campos da produção, da pesquisa e do desenvolvimento industrial das terras raras, tendo contribuído e, ainda, contribui largamente, para mostrar que os materiais com terras raras desempenham importante papel nas indústrias de ponta, os quais estão presentes e são condicionantes do nosso dia a dia.

O grande impulso no âmbito da inovação tecnológica foi dado durante os anos 80. *Three Chinese scientists jointly proposed a plan that would accelerate the country's high-tech development. Deng Xiaoping, China's leader at the time, approved the National High Technology Research and Development Program, namely Program 863* (HURST, 2010).

Em 1980 foi fundada a *Chinese Society of Rare Earths (CSRE)*, uma organização de pesquisa científica e tecnológica com mais de 100.000 especialistas registrados. É a maior comunidade acadêmica de terras raras no mundo (Fonte: *ABN Newswire, June 29, 2010*).

Ainda, segundo a mesma fonte:

Besides serving for the government and researchers on science and technology of rare earth, CSRE provides a stage for rare earth scientists to exchange their research ideas, propose the scientific and technical plans on fundamental and applied fields on rare earth, as well as rare earth R&D plans for industry. CSRE is therefore the most important social force in developing the rare earth science and technology in China.

CSRE publishes two journals, Journal of the Chinese rare earth Society (edited in Chinese and English separately) and Chinese Rare Earths (in Chinese), and one newsletter, Chinese Rare Earth Information. CSRE also plays an important role in the international rare earth community.

Para atender a diretriz do governo chinês em transformar o país num líder mundial, no campo da inovação em alta tecnologia, foram estabelecidos dois programas: o primeiro, “Programa 863”, conforme já referido, enquanto onze anos depois, o segundo, o

”Programa 973”, em março de 1997 (HURST, 2010). Para mais detalhes, ver o Apêndice 2

O governo chinês, para dinamizar ainda mais a sua atuação no campo das terras raras, criou, em 1995, com apoio técnico-político da *State Development Planning Commission* e financeiro do Banco Mundial (3 milhões de dólares), o *Research Center for Rare Earth Materials* cuja sigla corresponde a – CREM. (Apêndice F).

Em 1999, o campo de atuação do CREM foi muito ampliado com a criação de um novo núcleo de P,D&I: o *National Rare Earth Center for Agriculture Development*.

Sob o título: *China’s Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?*, o Institute for the Analysis of Global Security (IAGS), de Washington, divulgou, em março de 2010, o já referido estudo de Cindy Hurst (HURST, 2010), que mostra como, nos últimos anos, a China se tornou uma força, a maior, no domínio das terras raras.

This paper is designed to give the reader a better understanding of what rare earth elements are and their importance to society in general and to U.S. defense and energy policy in particular. It will also explore the history of rare earth elements and China’s current monopoly of the industry, including possible repercussions and strategic implications if rare earth elements supply were to be disrupted.

2.6. A Política Atual da China em Relação às Terras raras e seu Reflexo em Outros Países

A China tinha se apercebido, desde o final da década de 50 do século passado, sobre a importância estratégica das terras raras.

HURST cita que o nível de conhecimento técnico-científico e as suas grandes reservas minerais levaram Deng Xiaoping a declarar, em 1992: “O Médio Oriente tem o petróleo, a China as terras raras”. Anunciava, assim, a força tecnológica, política, estratégica e econômica que a China iria adquirir, no início do século XXI, no âmbito dos elementos de terras raras (HURST, 2010).

A China, que atendia a mais de 95% das necessidades de suprimento de terras raras no mundo, tem mostrado nos últimos anos

sinais de desaceleração na sua produção mineira, por razões estratégicas de gerenciamento de reservas e de preços, mas também para incentivar a instalação no país de indústrias de alta tecnologia (*offshoring*).

Limitou, por lei governamental, a sua produção anual e colocou em prática cotas de exportação que vêm sendo reduzidas anualmente, podendo chegar, num futuro próximo, até a uma possível suspensão total de exportação de alguns elementos de terras raras, a partir de 2014-2015, como citou Christian Hocquard, economista do BRGM.

De acordo com o novo planejamento estabelecido pelo governo da China, suas cotas de exportação serão controladas para um valor inferior a 35.000 toneladas anuais nos próximos 6 anos. Ainda, foi divulgado que será proibida a exportação de alguns dos elementos como o disprósio, térbio, túlio, lutécio, ítrio, incluindo o neodímio entre outros (CHINA RARE EARTH INDUSTRY REPORT, 2009).

A decisão antecipada tomada pela General Motors em deslocar a diretoria das operações internacionais de Detroit para Shanghai sinalizou que a empresa aderiu à política chinesa, que busca a aproximação com empresas que possam agregar valor a produtos da cadeia produtiva das terras raras naquele país. Dessa forma a empresa se resguardaria das restrições impostas pelo estabelecimento de cotas para exportação de terras raras. Segundo Samprun, “fabricando os seus Chevrolet elétricos e suas baterias na China, o construtor americano escapa, com efeito, à nova regulamentação chinesa” (SAMPRUN, 2010).

À mesma época, buscando encontrar alternativas para os riscos decorrentes do desabastecimento, a empresa alemã *TANTALUS Rare Earths AG*, de Düsseldorf, intensificou seus esforços para identificar e desenvolver trabalhos de exploração e projetos mineiros fora da China, principalmente na África. Atualmente, 100% dos seus investimentos estão localizados em Madagascar, no projeto *Tantalus Rare Earths Project* (TRE-AG, 2010).

Já em 2010 se previa que a demanda mundial por terras raras iria ultrapassar a oferta em cerca de 40.000 a 50.000 toneladas, mesmo

que entrasse em produção, nesse mesmo ano, a mina de Mount Weld na Austrália.

Da mesma forma algumas das maiores consumidoras mundiais de terras raras como, por exemplo, a *Rhodia Eletronics & Catalysis* assinaram contratos futuros com empresas de mineração, nesse caso específico com a *Lynas Corp. – Austrália*, buscando se resguardar das restrições de fornecimento que foram impostas pela China, de modo a tentar garantir fornecimento alternativo futuro. Outras empresas, como a *Toyota Tsusho Corp.*, se associaram, financiando e participando diretamente de projetos mineiros, no caso com a empresa de mineração canadense, *Great Western Minerals Group Ltd.*

No 2º semestre de 2010 a China reduziu em 72% as cotas de exportação dos produtos necessários para as indústrias dos carros híbridos, ímãs permanentes e televisões. Esse fato originou uma disputa comercial com os EUA, como foi divulgado pela *Bloomberg News – Jul 9, 2010*. Segundo essa mesma fonte, *shipments will be capped at 7,976 metric tons, down from 28,417 tons for the same period a year ago, according to data from the Ministry of Commerce [da China] yesterday.*

Ainda segundo a *Bloomberg News*:

The rare earths industry officials have realized that, after many years of continued growth in exports, the industry didn't receive due profit returns," Liu Aisheng, director of the Chinese Society of Rare Earth, said in an interview by phone from Beijing. "They adjusted the policy to ensure that the resources are optimally utilized."

Nessa mesma época ocorriam especulações financeiras com relação a empresas de exploração de terras raras por todos os mercados. Para exemplificar o mesmo site da *Bloomberg News – Jul 9, 2010* indicava: *Shares of Lynas Corp., building a rare earth mine in Australia, rose 8.8 percent to close at 59.5 Australian cents in Sydney. Inner Mongolia Baotou Steel Rare-Earth Hi-Tech Co., the biggest Chinese producer, rose 1.4 percent to close at 36.69 yuan on the Shanghai stock exchange.*

Baotou Steel, Baotou Huamei RE Products Co. Ltd. And Sinosteel Corp. are among the 32 local and foreign companies that are permitted by

the government to export in the second half, according to the Ministry of Commerce statement”.

Essa situação restritiva atingiu fortemente países industrializados como EUA, Japão e os da União Europeia (Apêndices F a I). A mídia mundial dela se ocupou e ainda o faz até os dias atuais, dando-lhe grande destaque.

