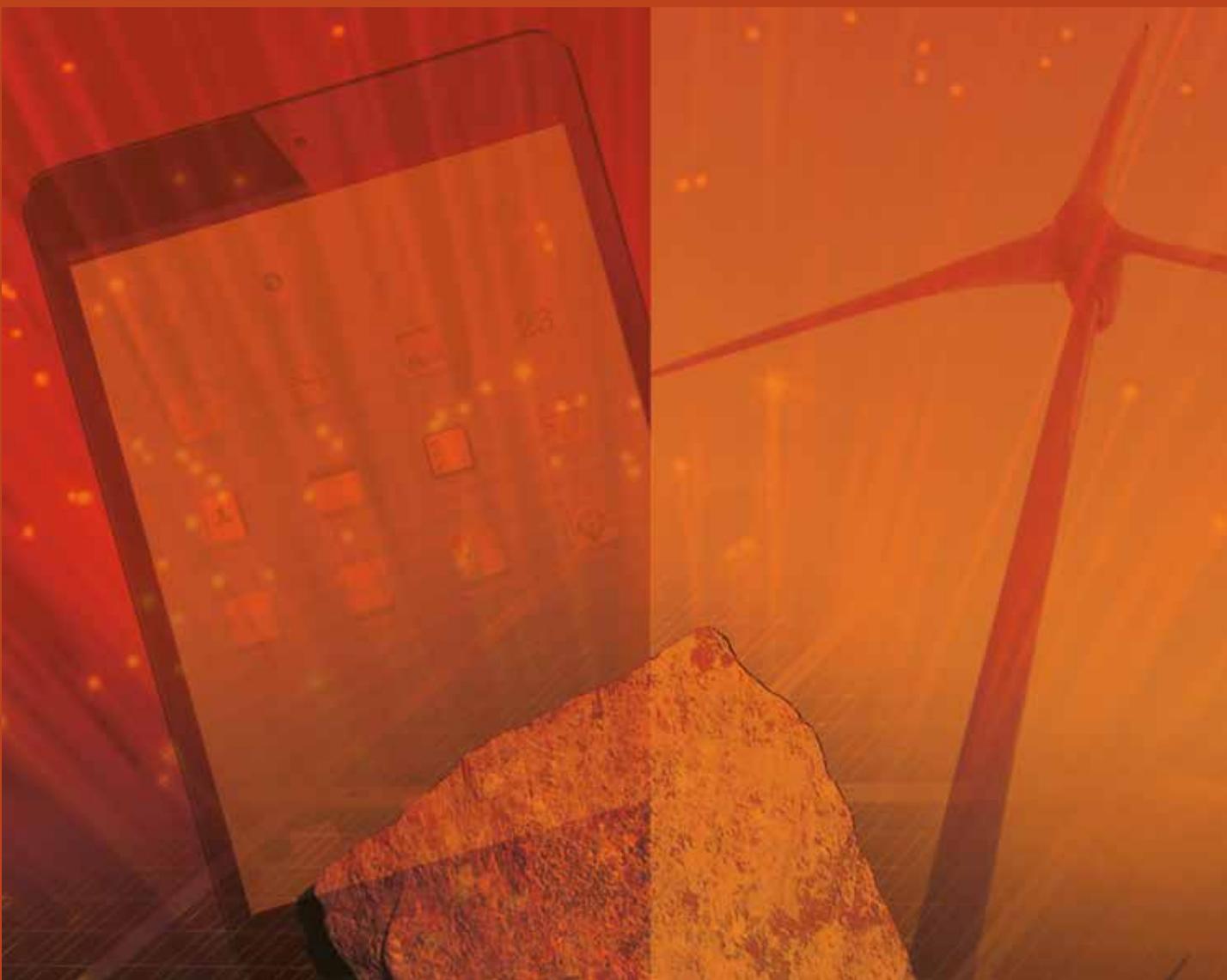




MINERAIS ESTRATÉGICOS E TERRAS-RARAS



MINERAIS
ESTRATÉGICOS E
TERRAS-RARAS

MESA DIRETORA DA CÂMARA DOS DEPUTADOS

54ª Legislatura

2011-2015

4ª Sessão Legislativa

Presidência

Presidente: Henrique Eduardo Alves

1º Vice-Presidente: Arlindo Chinaglia

2º Vice-Presidente: Fábio Faria

Secretários

1º Secretário: Márcio Bittar

2º Secretário: Simão Sessim

3º Secretário: Maurício Quintella Lessa

4º Secretário: Biffi

Suplentes de Secretário

1º Suplente: Gonzaga Patriota

2º Suplente: Wolney Queiroz

3º Suplente: Vitor Penido

4º Suplente: Takayama

Diretor-Geral

Sérgio Sampaio Contreiras de Almeida

Secretário-Geral da Mesa

Mozart Vianna de Paiva



Câmara dos Deputados
Centro de Estudos e Debates Estratégicos
Consultoria Legislativa

MINERAIS ESTRATÉGICOS E TERRAS-RARAS

Relator

Deputado Colbert Martins

Consultores Legislativos

Paulo César Ribeiro Lima

Luciana da Silva Teixeira

Marcos Pineschi Teixeira

Alberto Pinheiro de Queiroz Filho

Centro de Documentação e Informação
Edições Câmara
Brasília – 2014

Centro de Estudos e Debates Estratégicos

Presidente

Deputado Inocêncio Oliveira

Titulares

Dr. Paulo César

Félix Mendonça Júnior

Jaime Martins

José Linhares

Leopoldo Meyer

Margarida Salomão

Mauro Benevides

Pedro Uczai

Ronaldo Benedet

Suplentes

Alexandre Toledo

André Figueiredo

Iara Bernardi

Jesus Rodrigues

José Humberto

Waldir Maranhão

Secretário-Executivo

Eduardo Fernandez Silva

Coordenação de

Articulação Institucional

Paulo Motta

Chefe de Secretaria

Roberto Stefanelli

Coordenador de Secretaria

Lúcio Meireles Martins

Centro de Estudos e Debates

Estratégicos – CEDES

Gabinete 566A – Anexo III

Câmara dos Deputados

Praça dos Três Poderes

– CEP 70160-900

Brasília DF

Tel.: (61) 3215 8626

E-mail: cedes@camara.leg.br

www.camara.leg.br/cedes

Câmara dos Deputados

Diretoria Legislativa

Diretor: Afrísio Vieira Lima Filho

Consultoria Legislativa

Diretor: Eduardo Fernandez Silva

Centro de Documentação e Informação

Diretor: Adolfo C. A. R. Furtado

Coordenação Edições Câmara

Diretora: Heloísa Helena S. C. Antunes

Câmara dos Deputados

Centro de Documentação e Informação – Cedi

Coordenação Edições Câmara – Coedi

Anexo II – Praça dos Três Poderes

Brasília (DF) – CEP 70160-900

Telefone: (61) 3216-5809 – Fax: (61) 3216-5810

editora@camara.leg.br

Apoio do Departamento de Taquigrafia, Revisão e Redação

Diretora: Daisy Leão Coelho Berquo

Coordenação Executiva: Paulo Motta e Roberto Stefanelli

Revisão: Camila Alves Flores

Consultoria Externa: Claudio Seliar

Projeto Gráfico: Patrícia Weiss

Diagramação: Daniela Barbosa

Imagem da Capa: Serviço de Publicidade / Secom

O conteúdo e a revisão do texto desta publicação são de responsabilidade do Centro de Estudos e Debates Estratégicos.

SÉRIE

Estudos estratégicos

n. 3

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)

Coordenação de Biblioteca. Seção de Catalogação.

Minerais estratégicos e terras-raras [recurso eletrônico] / relator Colbert Martins ; Paulo César Ribeiro Lima ... [et al.]. – Brasília : Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2014.
241 p. – (Série estudos estratégicos ; n. 3)

Apresenta as discussões realizadas na Câmara dos Deputados, sob a coordenação do Centro de Estudos e Debates Estratégicos (CEDES).
ISBN 978-85-402-0260-3 (e-book)

1. Economia mineral, Brasil. 2. Mineração, Brasil. I. Martins, Colbert. II. Lima, Paulo César Ribeiro. III. Série.

CDU 622(81)

ISBN 978-85-402-0259-7 (brochura)

ISBN 978-85-402-0260-3 (e-book)

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
PREFÁCIO	11
RELATÓRIO	13
1. INTRODUÇÃO	15
2. A DEMANDA POR RECURSOS MINERAIS	17
2.1 Minerais metálicos não-ferrosos	17
2.2 Minerais e óxidos de terras-raras	49
2.3 Minério de ferro	62
2.4 Minerais não-metálicos especiais	73
2.5 Agrominerais	78
3. TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS	83
3.1 Turbinas eólicas	83
3.2 Carros elétricos	88
3.3 Células fotovoltaicas	90
3.4 Células a combustível	92
3.5 Catalisadores para veículos	93
3.6 Iluminação eficiente	93
4. RECURSOS PARA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO	95
4.1 Sistemas de cálculo das compensações financeiras	95

4.2	A compensação financeira no mundo	96
4.3	A legislação brasileira	103
4.4	Arrecadação no setor petrolífero e no setor mineral	106
4.5	Comparação entre o Brasil e outros países	110
4.6	Análise das receitas para pesquisa e desenvolvimento	111
5.	POLÍTICAS E AÇÕES PÚBLICAS E PRIVADAS	113
5.1	Histórico	113
5.2	Planos para política industrial	115
5.3	Plano Nacional de Mineração – 2030	116
5.4	Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação	117
5.5	Políticas públicas específicas para os minerais estratégicos	118
5.6	Políticas de apoio à inovação tecnológica	120
5.7	Grupos de pesquisa e estudo	123
5.8	Ações empresariais	124
6.	NECESSIDADE DE UMA VISÃO ESTRATÉGICA	137
7.	VALOR ESTRATÉGICO	141
8.	PROPOSTA DE UM NOVO ARCABOUÇO INSTITUCIONAL	144
9.	CONCLUSÕES	148
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	150
	PROPOSIÇÃO LEGISLATIVA	155

CONTRIBUIÇÕES ESPECIAIS	161
CADEIAS PRODUTIVAS PARA TERRAS-RARAS NO BRASIL <i>Tássia de Melo Arraes</i> <i>Cristina Ferreira Correia Silva</i> <i>Alvaro Toubes Prata</i>	163
MINERAIS ESTRATÉGICOS E ELEMENTOS TERRAS-RARAS <i>José Eduardo Alves Martinez</i> <i>Romualdo Homobono Paes de Andrade</i>	174
UMA VISÃO COMENTADA SOBRE MINERAIS ESTRATÉGICOS E TERRAS-RARAS <i>Marcelo Ribeiro Tunes</i>	190
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRAS-RARAS NO BRASIL <i>Lucy Takehara</i> <i>Francisco Valdir Silveira</i>	202
NIÓBIO <i>Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM</i>	220
MINERAÇÃO: O QUE É ESTRATÉGICO PARA O BRASIL <i>Claudio Scliar</i>	232

APRESENTAÇÃO

O terceiro volume da série Estudos Estratégicos é mais uma iniciativa do Centro de Estudos e Debates Estratégicos (Cedes), no sentido de colocar em discussão na Câmara dos Deputados os temas mais relevantes para a definição das linhas mestras do planejamento de longo prazo no País.

O estudo sobre minerais especiais e terras-raras, que agora entregamos ao público, é fruto de um amplo debate promovido pelo Cedes, que contou com a participação ativa de todos os principais interessados no fortalecimento e na regulamentação do setor mineral brasileiro.

Entre 2012 e 2013, foram realizados três importantes seminários, um na Câmara dos Deputados e dois no Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, além de audiências públicas com a presença de representantes do Executivo, do Legislativo, do setor privado e do meio acadêmico.

Ao patrocinar os debates que esta publicação coloca à disposição de todos os interessados, o Cedes deu uma contribuição decisiva para que, finalmente, as reflexões sobre os destinos do setor mineral brasileiro ocupem lugar de destaque na agenda nacional.

*Deputado Henrique Eduardo Alves
Presidente da Câmara dos Deputados*

PREFÁCIO

Quem olha o Brasil do exterior imediatamente percebe a enorme riqueza mineral contida em seu território. É uma verdade inquestionável, contida nos livros de ensino fundamental em qualquer lugar do mundo.

No entanto, apesar de ser um fato tão evidente, nós, brasileiros, às vezes agimos como se não o compreendêssemos em toda sua importância. Não basta destacar no mapa a localização dos minerais valiosos. Isso fazem as crianças para saber onde estão concentradas as jazidas mais significativas.

Quem pretende traçar as linhas mestras de um planejamento estratégico condizente com o potencial e a expectativa de uma nação com dimensões continentais precisa ir além. Precisa saber que os minérios são bens finitos e que a forma e o *timing* de sua exploração terão impactos profundos no desenvolvimento do País.

O grande risco da exploração não planejada de recursos naturais abundantes é o subdesenvolvimento. O país que assim procede torna-se dependente das divisas que consegue com a venda do minério bruto, acomoda-se a essa facilidade momentânea e não cria bases econômicas e institucionais para construir uma estrutura produtiva autônoma e diversificada.

Para fugir da armadilha da vida fácil comprada com a venda do subsolo é preciso investir em processos que agreguem valor aos produtos exportados. Em seguida, é necessário destinar parte das receitas dessas vendas para educação, pesquisa e inovação tecnológica, que embasarão novos investimentos produtivos.

O roteiro é simples, mas difícil de ser executado, porque é enorme a tentação de consumir no curto prazo a riqueza mineral, tantas vezes vista como bênção divina. A forma mais eficiente de se manter firme nos rumos do planejamento estratégico é criar bases institucionais para fazer escolhas melhores e mais racionais que, para a visão míope do imediatista, poderiam parecer perda de tempo.

O Brasil tem imensas reservas de minerais estratégicos, que atendem a uma demanda mundial ampla e diversificada. Vender o minério bruto é uma opção que não pode ser descartada, mas a ela é preciso acrescentar ações que estimulem a agregação de valor e

conhecimento às cadeias produtivas domésticas, de forma a projetar uma nova e mais inteligente inserção do País na divisão internacional de trabalho.

Já estamos atrasados na concepção de uma política industrial que contemple a construção de cadeias produtivas direcionadas aos minerais estratégicos, capazes de estimular a disseminação de fornecedores de bens e serviços para suprir as necessidades da indústria de mineração e de transformação.

O Brasil ainda não mapeou todas as ocorrências de minerais estratégicos em seu território nem tampouco desenvolveu cadeias produtivas para a exploração de terras-raras, que envolve a produção de óxidos e ligas metálicas, insumos básicos na indústria tecnológica de ponta, como é o caso, por exemplo, dos superímãs, essenciais na fabricação de turbinas eólicas e motores elétricos de menor tamanho e maior potência.

O que está em questão neste momento da história nacional é a escolha de um modelo de política mineral adequado à inserção do setor num conjunto de objetivos mais amplos, tanto do ponto de vista econômico quanto social e ambiental.

A criação de um novo modelo institucional para o setor mineral precisa ser amplamente discutida, na sociedade e no Parlamento, para que as gerações futuras não sofram a enorme decepção de ver marcado nos mapas escolares o esgotamento das jazidas sem que isso tenha contribuído para a construção de uma Nação próspera e soberana.

*Deputado Inocêncio Oliveira
Presidente do Centro de Estudos e Debates Estratégicos*

RELATÓRIO

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objeto analisar a exploração, o aproveitamento econômico e a cadeia produtiva de minerais e materiais estratégicos para o Brasil. A produção e a demanda por bens minerais especiais e terras-raras vêm se intensificando devido, principalmente, ao grande consumo pelos setores de alta tecnologia. Serão examinados os bens minerais que podem ser considerados fundamentais para o Brasil e, também, para outros países. Será analisada, ainda, a importância de alguns minerais e materiais para o desenvolvimento sustentável.

Os bens minerais podem ser divididos em três grandes grupos: metálicos, não-metálicos e agrominerais.

O aumento dos preços internacionais dos bens minerais, especialmente do grupo dos metálicos, tem provocado novos posicionamentos de países e de empresas. É importante ressaltar que a restrição da oferta de alguns bens minerais pode afetar o emprego e desenvolvimento de importantes tecnologias que dependem desses bens. Em geral, a cadeia produtiva pode ser decomposta em várias etapas. Após extraído, o minério é beneficiado. Em seguida, ocorre o processo de concentração; depois da concentração, ocorre a separação dos materiais de interesse. Esses materiais são refinados e convertidos em metais, que podem ser combinados com outros metais para a produção de ligas. Os metais e as ligas são usados em milhares de aplicações.

No grupo dos minerais metálicos, merecem destaque os elementos denominados terras-raras, conjunto de dezessete elementos químicos da tabela periódica formado pelos quinze lantanídeos mais o escândio e o ítrio, que também são considerados terras-raras por ocorrerem, normalmente, nos mesmos depósitos minerais que os lantanídeos e exibirem propriedades químicas similares.