Cite-se, por exemplo, à época de 2010, o que publicou o *New York Times* a partir de artigo do *Journal of Energy Security*:

By way of example, according to a December New York Times article, two elements “dysprosium and terbium, are in especially short supply, mainly because they have emerged as the miracle ingredients of green energy products. Tiny quantities of dysprosium can make magnets in electric motors lighter by 90 percent, while terbium can help cut the electricity usage of lights by 80 percent. Dysprosium prices have climbed nearly sevenfold since 2003, to \$53 a pound. Terbium prices quadrupled from 2003 to 2008, peaking at \$407 a pound, before slumping in the global economic crisis to \$205 a pound” (Journal of Energy Security, Jan. 2010).

Lindsey Hilsum abordou o mesmo assunto na *Independent Television News*, dos EUA, também na mesma época, 2010, sob o título “*Are Rare Earth Minerals Too Costly for Environment ?*, afirmando:

It doesn’t look very Green. Rare Earth processing in China is a messy, dangerous, polluting business. /.../ But without rare earth, Copenhagen means nothing. /.../ Each motor [Prius] contains a kilo of neodymium and each battery more than 10 kilos of lanthanum, rare earth from China.

Green campaigners love wind turbines, but the permanent magnets use to manufacture a 3-megawatt turbine contain some two tons of rare earth.

2.7. A Demanda por Terras raras

A demanda por terras raras tem-se acentuado nos últimos anos, tanto em relação a compostos, como a metais, individualmente, e às suas ligas.

Por ocasião da conferência *Roskill HK Rare Earth Conference, November 2007* foi repetido, mais uma vez, haver uma forte tendência

da sua utilização em várias aplicações modernas, tendo sido destacadas as automotivas, as de conversores catalíticos, bem como em ímãs permanentes e em baterias recarregáveis (Tabela 9).

Tabela 9 - Projeção do uso crescente de terras raras: consumo (t/ano de terras raras) e taxa de crescimento percentual ao ano (TC/%)

Elementos	Aplicação	Consumo (t/a OTR)		T. C.
		2006	2012	
La, Nd, Pr	Baterias / Ligas	17,000	43,000	17
Dy, Nd, Pr, Sm, Tb	Ímãs	20,500	42,000	13
Eu, Tb, Y	Fósforos	8,500	14,000	9
Nd, La	Catálise	21,500	32,000	7
La, Pr	Pós de polimento	14,000	21,000	7
Ce, Er, Gd, La, Nd, Yb	Aditivos em vidros	13,000	14,000	1
Vários	Cerâmicas	5,500	9,000	9
Vários	Outras	8,000	13,000	8
Total		108,000	188,000	10

Fonte: Roskill HK Rare Earth Conference, November 2007

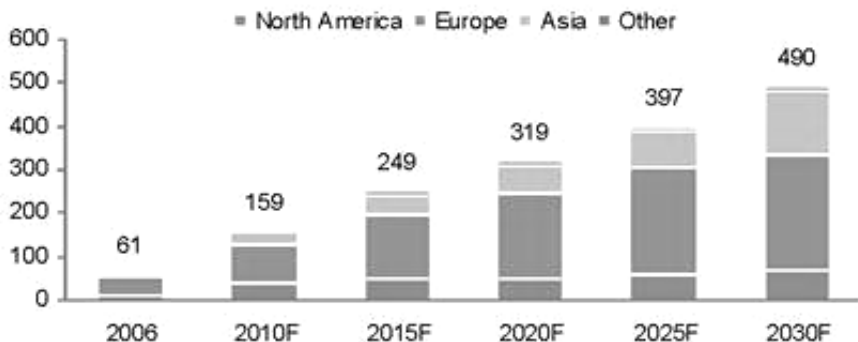
A indústria das turbinas eólicas é considerada como um símbolo da “indústria verde” (Figura 4).



Fonte: apresentação feita pela empresa Molycorp para a Câmara de Comércio Americana em abril de 2011.

Figura 4 – Turbinas eólicas, um dos símbolos de Energia Limpa (“Energia Verde”).

Essa indústria que experimenta um grande desenvolvimento (Figura 5) é alta consumidora de terras raras. Os ímãs permanentes de seus motores utilizam mais de uma centena de quilos de terras raras por cada megawatt de capacidade geradora.

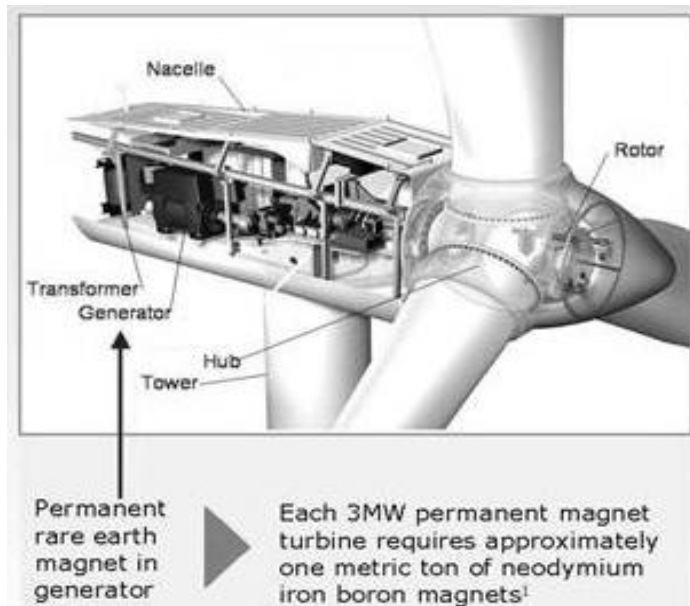


(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Commerce).

Figura 5 - Produção de turbinas eólicas em GW

De início, cada turbina eólica gerava, em média 50 kW e o rotor tinha 15,2m de diâmetro. Hoje, chegam a gerar 5 MW (5.000 kW), por unidade, sendo que o diâmetro dos rotores é superior a 126m (413 pés), quase o dobro do comprimento das asas de um Boeing 747. (COMMITTEE OF OFFSHORE WIND TURBINES, 2011).

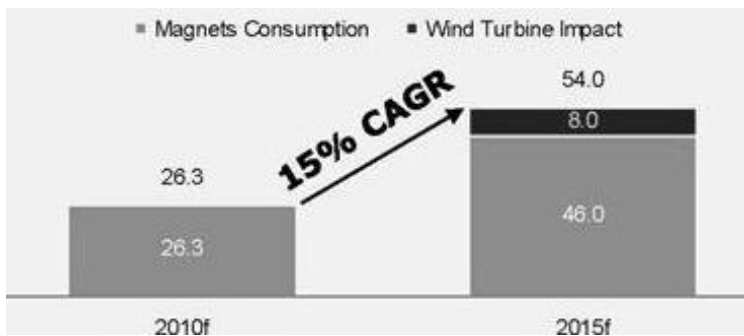
Os motores elétricos das turbinas eólicas, quando de alto rendimento, são consumidores vorazes de terras raras, principalmente Nd (Figuras 6 e 7).



(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Commerce).

Figura 6 – Vista esquemática de uma turbina de gerador eólico

A Figura 7 mostra a previsão do aumento do consumo de neodímio, relacionado diretamente a sua aplicação na fabricação de turbinas eólicas.



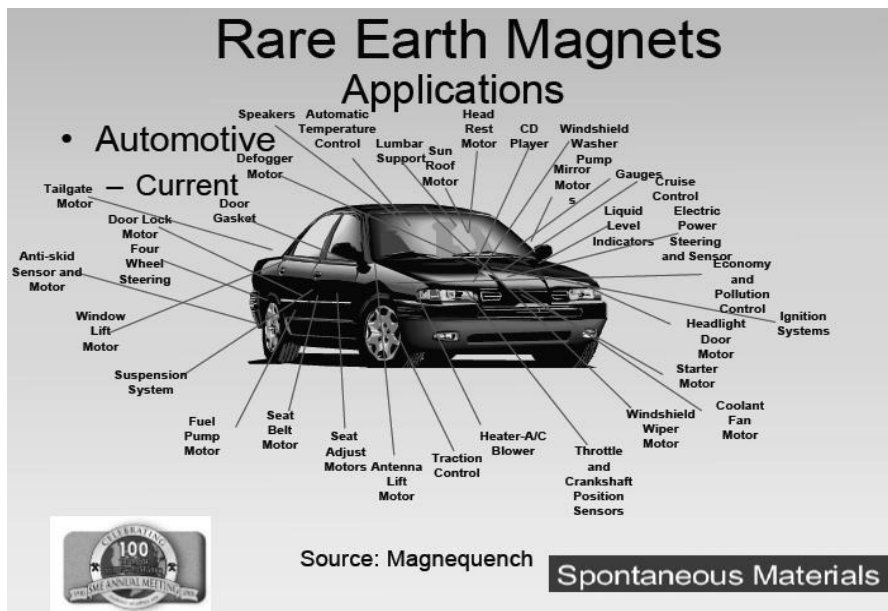
CAGR – ‘Compound Annual Growth Rate’ = $(V_f / V_i)^{1/N} - 1$

(V_f – Valor final; V_i – Valor inicial; N – nº de anos do período considerado).

(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Commerce).

Figura 7 – Impacto do consumo de ímãs na produção de turbinas eólicas.

A indústria automobilística é também intensiva consumidora de terras raras (Figura 8), principalmente a dos carros híbridos.



Fonte: Roskill/Spontaneous Materials

Figura 8 – As terras raras na indústria automobilística

Entretanto, devido à atual crise de oferta, o preço da maioria dos elementos das terras raras tem vindo a subir continuamente, o que pode ser constatado na Tabela 10, em relação a 2007-2008, e na Figura 9.

Tabela 10 – Preço das terras raras (US\$/kg)

Elemento	Óxido		Metal	
	Fim - 2007	Fim Out - 2008	Fim - 2007	Fim Out - 2008
Ce	3.60	3.80	7.10	10.50
Dy	94.00	118.00	125.00	153.00
Er	35.00	35.00	N/A	N/A
Eu	368.00	525.00	560.00	700.00
Gd	N/A	N/A	25.00	28.00
La	4.60	8.00	6.00	13.00
Lu	550.00	550.00	N/A	N/A
Nd	30.00	20.00	40.00	29.00
Pr	28.00	20.00	37.00	29.00
Sm	4.40	4.40	14.00	26.00
Tb	633.00	621.00	750.00	793.00
Yb	55.00	55.00	N/A	N/A
Y	12.00	12.00	29.00	42.00
Mischmetal (48% Ce)			6.00	8.00
Mischmetal (25% La)			12.00	14.00

Fonte: Tianjiao International

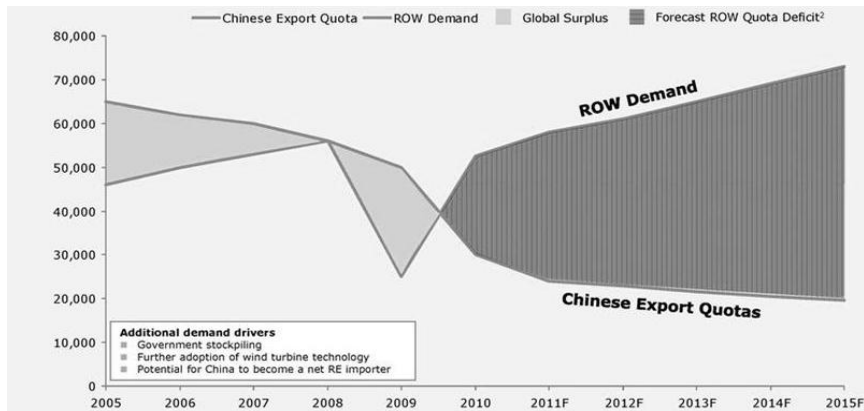
A Figura 9 mostra a posição do aumento da produção e das demandas a nível chinês e ao nível mundial, abrangendo o período 2005-2015.



(In: Palestra da Molycorp/US Chamber of Commerce)

Figura 9 – Produção da China, da Molycorp, demanda chinesa e previsão da demanda global

Com a forte demanda interna de terras raras, o governo da China estabeleceu controles na produção e exportação (tarifas e cotas) e, em algumas regiões, por condicionantes ambientais, entre outras, também está a impor restrições e cotas na atividade mineira, causando forte incidência no comércio mundial das terras-raras (Figura 10).



ROW: rest of world

(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Commerce).

Figura 10 – Cotat de exportação, demanda por matéria-prima e déficits futuros

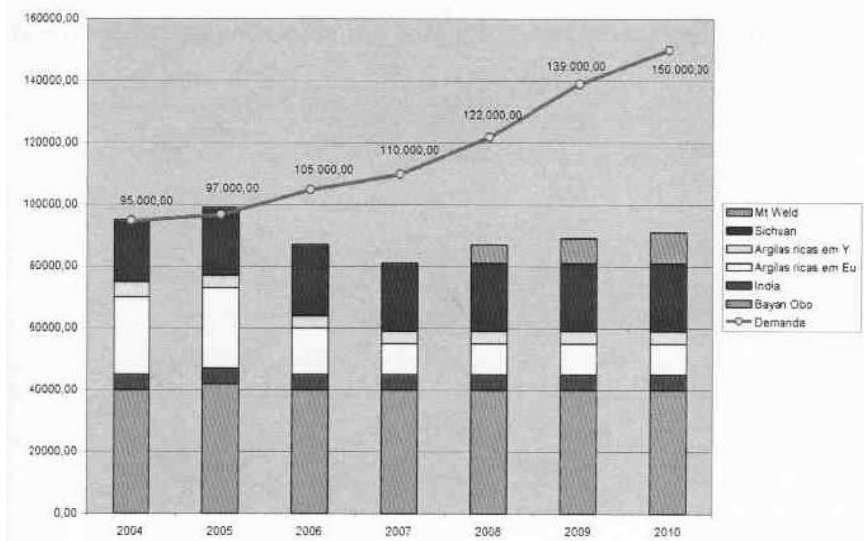
Os gráficos explicam e justificam a corrida na busca de novos depósitos e na reativação de outros que até recentemente não eram considerados econômicos.

Os metais raros são fundamentais para as indústrias de ponta. O crescimento ‘verde’ implica no recurso ao uso de materiais inovadores que necessitam de metais raros.

Na década de 80 os metalurgistas recorriam a 10 ‘metais raros’, nos anos 90 eram 15, e na primeira década do século XXI, são 50, entre os quais, as 17 terras raras.

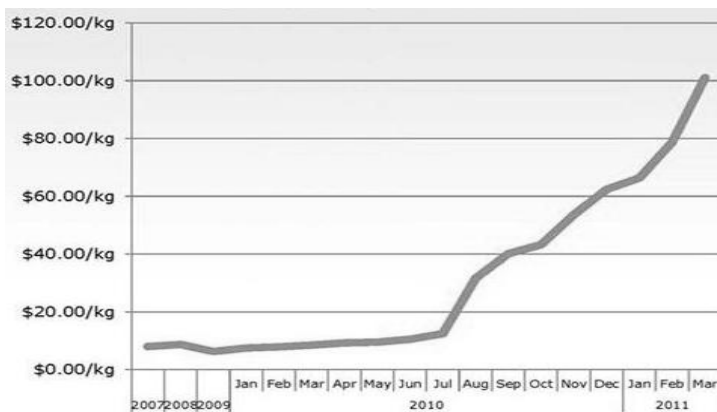
A produção de metais raros mostra ser monopólio de alguns países e, em outros, forte dependência de importações. Daí a importância do conceito de risco de suprimento (*supply risk*). É o caso das terras raras com grandes limitações na oferta de certos elementos quando a demanda está em forte alta. Hoje é um dos bens minerais que apresenta maior risco de suprimento.

Atualmente, praticamente, não há produção de compostos de terras raras no país embora a demanda mundial por terras raras seja crescente. Já ultrapassa a oferta (Figura 11) e, em consequência, os preços estão a aumentar (Figura 12).



Fonte: China Rare Earth Information Center

Figura 11- Produção e demanda de terras raras



(In: Palestra da Molycorp para a US Chamber of Commerce).

Figura 12 - Média ponderada da variação do preço médio dos óxidos de TR, de 2007 a março de 2011

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS RESERVAS E AS DEMANDAS DE TERRAS RARAS NO BRASIL E NO MUNDO

Como foi referido, há uma forte corrida na busca de novos depósitos de metais raros, em especial os de terras raras, dando-se particular atenção à prospecção de minérios poliminerálicos.

Não se pode generalizar a afirmação de que há falta de terras raras no mundo, mas sim que faltam certos elementos terras raras (ETR) como, por exemplo, Eu, Y, Nd, Lu, Dy. Há que se considerar, ainda, que os elementos terras raras pesadas (ETRP) são mais raros na natureza do que os elementos terras raras leves (ETRL).