No final do ano de 2013, cerca de 80% da demanda de terras-raras leves e 100% da demanda de terras-raras pesadas foram atendidas pelo mercado chinês. Essa situação somente mudará se forem criadas cadeias produtivas fora da China.

O grupo dos minerais não-metálicos é muito heterogêneo, sendo muito diferentes os padrões de produção no Brasil. Existem empresas organizadas que operam dentro de modernos padrões industriais. Entretanto, determinados bens minerais não-metálicos são lavrados, muitas vezes, de modo rudimentar, com processos produtivos muito simplificados, tais como os agregados. Alguns minerais não-metálicos também deverão ter grande importância no desenvolvimento tecnológico mundial, principalmente em um contexto de mudanças climáticas, tais como a grafita e o quartzo.

Os agrominerais são minerais não-metálicos que, em razão de suas especificidades, serão analisados em um tópico específico. O Brasil é um grande consumidor de agrominerais,

sendo dependente de importações para os principais insumos da cadeia de fertilizantes. De 1998 a 2008, o consumo de fertilizantes no Brasil teve um crescimento de 70%. Assim como os minerais metálicos, os agrominerais tiveram um expressivo aumento de preços nos últimos anos.

Os hidrocarbonetos (petróleo e gás natural) e os minerais radioativos, cuja pesquisa e lavra são monopólios da União, não serão analisados neste trabalho.

2. A DEMANDA POR RECURSOS MINERAIS

A demanda por recursos minerais decorre da produção de bens de consumo. A procura por minerais estratégicos e por terras-raras decorre da necessidade de produção de aços, fertilizantes, equipamentos eletrônicos etc. Em consequência disso, a busca por recursos minerais depende da demanda dos produtos finais que os utilizam nos seus processos produtivos.

Um aumento na procura do produto de consumo leva a um aumento na busca do recurso mineral. As principais variáveis na determinação do aumento da demanda de produtos de consumo são preço e renda¹.

Neste trabalho, será abordada a demanda e a oferta dos seguintes recursos minerais:

- minerais metálicos não-ferrosos: alumínio, cobre, cromo, gálio, índio, lítio, manganês, molibdênio, metais do grupo platina, nióbio, níquel, tântalo, titânio, tungstênio e vanádio;
- minerais e óxidos de terras-raras;
- minério de ferro;
- minerais não-metálicos: grafita, quartzo e telúrio; e
- agrominerais: fósforo e potássio.

2.1 Minerais metálicos não-ferrosos

A indústria dos minerais metálicos não-ferrosos abrange uma série de atividades ao longo de várias fases da cadeia produtiva, que incluem a pesquisa, mineração, fundição, reciclagem, refino, processamento e fabricação de produtos finais.

Os metais não-ferrosos são, normalmente, mais resistentes à corrosão que os metais ferrosos. Muitos metais não-ferrosos são bons condutores de eletricidade. Em razão disso, eles são estratégicos para uma grande variedade de produtos e setores, como, por exemplo, químico, automotivo, eletrônico, de embalagem, de construção, de joalheria, aeroespacial, de energia, de radares militares, de controle de mísseis etc.

Os minerais metálicos não-ferrosos podem ser divididos nos seguintes subgrupos:

- básicos (alumínio, cobre, cromo, níquel);
- metais do grupo platina; e

¹ Theory of Mineral Demand, Gary A. Campbell, Economics of the Mineral Industries, American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineering, Inc. 1985.

- de menor produção (gálio, índio, lítio, manganês, molibdênio, nióbio, tântalo, titânio, tungstênio e vanádio).

Existem importantes variações estruturais, nas características e na competitividade dos vários setores. A indústria dos não-ferrosos é parte de uma indústria global, em geral aberta e altamente competitiva. As matérias-primas e os metais são importantes produtos dessa indústria.

A competitividade dessa indústria depende muito do custo do capital, das matérias-primas e da energia. A indústria de reciclagem tem apresentado, a cada dia, maiores taxas de recuperação. A China tem sido o principal produtor global, principalmente na produção de minérios, concentrados e metais refinados. Recentemente, o país tem apresentado grandes avanços na fabricação de produtos finais.

Nesse país, o setor de não-ferrosos tem uma grande presença do Estado. Em 2010, as receitas das grandes empresas estatais foram de aproximadamente 20% do total. Com base em dados do China Statistical Yearbook de 2010², o Estado como um todo ficou com 45% da receita bruta em 2009.

Na China, o Instituto de Pesquisa de Metais Não-Ferrosos – GRINM, de propriedade do Estado, foi fundado em novembro de 1952, sendo a maior instituição de pesquisa e desenvolvimento na área da indústria de metais não-ferrosos³. Ele foi formalmente transformado em um centro de alta tecnologia em janeiro de 2006, quando obteve a licença de negócios a partir de uma iniciativa do governo central. O instituto conta com três mil empregados, sendo trezentos doutores ou mestres.

Suas atuais áreas de pesquisa são: microeletrônica e fotoeletrônica, metais preciosos e raros, terras-raras, materiais e tecnologia para a área de energia, materiais para pós e ligas especiais, materiais para supercondutor, nanotecnologia, materiais para infravermelho, processamento de metais não-ferrosos, metalurgia e processamento de minerais avançados, compósitos de metais não-ferrosos, ensaio e análise de materiais.

2.1.1 Alumínio

O mais importante minério de alumínio na crosta terrestre é a bauxita, que contém em sua composição química o óxido de alumínio. Esse óxido é a mais importante matéria-prima para a produção do alumínio metálico, que tem uso bastante diversificado. Com ele fabricam-se desde latas de cerveja até componentes estruturais de aviões. No futuro, espera-se que os fabricantes de veículos ampliem o uso de materiais leves, como o

2 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2010/indexh.htm>

3 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://en.grinm.com/>

alumínio, em substituição ao aço, o que pode reduzir o consumo de combustíveis. As ligas escândio-alumínio são muito adequadas na construção de estruturas leves. O Departamento de Energia dos Estados Unidos financia pesquisa com ligas nanocristalinas manganês-alumínio.

O alumínio também é usado na fabricação de um tipo de bateria de íons de lítio para veículos elétricos: lítio, níquel, cobalto, alumínio e grafita (Li-NCA-G). Além disso, aluminatos de magnésio de cério ou bário são importantes na fabricação de lâmpadas fluorescentes compactas e podem vir a ser importantes na fabricação de nanotubos fotoluminescentes. Registre-se, ainda, que metais de terras-raras podem ser obtidos da lama vermelha gerada na produção de alumínio.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2013), em 2012, as reservas mundiais de bauxita somaram 25,8 bilhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 1. O país que mais detém reservas é a Guiné, com 7,4 bilhões de toneladas, seguida da Austrália, com 6 bilhões de toneladas, pelo Vietnã, com 2,1 bilhões de toneladas, Jamaica, com 2 bilhões de toneladas, e Indonésia, com 1 bilhão de toneladas. No caso do Brasil, as reservas lavráveis são da ordem de 590 milhões de toneladas, localizadas principalmente no estado do Pará.

Tabela 1 Reservas e produção de bauxita

Discriminação	Reservas ^{(1) (2)} (10 ⁶ t)		Produção (10 ³ t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Brasil	590	33.694	33.260	12,7
Austrália	6.000	67.000	73.000	28,0
China	830	46.000	48.000	18,4
Indonésia	1.000	37.100	30.000	11,5
Índia	900	20.000	20.000	7,7
Guiné	7.400	18.000	19.000	7,3
Jamaica	2.000	10.200	10.300	3,9
Rússia	200	5.800	6.100	2,3
Cazaquistão	160	5.400	5.300	2,0
Venezuela	320	4.500	4.500	1,7
Suriname	580	5.000	4.200	1,6
Grécia	600	2.100	2.000	0,8

Discriminação	Reservas ^{(1) (2)} (10 ⁶ t)		Produção (10 ³ t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Países				
Guiana	850	2.000	1.850	0,7
Vietnã	2.100	80	300	0,1
Outros países	2.280	4.300	3.100	1,2
Total	25.810	261.174	260.910	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013; *Internacional Aluminium Institute* (IAI); Associação Brasileira do Alumínio (ABAL).

(p) Dado preliminar, exceto Brasil; (r) revisado. (1) reserva lavrável de bauxita, para o Brasil; (2) reserva econômica de bauxita, para os demais países.

De acordo com os dados dessa tabela, observa-se que, em termos de produção mundial de bauxita, atualmente a Austrália responde por 28%, seguida da China, responsável por 18,4%, ficando o Brasil em terceiro lugar, com 12,7%.