Cada depósito tem o seu perfil de terras raras. Daí a importância de se fazer a caracterização químico-mineralógica, específica e detalhada para cada ocorrência, juntamente com a definição de teores e reservas.

A China é responsável por 97% das 125.000 toneladas de terras raras produzidas no mundo. Quase um monopólio total e a demanda mundial vem crescendo em mais de 10% ao ano. Em uma década passou de 40 mil para 120 mil toneladas.

Embora as imensas jazidas de Bayan Obo na China sejam conhecidas desde 1927, só em 1986, Pequim optou, com o “Programa 863”, do governo Deng Xiaoping, por uma estratégia de longo prazo, “que visava desenvolver o domínio da exploração das terras raras, da extração à fabricação de produtos semiacabados, passando pela separação e transformação” (ZAJEC, 2010).

O especialista Olivier Zajec, que é da CEIS cuja a sigla, em francês, significa Companhia Europeia de Inteligência Estratégica, apresenta algumas considerações que são transcritas a seguir.

As indústrias estadunidenses, japonesas e europeias já não podem mais prescindir deles [dos elementos das terras raras]. Em geral quanto mais inovador (resistente, leve, de tamanho reduzido, “ecologicamente compatível”) é um modelo industrial, maior sua dependência das terras raras. O Japão é um caso emblemático dessa tendência: sozinhas, as baterias dos carros híbridos Prius da Toyota

necessitam 10 mil toneladas de terras raras por ano para serem montadas. De modo geral, o desenvolvimento da indústria “verde” poderá causar um aumento da demanda mundial da ordem de 200 mil toneladas/ano: centenas de quilos de terras raras entram na composição de uma só turbina eólica de grande dimensão. /.../

Alguns observadores avaliam que a China poderá reorientar progressivamente sua política das terras raras, de uma estratégia da dependência para a estratégia do estrangulamento. Dentro dessa hipótese, Pequim reduzirá progressivamente o volume das suas exportações. E isso com dois objetivos. De um lado forçar uma subida dos preços e, com isso, rentabilizar seu monopólio de fato (o neodímio foi cotado em US\$ 32 mil a tonelada em agosto de 2010, o que representou um aumento de 60% em um ano). De outro para reservar suas terras raras para a incrementação tecnológica e a produção industrial autóctone. Isso porque, após produzir terras raras “brutas” ou produtos semiacabados, e delas assegurar-se do monopólio, a China ambiciona fabricar, daqui para frente, produtos acabados de maior valor agregado, tendo como meta uma atividade totalmente integrada. Escorada numa quase interrupção das exportações de minérios, e no domínio da alta tecnologia, essa combinação dar-lhe-á um trunfo estratégico considerável.

/.../ a estratégia de “incrementação tecnológica” vai ao encontro de uma explosão do crescimento e do consumo chineses, que vai acelerando o processo e obriga a China a abastecer prioritariamente seus próprios industriais. /.../ a China reduziu efetivamente suas exportações de terras raras nos últimos sete anos e anunciou em julho de 2010 que essas últimas voltariam a retroceder em mais de 70% no segundo semestre de 2010, para 8 mil toneladas contra cerca de 28 mil toneladas no mesmo período do ano passado (ZAJEC, 2010).

Segundo ZAJEC (2010), as reservas mundiais confirmadas, em milhões de toneladas (setembro de 2010), eram as seguintes:

China: 36 milhões de toneladas

E.U.A.: 13 milhões de toneladas

Rússia + Cazaquistão: 11 milhões de toneladas

Austrália: 5 milhões de toneladas

Índia: 3 milhões de toneladas

Canadá: 1 milhão de toneladas

Groenlândia: 1 milhão de toneladas

África do Sul: 0,4 Milhões de toneladas

Brasil: 0,05 milhão de toneladas

Outros: 38,55 milhões de toneladas

Em 2009, a produção mundial foi de 124.000 toneladas; o consumo, excluindo a China, atingiu 61.000 toneladas (o consumo da China correspondeu a 63.000 toneladas); reservas mundiais somaram 99.000.000 toneladas.

O mesmo autor (ZAJEC, 2010) prevê para 2014 que a demanda mundial será de 180.000t, destinada às seguintes produções: ímãs (28%), componentes de baterias (16%), pó para polimento (15%), craqueamento de petróleo (14%), metais especiais (7%), catalisadores (7%), fósforos (6%), aditivos para vidros cerâmicas e outros (7%).

O especialista J. LIFTON, profundo conhecedor da problemática das terras raras, apresenta os seguintes comentários sobre o redobrado interesse na definição e exploração de novos depósitos, conforme a seguir.

Nd is typically around 20% of the total REEs produced by the Chinese light-rare-earth industry. That total last year, 2010, has been said by Dr Chen of the China Society for Rare Earths to have been just 89,000 tonnes of which 77,000 tonnes, or 86%, were light rare earths. This means that the Chinese production of Nd for 2010 was about 15,000 tonnes.

Of the 12,000 tonnes of heavy rare earths produced in China in 2010, just 7% was reported to be the heavy rare earth Dy, which would mean that 840 tonnes of Dy were produced from the so-called ionic absorption clays in southern China.

A typical Nd-Fe-B-based REPM contains 3-12% of Dy overall – this means that 100 kg of such magnet alloy contains from 3 to 12 kg of Dy as well as around 28 kg of Nd. The OEM automotive industry uses the most Dy loading, as high as 12%, to give their REPM-based motors, sensors, generators and the like, the maximum service life at constant high-temperature use.

These demand-growth figures, assuming that the need is 59,000 tonnes of Nd, would require at least a doubling of current Chinese light-rare-earth-metal production and the total dedication of Dy production to this clean-tech goal for most of the next decade. If there is a further demand growth from the automobile industry, the current largest user of Dy-enhanced Nd-Fe-B-type REPMs, and that growth parallels the increase in motor-vehicle production expected in the next decade then this use alone will add the need for an additional production equal to the entire 2010 production of Nd and Dy.

We would then be looking at a minimum at a torrid 15% a year growth in the demand for Nd and Dy between 2011 and 2020, just from the Chinese domestic-wind-turbine industry, and the global OEM automotive industry.

Such growth may be possible for Nd production; it is unlikely to be achieved for Dy unless there is for the first time development of Dy resources outside of China.

The Chinese have emphasized over the last year that they believe their Dy resources are being exhausted, and that at current rates of production they have only 5-25 years of production remaining.

If the growth of demand for Nd and Dy above are correct, then it is most likely that Dy will be OR IS ALREADY in short supply.

Therefore unless rare-earth mining ventures with commercially significant Dy are now brought into production as soon as possible, then clean-tech growth outside of China will slow down or stop, depending on whether or not the clean-tech manufacturer has a Chinese source for Nd-Fe-B-based-magnet-containing components, and that Chinese source has an export license for rare-earth-containing components (LIFTON, 2010)

3.1. Breve Relato sobre a Atividade Extrativa de Terras raras no Brasil

O Brasil tem uma tradição histórica no estudo e aproveitamento das monazitas das areias de praia do país.

A exploração das suas areias monazíticas começou em 1886 para satisfazer a demanda de terras raras necessárias à produção de mantas incandescentes de lampiões a gás e, posteriormente (1903), para o fabrico de pedras de isqueiro, uma liga pirofórica, contendo 75% de metais de terras raras (*mischmetal*) e 25% de ferro. A produção acumulada entre 1887 e 1960 representou cerca de metade do consumo mundial (BARBOSA, 2001).

As atividades extrativas industriais de terras raras no Brasil tiveram início com o trabalho pioneiro de P. Krumholtz, Brill e colaboradores na década de 40.

O processo alcalino para abertura da monazita entrou em prática industrial em 1948.

Entretanto, uma outra empresa, a Orquima, que tinha a sua linha de atuação em produtos orgânicos, com o final da guerra (1939-1945) mudou-a para a de minérios, muito especialmente os de monazita.

Uma das primeiras aplicações das terras raras no Brasil foi a produção de *mischmetal*, mas os pesquisadores brasileiros ultrapassaram esse estágio.

Outra empresa, a Orquima, que tinha a sua linha de atuação em produtos orgânicos, com o final da guerra (1939-1945) mudou-a para a de minérios, muito especialmente os de monazita.

No processo estabelecido pela Orquima, obtinha-se fosfato de sódio que era cristalizado e utilizado como adubo, detergente e no processo de purificação do açúcar. O mercado era amplo. Havia um setor direcionado à produção de tório e à extração de terras raras. O urânio era descartado no processo. Naquela época não havia tecnologia para sua recuperação. As terras raras eram fracionadas.

Em 1948, a capacidade instalada da Orquima era de 300 t/ano de monazita, para produção de cloreto de terras raras. Na época, dado

que os cloretos de terras raras não tinham, praticamente, comercialização no Brasil, eram exportados sob essa forma, e continuaram a sê-lo durante muito tempo. Os coprodutos principais eram o tório e o fosfato trissódico, sendo o urânio de interesse específico nuclear (*op. cit.*).

Em 1954 a Orquima implantou uma instalação para produção do yellow-cake, inaugurada pelo presidente Getúlio Vargas. Em 1960 a CNEN assume a Orquima. A partir de 1962, a produção de compostos de Th e U foi suspensa, tem sido estocado na forma daquilo que se designou por “Torta II”.

Foram produzidos, pela primeira vez no país e em simultaneidade com os mais avançados centros de pesquisa, óxidos de terras raras, através da técnica de troca iônica.

Em 1956, o decreto nº 40006, de 20 de setembro de 1956, autorizava a empresa SULBA – Sociedade Comercial de Minérios Ltda., a pesquisar monazita e associados, no município de Vitória, Estado do Espírito Santo.

No Jornal do Brasil de 30/09/1990 podia ler-se sob o título “Tecnologia sumiu no tempo”:

Na década de 50, o Brasil produziu pela primeira vez no mundo o óxido de európio, a pedido dos Estados Unidos que comprou 200 quilos desse material para aplicações militares e fabricação de tubos de imagens coloridas, depois importados por indústrias instaladas aqui. O európio, separado da mistura, tem valor 800 vezes maior.

Paulo Sérgio Moreira Soares (SOARES, 1994), apresentou uma síntese do histórico da produção de terras raras no Brasil, a partir de 1960, que passamos a reproduzir.

Em abril de 1960 as ações da ORQUIMA foram compradas pela união através da CNEN, que também passou a controlar as duas instalações de beneficiamento da companhia localizadas em Cumuruxatiba BA e Buena RJ. Estabeleceu-se, assim, a Administração da Produção da Monazita.

Dois anos após, por efeito da lei 4118 e sua regulamentação, tornou-se monopólio do Estado a pesquisa e lavra de minerais radioativos. Este monopólio converteu-se posteriormente na liberação de lavra e beneficiamento às companhias privadas, desde que os teores lavrados de urânio e tório não fossem superiores a 0,02% e 0,5% respectivamente e os rejeitos radioativos gerados no processamento fossem entregues sem ônus à CNEN. A Nuclemon (Nuclebrás de Monazita e Associados) passaria a ser a detentora do monopólio de fato da lavra beneficiamento mineral e processamento químico da monazita no país.

/.../ observa-se um aparente retrocesso no que diz respeito à tecnologia de processamento químico. A NUCLEMON não prossegue nos anos que se seguem à sua criação, o que parecia ser a tendência natural dos trabalhos iniciados pela ORQUIMA. Os estudos para desenvolvimento de uma tecnologia objetivando alcançar os óxidos dos elementos de terras raras parecem não avançar de forma sistemática.

Os esforços de desenvolvimento tecnológico para fracionamento de terras raras ocorrem de forma dispersa no país, representados pelas iniciativas isoladas de alguns centros de pesquisas, principalmente os dedicados à área nuclear e algumas universidades.

A Nuclemon opera durante as décadas de 60, 70 e até o final da década de 80 sem implantar qualquer unidade de fracionamento. Os produtos nacionais disponíveis no mercado interno durante este período são uma mistura de cloretos de terras raras ou compostos de cério e lantânio (individualizados ou não).

Em 1989, recorrendo à compra de tecnologia importada do Japão (Santoku), a Nuclemon, agora denominada Nuclemon Minerquímica, instala em São Paulo sua primeira unidade de fracionamento para separação da mistura de cloretos de terras raras de sua produção nas frações leve e pesada.

Estabelece-se em 1987 um novo núcleo de pesquisas em terras raras em São Paulo, na Eletrocloro (Grupo Solvay), apoiando atividades de produção da empresa (óxidos de terras raras leves individualizados por troca iônica com resinas).

Através de seu Centro de Pesquisas e Desenvolvimento a Petrobras desenvolve em conjunto com a Akzo (Holanda) tecnologia para produção de catalisadores para craqueamento de petróleo empregando terras raras, supridas parcialmente pela Nuclemon, a partir de 1988. Esta tecnologia é implantada na FCC – Fábrica Carioca de Catalisadores.

Foi criada pelo CETEM/CNPq, em 1989, a Câmara Setorial das Terras raras, entidade que reúne empresas institutos e centros de pesquisas para discussão de aspectos técnicos e econômicos da produção de terras raras.

Em 1991, a Nuclemon Mineroquímica, única processadora de minérios terras raras no Brasil, desde a mina até os produtos fracionados, interrompe suas atividades.

Como já se delineava ao final da década de 80, os anos 90 deverão caracterizar-se principalmente pelo desenvolvimento das tecnologias de aplicação de terras raras nos EUA, Europa, Japão e China. Para o Brasil, definem-se perspectivas da conquista da tecnologia e implantação de unidades de fracionamento de terras raras por extração por solventes e troca iônica, com ampliação das ainda limitadas pesquisas em aplicações.

Completando as informações anteriores, relatamos a seguir algumas das ações específicas do CETEM, no tocante à pesquisa e desenvolvimento em terras raras.

A partir de 1989 o CETEM procura dinamizar a indústria das terras raras no Brasil, mediante de algumas ações de aglutinação de competências, conforme a seguir:

- Estabelece um acordo de cooperação técnica com o GRINM (General Research Institute for Non Ferrous Metals – Beijing – China), por meio do qual viabilizou o intercâmbio de conhecimento e no treinamento de pesquisadores brasileiros, no tocante à separação de terras raras, entre pesquisadores de ambas as instituições;
- Cria a Câmara Setorial de Terras raras com a finalidade de congregiar ideias e interesses, buscando caracterizá-los, com o objetivo de se

delinearem caminhos que levassem à capacitação numa área em que o Brasil já tivera posição marcante;

- Organiza reuniões da Câmara Setorial de Terras raras, para se estabelecer um plano de ação com a participação de centros de pesquisa, universidade e empresas;
- Cria um núcleo laboratorial para separação dos elementos de terras raras que se juntaria aos do IEN e IPEN em trabalhos de P&D na separação dos elementos de terras raras;
- Participa de um projeto da U.E. (Universidades de Munique – Alemanha e de Trento – Itália) para desenvolver tecnologia de extração e separação de elementos de terras raras pesadas de um concentrado de xenotímio de Pitinga (AM);
- Edita dois livros, um sobre a química das terras raras (ABRÃO, 1994) e outro sobre os recursos de terras raras no Brasil (LAPIDO-LOUREIRO, 1994). No primeiro, *“Química e Tecnologia das Terras raras”*, Alcídio Abrão apresenta o estudo minucioso sobre a química, identificação, extração e separação de elementos de terras raras, no Brasil (ABRÃO, 1994). No segundo, com o título *“Terras raras no Brasil. Depósitos, Recursos Identificados, Reservas”*, o autor (LAPIDO-LOUREIRO, 1994) mostra, através da caracterização dos seus minérios e reservas, o grande potencial do Brasil para explorar terras raras.

Especial destaque merecem as ações de pesquisa e desenvolvimento executadas pelos institutos da área nuclear, mas também pelos cientistas da área acadêmica que obtiveram resultados significativos nos campos de separação e purificação das terras raras, luminescência, eletroeletrônica e na produção de magnetos entre outros, embora trabalhando em número reduzido, se comparado com o esforço de outros países.

3.2. Recursos Identificados e Medidos de Terras raras no Brasil

No Brasil, no final do século passado e início do atual, foram desenvolvidos estudos para avaliação de reservas, concentração,

extração e separação de elementos de terras raras em cinco depósitos que passamos a sintetizar.

A caracterização dessas fontes de terras raras, já avaliadas, será apresentada adiante.