2.1.2 Cobre

O cobre, conhecido desde a antiguidade, é utilizado para a produção de materiais condutores de eletricidade, como fios e cabos, e em ligas metálicas como, por exemplo, latão e bronze. Ele é essencial para a civilização contemporânea e pode vir a ser mais importante ainda no futuro, pois o cobre é utilizado na maior parte das aplicações na área de energia elétrica.

No entanto, não é só nos sistemas de energia elétrica que o cobre está presente. Em um carro elétrico, por exemplo, estão presentes grandes quantidades de cobre. Até 2020, cerca de 10% dos carros fabricados no mundo poderão ser elétricos ou híbridos. Em 2011, foram fabricados 80 milhões de carros. Assim, em 2020, poderão ser produzidos cerca de 10 milhões de carros elétricos, cada um consumindo 45 quilogramas de cobre, o que geraria uma demanda de 450 mil toneladas.

De acordo com o DNPM (2013), as reservas mundiais de minério de cobre registraram em 2012 um total de 680 milhões de toneladas em metal contido, quantidade 1,4% inferior à de 2011, conforme mostrado na Tabela 2. As reservas lavráveis brasileiras de cobre em 2012 somaram 11,42 milhões de toneladas de cobre contido, apresentando aumento de 3,2% frente às do ano anterior, com destaques para os estados do Pará, com 81% desse total, Goiás, Alagoas e Bahia.

Tabela 2 Reservas e produção de cobre

Discriminação	Reservas ⁽¹⁾ (10 ³ t)		Produção ⁽²⁾ (10 ³ t)	
	2012	2011 ^(r)	2012 ^(p)	(%)
Países	2012	2011 ^(r)	2012 ^(p)	(%)
Brasil	11.419	213,8	223,1	1,3
Chile	190.000	5.260,0	5.370,0	32,1
Peru	76.000	1.240,0	1.240,0	7,4
Estados Unidos da América	39.000	1.110,0	1.150,0	7,0
China	30.000	1.310,00	1.500,0	9,0
Austrália	86.000	958,0	970,0	5,8
Outros países	247.581	6.008,2	6.248,9	37,4
Total	680.000	16.100,0	16.702,0	100,0

Fonte: DNPM; ICSG; USGS; Vale; Salobo Metais S/A; Mineração Caraíba; Mineração Maracá; Votorantim Metais Níquel; Caraíba Metais e Sindicel-ABC.

Dados em metal contido. (1) Brasil: reserva lavrável (DNPM). Para outros países: reserva econômica (USGS), (2) concentrado; (r) revisado; (p) preliminar.

A produção mundial de concentrado de cobre, em metal contido, alcançou, no ano de 2012, uma quantidade de 16,7 milhões de toneladas, registrando um acréscimo de 3,7% em relação a 2011. Quanto ao metal, em 2012 a produção mundial de cobre refinado (primário e secundário) atingiu 20,12 milhões de toneladas, apresentando um crescimento de 2,6% em relação ao ano de 2011. A China (28,6%), o Chile (14,4%), o Japão (7,5%) e os EUA (5%) foram os principais produtores do metal. A produção brasileira de cobre primário e secundário registrou, em 2012, uma produção de 210,7 mil toneladas, correspondendo a 1,1% do total mundial de refinado. Segundo o International Cooper Study Group – ICSG, o mercado mundial do cobre apresentou em 2012 um déficit de produção frente ao consumo da ordem de 396 mil toneladas.

Mesmo contando com pequenas reservas, a China é o maior consumidor mundial de cobre. Em 2009, o país consumiu cerca de 6,4 milhões de toneladas, o que representa cerca de 40% da produção mundial. Esse consumo foi maior que a produção do Chile, de 4 milhões de toneladas. Em 2011, a demanda chinesa foi de 7,38 milhões de toneladas, um aumento de 8,5% em relação à demanda de 2010.

Segundo Lifton⁴, a indústria de cobre não está aumentando sua oferta de maneira a atender o crescimento da demanda. Pode-se chegar a um ponto onde não haja matéria-prima para a produção dos fios e cabos de cobre.

Em 2009, a maior parte do cobre importado pela China foi na forma de metal bruto. Assim, é necessário refiná-lo, antes de transformar 6,4 milhões de metal bruto em fios,

4 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.northernminer.com/news/lifton-describes-copper-as-nerve-of-civilization/1001411930/>

cabos, folhas e barras. Nesse refino, muitas “impurezas” são produzidas, tais como molibdênio, ouro, prata, platina, paládio, selênio, telúrio e rênio.

Nos últimos anos, a capacidade global de processamento de cobre tem se transferido para a China. O país consumiu mais de 30% do cobre refinado no mercado global, mesmo tendo apenas 5% das reservas. Em 2010, a China foi o maior produtor mundial de fios e barras de liga de cobre, respondendo, respectivamente, por 19,96% e 43,10% do total global.

A indústria chinesa de cobre cresceu 56,8% na última década e gerou US\$ 8 bilhões no ano de 2011⁵. Tudo indica que, no futuro, haverá ampliação da demanda e que as políticas públicas levarão a um aumento da produção interna, atualmente pouco superior a 1 milhão de toneladas por ano. As companhias Xinjiang Xinxin Mining Industry, Yunnan Copper e Jiangxi Copper são as principais indústrias chinesas de cobre. Todas essas companhias são estatais.

Em um contexto de pequenas reservas e baixa produção interna, as companhias chinesas investiram mais de US\$ 5 bilhões em aquisições de reservas de cobre do Afeganistão à Zâmbia⁶. Essas aquisições têm potencial de produção de 1,6 milhão de toneladas por ano. A China deve absorver essa produção até o ano de 2014. A Figura 1 mostra as aquisições feitas pelas companhias chinesas⁷.

Figura 1 Aquisições de reservas de cobre de companhias chinesas



Fonte: Extraído do sítio <http://www.businessweek.com/magazine/copper-china-redgold/>

5 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.businesswire.com/news/home/20120208005741/en/Research-Markets-Copper-Industry-China-Grew-56.8>

6 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.businessweek.com/magazine/copper-china-redgold/>

7 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.businessweek.com/magazine/copper-china-redgold/>

2.1.3 Cromo

O cromo é um metal bastante raro na crosta terrestre, encontrado na cromita. A concentração do cromo nas rochas varia de 5 miligramas por quilograma, nas rochas graníticas, a 1800 miligramas por quilograma nas rochas ultramáficas/básicas. Os depósitos mais importantes de cromo possuem esse elemento no estado elementar ou na forma trivalente. Na maioria dos solos, o cromo ocorre em baixas concentrações, mas valores de aproximadamente 4 gramas por quilograma já foram encontrados em solos não contaminados. É obtido comercialmente aquecendo a cromita, mediante processo de redução em presença de alumínio ou silício.

O cromo tem a propriedade de ser bastante resistente à corrosão e oxidação. Por essa razão é usado no revestimento de objetos metálicos e, juntamente com o níquel, na produção de aços especiais, como os aços inoxidáveis. O Departamento de Energia dos Estados Unidos está investindo em baterias ferro-cromo para estocagem de energia.

De acordo com o DNPM (2013), as reservas mundiais de minério de cromo, medidas e indicadas em Cr_2O_3 contido, são maiores que 465 milhões de toneladas e estão concentradas no Cazaquistão, África do Sul e Índia, conforme mostrado na Tabela 3. A produção mundial de cromita, em 2012, foi de 24,37 milhões de toneladas, 2,2% superior a 2011, destacando-se como países produtores a África do Sul, a Índia e o Cazaquistão.

Tabela 3 Reservas e produção de cromo

Discriminação	Reservas ¹ (10 ³ t)		Produção ³ (10 ³ t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	(%)
Países				
Brasil	564	542	472	1,9
África do Sul	200.000	10.200	11.000	45,1
Índia	54.000	3.850	3.800	15,6
Cazaquistão	210.000	3.800	3.800	15,6
Estados Unidos	620	nd	nd	nd
Outros países	nd	5.450	5.300	21,7
Total	>465.184	23.842	24.372	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) Inclui reservas em metal contido (reservas lavráveis); (2) teores médios de Cr_2O_3 no Brasil: reservas – BA=33,53%, AP=32%, MG=20%; produção de cromita: BA=39,15%; AP=45,17%; (3) no Brasil: produção beneficiada inclui minério lump + concentrado + outros minérios de cromo e seus conc. + cromo em forma bruta; (r) revisado; (p) dado preliminar; (nd): não disponível.

O Brasil, praticamente o único produtor de cromo no continente americano, continua com uma participação modesta, da ordem de 0,12% das reservas e de 1,9% da oferta mundial de cromita. As reservas lavráveis brasileiras são da ordem de 1,74 milhão de toneladas, informadas no Relatório Anual de Lavra, com 564,1 mil toneladas de Cr_2O_3 ,

contido. As reservas medidas e indicadas, em metal contido, totalizam 3,58 milhões de toneladas.

Grande parte da produção mundial de cromo, cerca de 37,7%, ocorre na África do Sul. A China, que praticamente não tem reservas próprias, é o maior parceiro comercial da África do Sul. Dos 8 milhões de toneladas de minério de cromo importado pela China em 2010, 3,1 milhões foram oriundos da África do Sul⁸.

O crescimento econômico chinês gerou grande desenvolvimento da indústria de cromo, principalmente pelo fato de ser utilizado na fabricação de aços inoxidáveis. O crescimento industrial chinês exige a construção de plantas e equipamentos industriais intensivos em aços que contêm cromo.

A China, que tem uma pequena mineração de cromita, é grande fabricante de ferro-cromo a partir de cromita importada. O país tem expandido sua indústria de aços inoxidáveis com a construção de modernas unidades de produção de grande capacidade, tornando-se um importante consumidor de cromita e de ferro-cromo.

Analistas acreditam que a China está se posicionando como um produtor de ferro-cromo de baixo custo, a partir de importações de minério, de baixo custo, da África do Sul⁹. O país importa grande quantidade de matéria-prima e exporta produtos manufaturados que contêm cromo. Receia-se que a China esteja estocando grandes quantidades de cromo.

2.1.4 Gálio

O gálio é um metal que não ocorre em concentrações suficientes para justificar uma mineração exclusiva. Estima-se que 95% do suprimento mundial de gálio sejam obtidos da produção de alumina, a partir da bauxita, e que cerca de 5% sejam obtidos dos resíduos no processamento do zinco. Estima-se que no refino da alumina sejam extraídos somente 10% do gálio contido no minério e somente 15% dos refinadores podem recuperar o elemento. A concentração de gálio na bauxita varia de 30 a 80 ppm.

O uso de gálio inclui circuitos integrados, semicondutores, diodos emissores de luz (LEDs), células fotovoltaicas, micro-ondas, telefones celulares e *smartphones*. Os aparelhos de vídeo *blu-ray* usam nitreto de gálio. Outras aplicações são coletores de neutrino, aplicações biomédicas, células a combustível e pós de fósforo ativados por ultravioleta. Aplicações em semicondutores, que requerem gálio em alta pureza, também podem gerar grande aumento no consumo.

8 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://chromiuminvestingnews.com/480-south-africa-leads-world-in-chromium-but-china-fears-growing.html>

9 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://chromiuminvestingnews.com/504-brazil-seeks-to-increase-ferrochrome-production-as-china-threat-looms.html>

De acordo com *United States Geological Survey* – USGS (2011), em resposta a uma demanda sem precedentes por LEDs de alto brilho, muitos produtores de trimetil-gálio (TMG) expandiram sua capacidade de produção em 2010 e 2011.

O valor de mercado do diselenieto de cobre, índio e gálio (CIGS), usado na tecnologia fotovoltaica de filme fino, foi estimado em US\$ 613 milhões, em 2011, e pode chegar a US\$ 5,4 bilhões, em 2018. No entanto, a tecnologia CIGS está demorando a entrar no mercado comercial devido à complexidade do processo de fabricação. A redução dos preços das células solares à base de silício também tem impedido a fabricação em massa de painéis CIGS. Esses dois fatores resultaram em uma superoferta de módulo CIGS, o que causou uma redução de 20% nos preços.

Governos asiáticos investiram pesadamente nas tecnologias LED em 2010 e 2011. A República da Coreia iniciou um programa de iluminação do tipo LED com o objetivo de alcançar taxa de adoção de 100% no setor público e 60% no setor privado até 2020.

Na China, grandes incentivos foram definidos pelo governo para que se crie uma indústria com base na tecnologia LED. O governo chinês também implementou um programa de iluminação pública, a fim de criar uma demanda doméstica para a tecnologia.

A produção primária de gálio em 2011 foi estimada em 216 toneladas métricas. China, Alemanha, Cazaquistão e Ucrânia foram os principais produtores. China, Japão, Reino Unido e Estados Unidos foram os principais produtores de gálio refinado. O gálio tem sido reciclado a partir de sucata industrial no Canadá, Alemanha, Japão, Reino Unido e Estados Unidos.

A China é o maior produtor de gálio obtido diretamente dos minérios. Estima-se que esse país tenha aumentado sua capacidade de produção de 141 toneladas por ano, em 2010, para 206 toneladas por ano, em 2011¹⁰.

Uma significativa parcela de gálio vem da produção secundária, principalmente de reciclagem de lâminas (*wafers*) de arseneto de gálio e de resíduos de epitaxia fase líquida. Os principais centros para produção secundária são Japão e América do Norte. No entanto, há evidências de que efetiva reciclagem esteja ocorrendo na China.

Nesse país, cerca da metade do consumo identificado de gálio é em materiais magnéticos NdFeB, o que não ocorre em nenhum outro lugar, mas que tem potencial para ocorrer no Japão.

Estima-se que a demanda por gálio irá crescer a uma taxa de 15% ao ano até 2015. Essa demanda será atendida tanto por capacidade já existente, principalmente de refino secundário, e por nova capacidade primária planejada para a China e, possivelmente,

10 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.roskill.com/reports/minor-and-light-metals/gallium>

América do Norte. Enquanto a reciclagem permanecer em baixos níveis, reservas de material secundário vão ser acumuladas na China.

2.1.5 Índio

O índio é um metal macio, obtido como subproduto do zinco. Metade da demanda está associada ao uso em coberturas de óxido de estanho para *displays* planos de alta eficiência. É também usado em detetores infravermelho, transistores de alta velocidade e células fotovoltaicas de alta eficiência. É usado em composição com cobre, gálio e diselenieto em filmes finos para essas células.

Em razão do uso em *smartphones* e *tablets*, a demanda por índio deve aumentar no curto prazo. Registre-se, ainda, que o índio pode ser um elemento de liga para semicondutores em LEDs e diodos laser. Novos usos desse elemento incluem lâmpadas sem eletrodo, liga de mercúrio e barras de controle para centrais nucleares.

De acordo com o USGS (2012), os maiores produtores de índio em 2011 foram China, Japão, Canadá, República da Coreia, Peru e Bélgica. Estima-se que a produção mundial em 2010 foi de 574 toneladas. A China controla mais de 50% da produção de índio refinado. Existem grandes produtores na China, mas também muitos produtores pequenos, que compram concentrados de grandes indústrias de refino de metal.

A China produz cerca de 300 a 350 toneladas de índio por ano. O governo chinês restringiu as exportações desse metal por meio de tributos. Além disso, em dezembro de 2009, a China estabeleceu uma cota de exportação de 139,8 toneladas de índio para o primeiro semestre de 2010. Em outubro do mesmo ano, anunciou uma cota de exportação, para 2011, igual à de 2010, que foi de 233 toneladas.

A empresa International Metal Material é a maior fornecedora de índio e de lingote de índio na China, o que significa que é a maior companhia de índio do mundo¹¹. As exportações chinesas restringem-se a dezesseis empresas produtoras e a duas comercializadoras. Elas são as únicas que detêm licenças de exportação. Estima-se que somente 50% da cota anual de exportação tem sido atingida.

2.1.6 Lítio

O lítio é um importante elemento para a fabricação de baterias para uso em carros elétricos ou híbridos. Importa destacar que há previsão de crescimento significativo na fabricação desses veículos nas próximas décadas. No mundo, em 2008, foram produzidas cerca de 95.000 toneladas de lithium carbonate equivalente – LCE, quase o dobro do produzido há 10 anos.

11 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.indiumsupplier.com/company-news/164-china-indium-exporters-become-largest-indium-factory>

Nos últimos anos, o crescente uso de baterias recarregáveis em dispositivos portáteis, tais como notebooks, palmtops e câmeras fotográficas, resultou no aumento anual de 3 a 5% da demanda. Para o ano de 2013, a previsão de consumo é de 162 mil toneladas de LCE, em função do início de produção dos veículos elétricos, híbridos e *plug-in* híbrido, cujas baterias deverão ser à base de íon-lítio.

Com o crescimento da demanda e dos preços, os minerais de lítio, como espodumênio, petalita e outros, antes considerados antieconômicos para produção de carbonato de lítio, podem apresentar viabilidade econômica. Novos projetos com base em minerais de lítio estão em desenvolvimento em vários países, visando produzir carbonato de lítio grau bateria, com 99,95% Li_2CO_3 , aproveitando o momento econômico favorável.