3.2.1. Minérios de terras raras de Catalão I (GO)

Nos anos 90 do século passado, o CETEM desenvolveu estudo detalhado para caracterização tecnológica (NEUMANN, ALMEIDA & DASSIÉ, 1994; NEUMANN, 1999) e de beneficiamento (BORGES, ALMEIDA & COSTA, 1994; VIERA & LINS, 1997) do minério silicítico do Córrego do Garimpo, no complexo carbonatítico de Catalão I.

CETEM e CDTN também desenvolveram estudos de hidrometalurgia para a ULTRAFÉRTIL. Estes resultados, porém, não foram divulgados, até onde se sabe.

Os estudos de caracterização realizados por REINER NEUMANN (1999) e por NEUMANN *et al.* (1994) no depósito do Córrego do Garimpo, mostraram que o silicito é constituído por quartzo (70%), monazita (18%), goethita + magnetita + hematita (11%), pirrotita e outros (1%).

Suas características marcantes são: o tamanho sempre reduzido da monazita, usualmente da ordem de poucos micrômetros, a sua dispersão na matriz de quartzo, o alto teor de Sr, da ordem de 3,3% e a ausência de Th (NEUMANN, 1999).

Pelas suas características mineralógicas e granulométricas o beneficiamento através de métodos gravíticos e (ou) magnéticos revelou-se difícil. Por outro lado, o consumo de energia na moagem, para liberação da monazita, foi considerado elevado (BORGES, ALMEIDA & COSTA, 1994). A conjunção destes fatores aponta a via hidrometalúrgica como uma possibilidade a ser utilizada para o seu melhor aproveitamento.

Carlos Cordeiro Ribeiro, na sua tese de doutoramento, defendida em Brasília na UnB-I.G. (RIBEIRO, 2008), apresenta os

recursos identificados de terras raras nos depósitos do Córrego do Garimpo e Lagoa Seca Norte (Tabela 11).

Tabela 11 - Recursos de terras raras, por tipo de minério, para um teor de corte de 2% de terras raras

Depósito do Córrego do Garimpo	
Minério Silicoso	8.254.383
Minério Saprolítico	54.506.757
Minério Carbonatítico	15.903.072
Depósito da Lagoa Seca Norte	
Minério Nelsonítico	41.058.784
TOTAL	119.722.996

Fonte: RIBEIRO (2008)

3.2.2. Minério da “Área Zero”, Araxá (MG)

O complexo carbonatítico de Araxá situa-se a 6 km a sul da cidade de Araxá, município do mesmo nome, estado de Minas Gerais.

As terras raras em Araxá ocorrem de três maneiras distintas:

- constituindo um depósito de enriquecimento residual formado por material terroso – “Área Zero”;
- ligadas ao minério de nióbio;
- associadas ao minério fosfático

No primeiro caso concentram-se principalmente numa camada de material ferruginoso, que muitas vezes aparece logo abaixo do solo superficial.

O depósito de terras raras designado por “Área Zero” situa-se na parte norte do complexo. Tem forma elipsoidal, com o seu eixo maior orientado E-W e ocupa uma área de 900 x 300m. O estudo da geologia e do potencial mineiro desta área apoiaram-se em mapeamento geológico, levantamento radiométrico, abertura de uma centena de poços de até 27m de profundidade, três furos de sonda e quatro galerias de flanco de encosta, o que permitiu delimitar o depósito e cubar uma reserva superior a 700.000 toneladas de minério

com um teor de 13,5% de óxidos totais de terras raras (CASTRO & SOUZA, 1970).

GROSSI SAD & TORRES (1976) apresentaram os seguintes valores para as reservas acumuladas da ‘Área Zero’ no complexo alcalino-carbonatítico de Araxá (Tabela 12).

Tabela 12 – Reservas acumuladas de óxidos totais de terras raras, ‘Área Zero’, Araxá (MG)

Intervalo (%)	% Mínima Ponderada	Reservas OTR (t)
14-15	14,17	102.000
13-15	13,54	222.000
12-15	12,75	456.000
11-15	12,06	750.000
10-15	11,19	1.296.000

Fonte: GROSSI SAD & TORRES (1976)

3.2.3. Minério de São Gonçalo do Sapucaí (MG)

No final dos anos 80 (século XX) foi desenvolvido um estudo de avaliação dos *placers* do rio Sapucaí, em Gonçalo de Sapucaí. Os aluviões ao longo do rio Sapucaí, no sul do estado de Minas Gerais, nos municípios de Turvolândia, Cordislândia, São Gonçalo de Sapucaí, Careagu, Silvianópolis, São Sebastião da Bela Vista e Pouso Alegre constituem depósitos de ouro, zircão, monazita e ilmenita com um volume de 27,6 milhões de m³ de minério.

A região situa-se no interior de um triângulo cujos vértices são Belo Horizonte (330 km), Rio de Janeiro (470 km) e São Paulo (270 km). O volume das reservas de minério (medidas + indicadas), no aluvião pesquisado em São Gonçalo de Sapucaí, são de 34,7 milhões de m³, sendo 27,6 de cascalho e 7,1 de estéril (SOUZA & PAIXÃO, 1989). A composição de minerais pesados no minério do rio Sapucaí é de 1,42%, com a seguinte distribuição no concentrado: ilmenita 85,3%, zircão 10,75%, monazita 3,95%. As reservas de monazita são de 29.000 t com uma percentagem no ROM (*Run-of-Mine*) de 0,5% para a monazita, 1,2% para a ilmenita e 0,1% para o zircão.

3.2.4. Concentrado de Xenotímio de Pitinga (AM)

Pitinga é um depósito poiliminerálico de Sn, elementos de terras raras pesadas, Nb-Ta, Zr e U situada na porção norte do Cráton Amazônico. É uma jazida de Sn de classe mundial.

As reservas estimadas de terras raras, contidas em xenotímio, nos aluviões são de 20.000t de óxidos de terras raras. O concentrado de xenotímio é empilhado como subproduto da produção de cassiterita. O xenotímio de Pitinga tem a particularidade de apresentar teores elevados da fração pesada (98,4%) e relativamente baixos de Y (42%), comparados com outros xenotímios (90% e 60%, respectivamente) (BARBOSA, 2001).

O CETEM, em colaboração com a Universidade de Trento (Itália), desenvolveu estudos numa amostra de 500 kg de concentrado de xenotímio, cedida pela Mineração Taboca.

Juliano P. Barbosa, pesquisador titular do CETEM, na sua tese de doutoramento, “Lixiviação de um Concentrado de Xenotima” apresentada na Escola de Química da UFRJ, reuniu “subsídios para um melhor entendimento dos efeitos dos diversos parâmetros no processo de lixiviação” (BARBOSA, 2001).

Os experimentos, realizados em escala de bancada, envolveram os dois caminhos habitualmente utilizados em escala industrial: a rota ácida (ácido sulfúrico) e a rota alcalina (hidróxido de sódio).

O autor concluiu que “os resultados obtidos evidenciaram a viabilidade técnica de aplicação dos métodos de lixiviação estudados no processamento químico da xenotima da mina do Pitinga, obtendo-se valores de extração de terras raras próximos a 100%.

3.2.5. Depósito do Morro do Ferro, Poços de Caldas (MG)

O Morro do Ferro situa-se no complexo alcalino de Poços de Caldas, 15 km ao sul da cidade do mesmo nome, aproximadamente no centro da chaminé alcalina (FRAENKEL *et al.*, 1985; LAPIDO-LOUREIRO & SANTOS, 1988).

O Morro do Ferro é constituído por uma rede (*stockwork*) de magnetita, cortando rochas alcalinas: tinguaitos (predominantes em profundidade), fonólitos e foiaítos.

A rocha hospedeira das terras raras é um solo siltítico-argiloso, por vezes muito ferruginoso, com densa rede de vênulas de magnetita e limonita. Este material terroso só foi ultrapassado em furo profundo (a 425 m), executado pela ex-Nuclebras que encontrou tinguaito muito alterado. A rocha encaixante é a “rocha potássica”, designação local do tinguaito hidrotermalizado (UTSUMI *et al.*, 1971), totalmente sericitizado.

Além de magnetita, pirita, rutilo/anatásio, foram identificados, em amostras de superfície, por microscopia eletrônica de varredura e microsonda, um silicato de terras-raras (“monazita com sílica”), zircão com terras raras, coffinita, chlopinita e pirocloro. O silicato de terras raras é o mineral primário mais abundante, dissimulado uniformemente nas amostras estudadas (FUJIMORI, 1982) sendo o mineral secundário predominante a bastnaesita torífera (FUJIMORI, 1984).

Sintetizando os resultados de trabalhos anteriores, BARRETO & FUJIMORI (1986) citam:

- como mineral primário rico de Th e de elementos de terras raras, um silicato de fórmula $(TR,Th,U,Ca)SiO_4$ que terá dado origem a minerais secundários [cheralita, monazita, microlita (ou pirocloro), zircão e allanita];
- como minerais secundários, referem a thorbastaesita $Th(TR,Ca)(CO_3)_2F_2 \cdot 3H_2O$, provavelmente o mineral secundário mais abundante (BARRETO & FUJIMORI, 1986).

Com as análises de 28 amostras de 5m, correspondentes a 139m de galeria de flanco de encosta (reaberta para essa amostragem), e de 30 amostras de 3 furos de sonda, CBMM/MINEGRAL/PAULO ABIB ENGENHARIA definiram um teor médio de 3,9% de óxidos totais de terras raras.

As reservas indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises, são de 6 milhões de

toneladas de minério, com um teor de 5% de TR_2O_3 , o que corresponderá a 300.000t de TR_2O_3 contidos. (FRAYHA, 1962).

WABER (1992) afirmou que o depósito de terras raras no Morro do Ferro, de origem supergênica, se formou por processos de lateritização a partir de rochas de composição carbonatítica.

As reservas indicadas pelo DNPM, com base num número muito restrito de furos de sonda e análises, são de 6 milhões de toneladas de minério, com um teor de 5% de TR_2O_3 , o que corresponderá a 300.000t de óxidos totais de terras raras contidos (FRAYHA, 1962).

3.3. Reservas e Produção Mundial de Terras raras

As terras raras, ao contrário do que o nome possa sugerir, são relativamente abundantes na crosta terrestre, mas a ocorrência de depósitos com minérios passíveis de exploração econômica são menos comuns do que para a grande maioria dos outros minerais.

As mineralizações de terras raras são habitualmente encontradas em associação com complexos intrusivos alcalinos ou peralcalinos (granitos, sienitos, carbonatitos, pegmatitos), por vezes associadas a óxidos de ferro, em *placers* ou *paleoplacers* de monazita (de praia e fluviais), em mineralizações polimetálicas (U, Th, Nb, Zr, Sn) e em *skarns*.

As reservas mundiais de terras raras estão contidas principalmente nos minerais bastnaesita e monazita. Os depósitos de bastnaesita da China e dos EUA constituem a maior reserva mundial de recursos econômicos de terras raras. A segunda mais importante existe nos depósitos de monazita da Austrália, Brasil, China, Índia, Malásia, África do Sul, Sri Lanka, Tailândia e USA.

Em escala mundial, a China não só detém as maiores reservas econômicas, mas é, também, o maior produtor, consumidor e exportador de terras raras.

Segundo os Serviços Geológicos Americanos (USGS, 2010), as reservas industriais de terras raras (*industrial reserves*) e as reservas básicas (*basic reserves*) da China atingiram, em 2008, 27 milhões de toneladas e

89 milhões de toneladas de óxidos de terras raras (OTR), respectivamente, representando 30,7% e 59,3% das reservas mundiais.

Segundo ZANENG CHENG, do Departamento Acadêmico da Sociedade Chinesa das Terras raras (CHENG, 2011), que se baseou em dados dos USGS, o Brasil é, em escala mundial, o detentor do maior volume de Recursos Identificados (depósitos) de terras raras.

Xenotímio, argilas de adsorção iônica, apatita, cheralita, eudialyta, loparita, fosforitos, monazita secundária, soluções de urânio e escórias de produção de ligas Fe-Nb, constituem os restantes recursos.

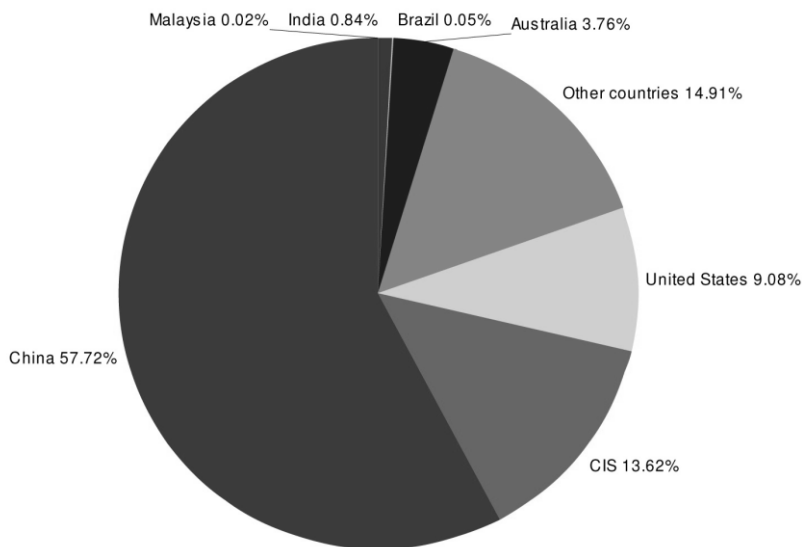
Com a intensa busca de novos depósitos, outros ambientes geológicos geradores de minérios poliminerálicos, haverá, certamente, progressiva definição de mais reservas e de novas tecnologias de extração, e o perfil mundial dos recursos identificados de terras raras irá, muito provavelmente, sofrer modificações.

As reservas e produção mundial de terras raras são apresentadas na Tabela 13 e na Figura 13.

Tabela 13 – Produção, reservas e reservas base de terras raras no mundo

	Produção	Reservas	Reservas Base
China	120,000	27,000,000	89,000,000
EUA	---	13,000,000	14,000,000
Austrália	---	5,200,000	5,800,000
CEI	NA	19,000,000	21,000,000
Índia	2,700	1,100,000	1,300,000
Malásia	380	30,000	35,000
Brasil	650	48,000	84,000
Outros Países	<u>NA</u>	<u>22,000,000</u>	<u>23,000,000</u>
TOTAL MUNDIAL (aproximado)	124,000	88,000,000	150,000,000

Fonte: USGS, Mineral Commodity Summaries, janeiro 2010.



Fonte USGS, Mineral Commodity Summaries, janeiro 2010

Figura 13 - Reservas mundiais de TR.

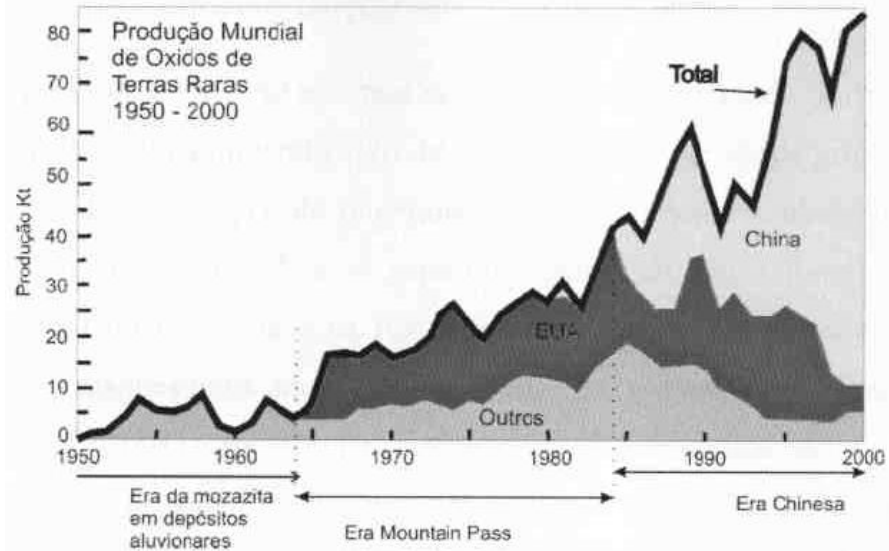
Tendo, como fonte o portal “*The Vertical Portal for China Business Intelligence*”, reproduz-se ‘tal qual’ uma tabela das reservas da China por região/depósito (Tabela 14).

Tabela 14 – Reservas de terras raras da China (10000 toneladas)

Area	Reservas Comprovadas	Reservas Industriais	Reservas de Longo Prazo
Bayun Obo, Baotou	10600	4350	>13500
Huishan, Sandong	1270	400	>1300
Seven Provinces in South	840	150	5000
Liangshan, Sichuan	240	150	>500
Zhiin, Guizhou	70		>150
Others	150	150	>225
Total	12270	5200	>21000

Fonte: ResearchInChina; www.cre.net.