De acordo com o DNPM (2013), em 2012, as reservas mundiais de óxido de lítio (Li_2O), sem considerar a Bolívia, cujos dados não são divulgados, eram de 12,9 milhões de toneladas, concentradas no Chile, China, Austrália e Argentina, conforme mostrado na Tabela 4. Os dados oficiais do Brasil apontaram 48 mil toneladas de Li_2O .

Tabela 4 Reservas e produção de lítio

Discriminação	Reservas (10 ³ t) ⁽¹⁾⁽²⁾		Produção ^{(t) (2)}	
	2012	2011	2012	%
Países	2012	2011	2012	%
Brasil	48	336	390	1,1
Chile	7.500	12.900	13.000	35,7
Austrália ⁽⁴⁾	1.000	12.500	13.000	35,7
China	3.500	4.140	6.000	16,5
Argentina	850	2.950	2.700	7,4
Portugal	10	820	820	2,2
Zimbábue	23	470	500	1,4
Estados Unidos da América	38	nd	nd	nd
Bolívia ⁽³⁾	nd	nd	nd	nd
Total	12.969	34.116	36.410 ⁽⁵⁾	100

Fonte: DNPM/DIPLAM e USGS-*Mineral Commodity Summaries* – 2013.

Dados em óxido de lítio contido. (1) A partir de 2009, a USGS passou a apresentar dados de reserva, e não mais reserva-base. Por essa razão, o DNPM passou a informar para o Brasil a *reserva lavrável* (conceito mais próximo do novo critério do USGS), presente em Relatórios Anuais de Lavra (RAL) e Relatórios Finais de Pesquisa aprovados; (2) Dados estimados pelo USGS, exceto Brasil (dados preliminares); (3) O USGS não apresentou dados para a Bolívia; (4) O USGS, baseado em fontes de governo e mercado, revisou as reservas da Austrália de 970 mil t para 1 milhão de t; (5) não inclui produção dos EUA, nem estimativa do USGS de 490 t de outros países; (nd) dado não disponível.

A produção mundial de concentrados de lítio, sem considerar os Estados Unidos, que não disponibilizam dados oficiais, continua em alta desde 2010, liderada por Chile, Austrália e

China. Sem os Estados Unidos, em 2012 foram produzidas no mundo 36,41 mil toneladas de concentrados com Li_2O contido, equivalente a um crescimento de 6,7% em relação a 2011.

2.1.7 Manganês

O manganês é um metal duro e frágil muito abundante na crosta terrestre. É importante na produção de ligas metálicas fabricadas pelo setor siderúrgico, pois tem a propriedade de tornar o aço mais duro, tenaz e resistente ao desgaste. A maior parte do manganês é consumida na produção de ferro e aço.

Na economia verde, seu principal uso é em baterias para veículos elétricos. A demanda por essas baterias deve aumentar muito no médio prazo. Para essa aplicação, utiliza-se o dióxido de manganês, sintetizado química ou eletroliticamente. Também estão sendo realizadas pesquisas visando ao uso do manganês em células fotovoltaicas. O dióxido de manganês grau bateria é responsável por 3% a 5% da produção global de manganês. Outros usos incluem a fabricação de tijolos, produtos químicos e fertilizantes.

De acordo com o DNPM (2013), em 2012, a produção mundial de minério de manganês chegou a 17,3 milhões de toneladas em metal contido, evidenciando um aumento ante 2011, quando a produção atingiu 16,6 milhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 Reservas e produção de manganês

Discriminação	Reservas* (10 ³ t)		Produção (t)	
	2012 ^(p) %	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Brasil*	53.500	1.426.000	1.118.694	6,6
África do Sul	150.000	3.400.000	3.500.000	20,8
Austrália	97.000	3.200.000	3.400.000	20,2
China	44.000	2.800.000	3.000.000	17,8
Gabão	27.000	1.860.000	2.000.000	11,9
Índia	49.000	895.000	810.000	4,8
Cazaquistão	5.000	390.000	390.000	2,3
Ucrânia	140.000	330.000	310.000	1,8
Mianmá (Birmânia)	nd	234.000	230.000	1,4
Malásia	nd	225.000	230.000	1,4
México	5.000	171.000	170.000	1,0
Outros países	3.000	1.740.000	1.700.000	10,1
Total	573.500	16.671.000	16.858.694	100,00

Fonte: DNPM/DIPLAM; Relatórios de produção das principais empresas produtoras de manganês e USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2013; (r) dados revisados; (p) preliminares; (*) reserva lavrável; (nd) dado não disponível.

A lista com os maiores produtores mundiais praticamente não sofreu alteração, pois continua sendo encabeçada pela África do Sul, com 20,8% da produção mundial, em

seguida aparece a Austrália, com 20,2%, China, com 17,8%, Gabão, com 11,9% e Brasil, com 6,6%, completando o rol com os cinco maiores produtores.

Em relação às reservas, o total mundial chegou a mais de 573,5 milhões de toneladas, mantendo-se praticamente estável em relação a 2011, quando as reservas atingiram 570 milhões de toneladas. A composição dos principais detentores de reservas não sofreu alteração, sendo encabeçada pela África do Sul, com 26,2%, Ucrânia, 24,4%, Austrália, 16,9%, Brasil, 9,3% e Índia, 8,5%. Os demais países somados representam 14,7%.

2.1.8 Metais do Grupo Platina

Os Metais do Grupo Platina (MGP) referem-se a um grupo de 6 elementos da tabela periódica: rutênio, ródio, paládio, ósmio, irídio e platina. Eles apresentam propriedades físicas e químicas similares e tendem a ocorrer nos mesmos depósitos minerais.

De acordo com o DNPM (2013), as reservas mundiais dos MGP estão estimadas em, aproximadamente, 66 mil toneladas. As maiores reservas concentram-se na África do Sul (95,5%), localizadas no Complexo de Bushveld, totalizando 10 minas em atividade situadas em Merensky Reef, UG2 Chromite Layer e Platreef. A segunda maior reserva mundial encontra-se na Rússia, em Noril'sk-Talnakh, e representa cerca de 1,7% do total.

Em 2012, a produção mundial de platina totalizou 179 toneladas, representando decréscimo de 8,21% em relação ao ano anterior. A produção de paládio foi de 200 toneladas, com decréscimo de 6,98%. A África do Sul foi o principal produtor mundial de platina, tendo participado com 72% do volume total. A Rússia foi o maior produtor de paládio com participação de 41% na produção global.

As reservas brasileiras lavráveis de platina e paládio, em 2012, continuaram estáveis em relação ao exercício anterior, apresentando 5,58 toneladas e 8,21 toneladas de minério contido, respectivamente, localizadas no estado do Pará. A Tabela 6 mostra as reservas e a produção dos metais do grupo platina.

Tabela 6 Reservas e produção de metais do grupo platina

Discriminação	Reservas de MGP (¹) (kg)		Produção de MGP (kg)				
			Platina			Paládio	
	Países	2012 (p)	2011 (r)	2012 (p)	%	2011 (r)	2012 (p)
África do Sul			63.000.000	145.000	128.000	71,51	82.000
Rússia	1.100.000	26.000	26.000	14,53	86.000	82.000	41,00
Canadá	310.000	7.000	6.500	3,63	14.000	13.000	6,50

Discriminação	Reservas de MGP (1) (kg)	Produção de MGP (kg)					
		Platina			Paládio		
Países	2012 (p)	2011 (r)	2012 (p)	%	2011 (r)	2012 (p)	%
		Estados Unidos da América	900.000	3.700	3.700	2,06	12.400
Outros países	690.000	13.300	14.800	8,27	20.600	20.800	10,40
Total	66.000.000	195.000	179.000	100	215.000	200.000	100

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) Dados em metal contido de todos MGPs (Pt, Pd, Rd, Rh, Ir e Os); (r) revisado; (p) dado preliminar.

Em 2011, a China manteve-se como o maior consumidor mundial de platina. A demanda líquida chinesa foi de 1,325 milhão de onças, 10% maior que no ano anterior¹². As importações chinesas de platina foram expressivas nesse ano. O mercado da joalheria chinesa de platina cresceu substancialmente, que também ocorreu na indústria automobilística, que usa o metal para reduzir emissões de carbono e de gases de efeito estufa nos conversores catalíticos. Estima-se que 75% da demanda da joalheria, em 2010, vieram desse país. Em 2012, poderá haver um déficit de oferta¹³.