A produção mundial de terras raras é esquematizada na Figura 14.



Fonte: U.S. Geological Survey – Fact Sheet 087-02

Figura 14 – Produção mundial de terras raras em kt ($1\text{kt}=10^3\text{ kg}$) de 1950 a 2000 e seus três períodos distintos: monazita em depósitos aluvionares, bastnaesita de Mountain Pass/EUA e período chinês, com vários minérios

No caso do Brasil não tem sido considerado o grande volume de recursos identificados (medidos), os quais estão associados aos complexos alcalino-carbonatíticos, constituindo depósitos específicos de terras raras que são citadas nas estatísticas do USGS (Mineral Commodity Sumario2010) e no artigo de ZHANENG CHENG (2011).

Além destes depósitos são conhecidas, no Brasil, várias ocorrências de terras raras associadas a outros bens minerais tais como, fosfatos, minérios de Ti (anatásio) e de Nb (pirocloro), ou ainda, em outros ambientes geológicos, minérios de Zr (zircão), Nb-Ta (niobotantalita) e Sn (cassiterita).

No Brasil, só Catalão I (GO) e Araxá (MG), têm recursos identificados que superam as reservas da China. São reservas de terras raras contidas, ainda sem tecnologia de extração econômica, que, no entanto, se afiguram bem factíveis, considerando os atuais preços das terras raras e os elevados teores dos minérios.

Estes recursos, os ambientes geológicos, as principais características dos minérios e o valor das reservas do Brasil serão detalhados, mais adiante, no próximo capítulo.

3.4. Depósitos e Projetos Internacionais em Andamento

Como já foi referido, para fazer face à situação de baixa oferta e de monopólio estabelecido pela China, já há várias ações em andamento em escala mundial, a saber:

- i) está a ser reativada a mina de Mountain Pass (EUA) e colocada em produção a jazida de Mount Weld (Austrália);
- ii) pesquisam-se e reavaliam-se novos depósitos ou depósitos conhecidos que apresentam reservas e teores elevados para os quais, na época, não havia tecnologia de extração econômica ou não eram considerados como depósitos poliminerálicos, em países/regiões como Brasil, Canadá, Alaska, EUA, Groenlândia, Noruega, Austrália, África do Sul, Namíbia, Malawi, Madagascar e Kyrgystão,
- iii) desenvolvem-se trabalhos de pesquisa em prospectos promissores, repensa-se e avalia-se a coprodução de terras raras em minas ou depósitos de outros bens minerais, nomeadamente os de urânio.

A empresa alemã *TANTALUS Rare Earths AG* de Düsseldorf tem como missão identificar e desenvolver trabalhos de exploração e projetos mineiros fora da China, principalmente na África. Atualmente 100% dos seus investimentos são em Madagascar no projeto *Tantalus Rare Earths Project* (TRE-AG, 2010).

Na Tabela 15, indicam-se 29 projetos em andamento, em cinco países.

Tabela 15 – Projetos para produção de terras raras no mundo, sem a China

Unidade	Empresa	Reservas (63a)		OTR (%)	Situação
		OTR	Minério		
Mountain Pass (EUA)	Molycorp Minerals	4,3	50	8,9 (t.c. 5)	Estudo de viabilidade. Produção 2010-11
Dubbo Zircônia (Austrália)	Alkane Resources Ltd	---	35,7	0,745 (0,14 Y ₂ O ₃)	Estudo de viabilidade. Produção 2011
Kvanefjel (Groenlândia)	Greenland Minerals and Energy Ltd	4,91	457	1,07	Estudo de viabilidade. Produção 2011
Mount Weld (Austrália)	Lynas Corporation Ltd	1,18	12,24	9,7 (t.c. 2,5)	Estudo de viabilidade. Produção 2012
Nolans Bore (Austrália)	Arafura Resources Ltd	0,85	30,3	2,8 (t.c. 1%)	Estudo de viabilidade. Produção 2012
Steenkampskraal Mine (África do Sul)	Rareco	0,029	0,249	16,5 – 5,0	Retomada de exploração
Hoidas Lake (Canadá)	Great Western Minerals Group Ltd	0,07	2,6	2,43 (t.c. 1,5)	Pré-viabilidade
Nechalacho (Thor Lake, Canadá)	Avalon Rare Metals Inc.	---	64,2	1,96	Pré-viabilidade
Córrego do Garimpo ^(b) , Catalão I – GO Brasil	Ultrafértil / VALE	---	78,7	5% (t.c. 2)	Avaliação efetuada.
Lagoa Seca ^(b) , Catalão I – GO Brasil	Ultrafértil / VALE	---	46	5,51 (t.c. 2)	Avaliação efetuada.
Área Zero ^(b) Araxá – MG (Brasil)	MbAC	---	1,3	10-15	Avaliação efetuada
Eco Ridge (Canadá)	Pele Mountain Resources			5,68 Milhões de toneladas (0,051% U ₃ O ₈) + ? (OTR)	Estudo de viabilidade

Tabela 15 (cont.) – Projetos para produção de terras raras no mundo, sem a China

Unidade	Empresa	Reservas (64a)		OTR (%)	Situação
		OTR	Minério		
Bull Hill Southeast (USA)	Rare Element Resources Ltd	---	9,8	4,1 (t.c. 1,5)	Exploração avançada
Bokan Mountain (Alaska)	Ucore Rare Metals	---	---	0,2 – 11,49	Exploração avançada (ETRP/ETRL)
Kangakund Hill (Malawi)	Lynas Corporation Ltd	0,12	2,53	4,1 (t.c. 3,5)	Exploração avançada
Cummins Range (Austrália)	Navigator Resources Ltd.	0,07	4,17	1,72 (t.c. 1)	Exploração Avançada
Strange Lake (64agnés)	Quest Uranium Corporation	---	52	1,3 (0,66 Y ₂ O ₃)	Exploração Avançada
Kutessay II (Kirguistão)	Stans Energy Corp.	0,06 ^(a)	---	0,41	Exploração Avançada
Bear Lodge (USA)	Rare Elements Resource Ltd.	---	9,8	4,1 (+Au)	Exploração
Ampasindava (Madagascar)	Tantalus Rare Earth AG	---	15	3,06-31,09 (t.c. 1,52)	Exploração
B-Zone (Canadá) / TR+Y+Zr+ Nb+Be	Quest Uranium Corp.	---	---	8,03-14,43	Exploração
Douglas River (Canadá/SK)	Great Western Minerals Group	---	---	0,02-8,75	Exploração
Benjamin River (NB-Canadá)	Great Western Minerals Group	---	---	0,22-1,49	Exploração
Eldor Project, (Canadá/Québec)	Commerce Resources Corp.	---	---	1,72	Exploração

Tabela 15 (cont.) – Projetos para produção de terras raras no mundo, sem a China

Unidade	Empresa	Reservas (65a)		OTR (%)	Situação
		OTR	Minério		
Deep Sands REE Project Utah (USA)	Great Western Minerals Group	---	---	0,14 – 0,18	Exploração
Browns Range (Austrália)	Northern Uranium	---	---	7,95	Exploração
Wicheda – Prince George	Bolero Resources Corp.	---	---	2,2 – 3,55	Exploração
Archie Lake (Canadá/BC)	Quantum Rare Earth Development Corp.	---	---	3,8 (ETR+Y)	Exploração
Lofdal (Namíbia)	Etruscan Resources Inc.	---	---	0,7 (ETR+Y)	Exploração
Yangibana (Austrália)	Artemis Resources	---	---	2,48	Exploração
Machinga (Malawi)	Globe Metals and Mining	---	---	2,64	Exploração
Pea Ridge (USA)	Wings Enterprise	---	---	12-13 (ETR+Y)	Dados históricos
Ytterby (Canadá/Québec)	Midland (Can.) JOGMEG (Japão)	---	---	---	Prospecto com grande potencial

t.c. – teor de corte; ^(a) Dados históricos; ^(b) Sem tecnologia de extração de terras raras.

Fonte: Extraído e adaptado de British Geological Survey (2010) e HATCH, G. (2011) Introducing The TMR Advanced Rare-Earth Projects