Na China, o crescimento da classe média está levando ao aumento da produção de automóveis, que usam platina, paládio e ródio em catalizadores para sistemas de exaustão¹⁴. Apesar da ênfase no desenvolvimento de carros elétricos e de novos catalisadores, padrões de emissão mais rígidos estão levando a um maior consumo dos MGPs. Estima-se que, na China, metade dos veículos convencionais utilizam motores a gasolina, sendo a outra metade produzida com motores a diesel. Nos motores a gasolina, usa-se mais paládio, enquanto mais platina é usada nos catalisadores para motores a diesel. Os veículos com célula a combustível normalmente usam uma membrana eletrolítica polimérica que pode necessitar de platina.

2.1.9 Molibdênio

O molibdênio é um metal de transição muito usado na forma de ligas metálicas, principalmente no aço. Em termos geológicos, o molibdênio ocorre principalmente como sulfeto de molibdênio (molibdenita), com teores de 0,01% a 0,5% em depósitos tipo molibdênio pórfiro ou como subproduto de minérios de cobre pórfiro. Outras formas de mineralizações com expressão econômica estão associadas a greisens ou escarnitos.

12 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.mineweb.co.za/mineweb/view/mineweb/en/page35?oid=146320&sn=Detail&pid=102055>

13 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.mineweb.com/mineweb/view/mineweb/en/page35?oid=154047&sn=Detail>

14 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.tradersgame.com/articles/invest-platinum.html>

Aproximadamente dois terços do molibdênio consumido são empregados em ligas metálicas de alta resistência, que suportam temperaturas elevadas e resistem à corrosão, usadas, por exemplo, na fabricação de peças para aviões e automóveis. Na indústria petroquímica, é usado como catalisador. O Mo-99 é empregado na indústria de isótopos nucleares.

O molibdênio também é empregado em diversos pigmentos para pinturas, tintas, plásticos, compostos de borracha e em algumas aplicações eletrônicas, como nas telas de projeção do tipo transistor de tela fina. Na forma de fios podem ser utilizados para usinagem por eletroerosão de corte a fio. O dissulfeto de molibdênio é um bom lubrificante e pode ser empregado em altas temperaturas.

Segundo Roskill¹⁵, os principais indutores do consumo de molibdênio têm sido os seguintes:

- aumento do uso de aços inoxidáveis e de outros tipos de aço com molibdênio em unidades de geração de energia e de dessalinização;
- maior uso em aços de alta resistência em dutos e motores veiculares;
- uso de molibdênio em aços aplicados em colunas e brocas de perfuração de poços de petróleo a grandes profundidades;
- aumento do uso em componentes de usinas nucleares que demandam aços inoxidáveis especiais;
- demanda por catalisadores de níquel-molibdênio e cobalto-molibdênio usados na produção de óleo diesel de baixo teor de enxofre.

De acordo com o DNPM (2013), as reservas mundiais de molibdênio, em 2012, totalizaram 11 milhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 7. Segundo o United States Geological Survey – USGS, estas reservas tiveram um acréscimo de 10% entre 2011 e 2012 devido, principalmente, ao aumento das reservas do Chile. As reservas de molibdênio no Brasil são restritas e descritas na literatura como associadas a escarnitos (RN e PB), mineralizações com urânio (MG, SC), sub ou coproduto em pegmatitos (BA), depósitos em granitos (SC, RS, RR) e epitermais (PA), destacando a sua presença nos depósitos de cobre de Salobo e Breves (PA). A produção mundial totalizou 252.350 toneladas, apresentando queda de 4,4% em comparação com a produção de 2011, concentrada nas Américas do Norte e do Sul, além da Ásia.

15 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://www.mmta.co.uk/uploaded_files/Molybdenum.%20Roskill.pdf

Tabela 7 Reservas e produção de molibdênio

Discriminação	Reservas (10 ³ t) ¹		Produção (t)	
	2012	2011	2012 (p)	%
Países ²				
China	4.300	106.000	105.000	41,6
Estados Unidos da América	2.700	63.700	57.000	22,6
Chile	2.300	40.900	35.300	14,0
Peru	450	19.100	19.500	7,7
Outros países	1.250	34.160	35.550	14,1
Total	11.000	263.860	252.350	100

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) Reserva lavrável; (2) Brasil: dados de reservas indisponíveis; produção= zero; (p) dados preliminares; (e) dados estimados pelo USGS.

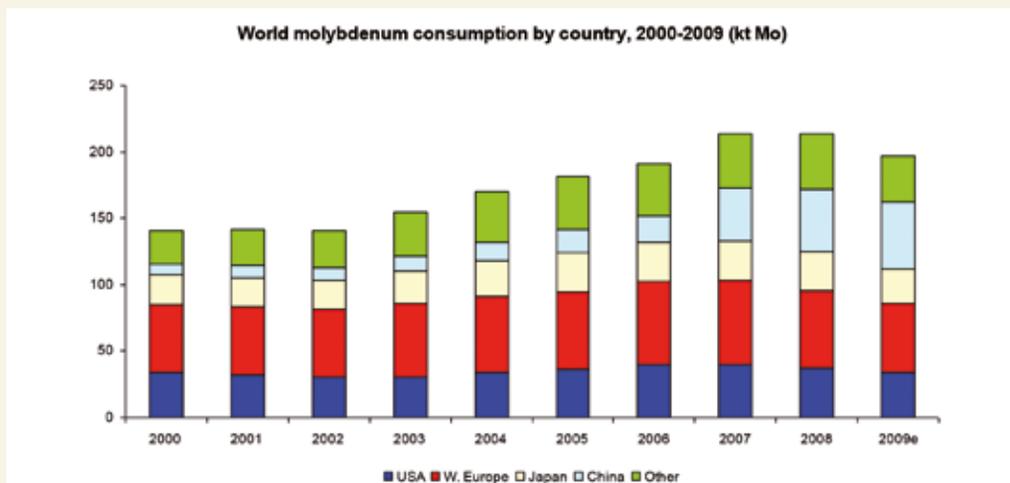
Em 2010, a China classificou o molibdênio como “recurso mineral nacional”, limitando a mineração e as exportações desse metal¹⁶. Em 2007, a China já tinha estabelecido cotas de exportação para o molibdênio. Com essa classificação, passou a ser maior ainda o controle sobre sua mineração.

A China tem, de acordo com a Tabela 7, cerca de 41,6% das reservas mundiais de molibdênio, sendo o maior produtor mundial. Os projetos chineses de infraestrutura, como pontes, dutos e unidades de geração de energia, consomem grandes quantidades de molibdênio, pois necessitam de aços especiais. Importa registrar que as usinas nucleares também são grandes demandantes.

A Figura 2 mostra o crescimento do consumo do metal por país entre 2000 e 2009. Conforme pode ser observado, a partir de 2002 houve um grande crescimento do consumo pela China.

16 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://molyinvestingnews.com/3041-china-set-to-control-moly-production.html>

Figura 2 Evolução do consumo de molibdênio por país



Fonte: Roskill – “Molybdenum: Market Outlook to 2014”.

Em 2012, a China produziu 105 mil toneladas de molibdênio, sendo responsável por 41,6% da produção mundial. O país manteve-se como o maior produtor e consumidor mundial de molibdênio em 2011. A partir de 2008, a diferença entre a oferta e a demanda tem diminuído como consequência de um maior crescimento da demanda que da oferta. Em 2009, a China tornou-se um importador líquido, devido principalmente à inversão dos preços domésticos e externos.

Produtos de alto valor agregado representam uma pequena parcela entre os produtos chineses contendo molibdênio. No momento, os produtos chineses são dominados por produtos primários, tais como ferro-molibdênio e concentrado de molibdênio. Os produtos de alto valor agregado, como produtos químicos e metais, representam uma parcela de 30%.

A empresa estatal China Molybdenum Company Limited é a maior produtora de molibdênio na China e também produtora de tungstênio. Em 2007, ela foi listada na Bolsa de Valores de Hong Kong, sendo a empresa com a maior valorização a partir do primeiro dia de negociação.

As empresas Jinduicheng Molybdenum Stock Co., Ltd. e Luoyang Molybdenum Industry Company possuem suas próprias minas, com alta taxa de autossuficiência e com produtos cobrindo toda a cadeia produtiva, o que gera maior rentabilidade.

Empresas como a Xinhualong Molybdenum Industry e a Wanxin Tungsten-Molybdenum, como não são autossuficientes, dedicam-se mais a produtos fundidos e ao *downstream*. Apesar do alto faturamento, apresentam menor rentabilidade, sendo a margem líquida de cerca de 2,7%.

Companhias como a Daheishan Mining Industry detêm abundantes reservas, mas são deficientes na fundição e no processamento. Apesar de estarem focadas no *upstream*, apresentam alta rentabilidade, com margem líquida de 19,6%.

2.1.10 Nióbio

O nióbio é um metal utilizado na composição de ligas metálicas que apresentam resistência e leveza. Ele é considerado estratégico em certos setores como a indústria aeronáutica, naval e espacial, além da automobilística. É encontrado em minerais tais como niobita (columbita), niobita-tantalita, pirocloro e euxenita. Geralmente, os minerais com nióbio contêm também o tântalo.

O nióbio apresenta numerosas aplicações, sendo usado em alguns aços inoxidáveis e até em ligas de metais não-ferrosos. Ligas com nióbio, devido à resistência, são usadas para a fabricação de tubos transportadores de água e petróleo a longas distâncias. Outras aplicações incluem o uso em indústrias nucleares devido a sua baixa captura de nêutrons térmicos e em soldas elétricas. Grandes quantidades de nióbio são utilizadas em superligas para fabricação de componentes de motores de jatos e subconjuntos de foguetes. Pesquisas avançadas com nióbio foram realizadas no âmbito do programa Gemini¹⁷. O nióbio está sendo avaliado como uma alternativa ao tântalo para a utilização em capacitores.

O nióbio converte-se em supercondutor quando submetido a temperaturas criogênicas. Na pressão atmosférica e quando puro, tem a mais alta temperatura crítica entre os supercondutores de tipo I¹⁸. Além disso, é um elemento presente em ligas de supercondutores do tipo II.

De acordo com o DNPM (2013), o Brasil possui as maiores reservas mundiais de nióbio, seguido por Canadá, Austrália, Egito, República Democrática do Congo, Groenlândia (território pertencente à Dinamarca), Rússia, Finlândia dentre outros. É também o maior produtor mundial da substância, sendo responsável por mais de 95% do total mundial.

A Tabela 8 mostra as reservas e o perfil da produção de nióbio no mundo.

17 O Projeto Gemini foi o segundo projeto de exploração espacial realizado pela Nasa, antecedido pelo Projeto Mercury, e ao qual se seguiu o Projeto Apollo.

18 Existem dois tipos de supercondutor. Nos supercondutores do tipo I, o efeito Meissner é total, enquanto nos supercondutores do tipo II há uma pequena penetração das linhas de campo magnético para dentro do material.

Tabela 8 Reservas e produção de nióbio

Discriminação	Reservas ⁽²⁾ (t)		Produção ⁽¹⁾ (t)		
	2010 ^(p)	2008 ^(r)	2009 ^(r)	2010 ^(p)	(%)
Países					
Brasil	4.096.658	144.514	165.723	165.767	97,08
Canadá	46.000	4.380	4.330	4.400	2,57
Outros Países	21.000	483	400	600	0,35
Total	4.161.658	149.377	170.423	170.767	100

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2011.

(1) Dados referentes à Nb_2O_5 contido no minério. (2) Reserva lavrável, (p) Preliminar, (r) Revisado.

No Brasil, as reservas lavráveis de nióbio estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Amazonas, Goiás, Rondônia e Paraíba. Em Minas Gerais, as principais reservas encontram-se em Araxá, com uma reserva lavrável de 400,7 milhões de toneladas de minério de pirocloro $[(Na,Ca)2Nb_2O_6(OH,F)]$. Em Goiás, as principais reservas estão em Catalão, com reserva lavrável de 95,7 milhões de toneladas de minério pirocloro; no Amazonas, destaca-se o depósito de Pitinga, com uma reserva lavrável de 170,2 milhões de toneladas de minério columbita-tantalita. No estado de Rondônia, as reservas lavráveis são de 5,8 milhões de toneladas, com teores, em média, de 0,23% a 1,85% de Nb_2O_5 contido.

Os estados de Minas Gerais e de Goiás são os maiores produtores. A Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM é o maior complexo mineiro-industrial de nióbio de todo o mundo, localizado em Araxá (MG). As jazidas de nióbio pertencentes à Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – Codemig, empresa pública constituída na forma de sociedade anônima e controlada pelo estado de Minas Gerais e à CBMM, estão arrendadas à Comipa, empresa criada para gerenciar jazidas de nióbio pertencentes às duas companhias¹⁹. O nióbio produzido em Araxá responde por 75% de toda a produção mundial e as reservas dessa cidade são suficientes para um período de extração superior a 400 anos.

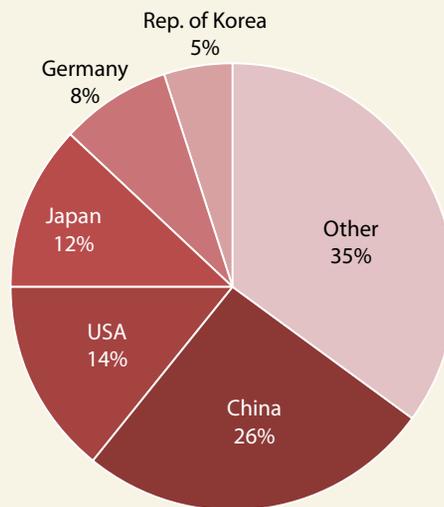
A CBMM extrai, processa, fabrica e comercializa produtos à base de nióbio. Uma Conta de Participação nos Lucros entre a Codemig e a CBMM garante a exploração racional do depósito de nióbio. O contrato concede 25% de participação nos lucros operacionais da CBMM ao Governo do estado de Minas Gerais²⁰.

19 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://www.comig.com.br/site/content/parcerias/parcerias_detalhe.asp?id=37

20 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.cbmm.com.br/portug/index.html>

Segundo Bethel e Ku²¹, a China ocupa um papel de destaque no crescimento das aplicações do nióbio, principalmente na produção de aços, e é o principal mercado para o nióbio no mundo, consumindo cerca de 25% de todo o ferro-nióbio produzido, sendo um percentual baixíssimo produzido no próprio país. Assim, a China tem sido o principal importador de nióbio nos últimos anos, importando cerca de 94% de suas necessidades do Brasil. A Figura 3 mostra os principais países importadores do metal em 2009.

Figura 3 Principais países importadores de nióbio em 2009



Fonte: UN Comtrade.

Em razão da importância estratégica do nióbio, o Brasil criou tecnologias para sua produção nos últimos 60 anos. Devido à dificuldade de desenvolver a cadeia produtiva desse elemento na China, um consórcio chinês, formado pelas empresas estatais Baosteel, Taiyuan Iron & Steel Group e Grupo CITIC, adquiriu 15% do capital da CBMM, em setembro de 2011, por US\$ 1,95 bilhão²².

Alguns analistas questionaram os interesses estratégicos brasileiros após o repasse desse percentual para a China e recomendaram que o Brasil desse mais importância às suas reservas de tão estratégico metal.

Mas não é somente o consórcio chinês que demonstrou interesse no nióbio brasileiro. Em março de 2011, Japão e Coreia do Sul formaram um consórcio de companhias,

21 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://seekingalpha.com/instablog/462107-erik-bethel/107295-niobium-a-bridge-between-brazil-and-china-part-2>

22 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://riotimesonline.com/brazil-news/rio-business/chinas-stake-in-brazils-niobium-mining/>

composto pela JFE Holdings, Nippon Steel e Posco, entre outras, e adquiriram 15% da CBMM por US\$ 1,8 bilhão²³.

2.1.11 Níquel

O níquel é um metal de transição raro na crosta terrestre. É condutor de eletricidade e calor, dúctil e maleável, porém não pode ser laminado, polido ou forjado facilmente, apresentando certo caráter ferromagnético. É encontrado em diversos minerais e em meteoritos.

Importa destacar sua resistência à corrosão, sendo utilizado como revestimento a partir da eletrodeposição. O metal e algumas de suas ligas metálicas, como o monel, são utilizados em motores marítimos e na indústria química. Aproximadamente 65% do níquel produzido são empregados na fabricação de aço inoxidável, 12% em superligas e cerca de 23% na produção de outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, cunhagens de moedas, revestimentos metálicos e fundição. A liga níquel-titânio, denominada nitinol-55, apresenta o fenômeno memória de forma e é usada em robótica. Também existem ligas que apresentam alta elasticidade.

Na economia verde, pode-se destacar o uso de níquel em baterias para veículos elétricos, incluindo-se a bateria NiMH e um tipo de bateria de íons de lítio que contém lítio, níquel, cobalto, alumínio e grafita. O níquel também é utilizado em catalisadores.

De acordo com o DNPM (2013), apesar da redução nas reservas de níquel da Austrália em 2011, justificada pelo aumento de sua produção, houve uma expansão em 52,8% da oferta do metal na Colômbia, contribuindo para o crescimento das reservas mundiais em 14,3% em relação ao ano anterior. O Brasil manteve-se na 3ª posição no ranking internacional. A evolução da produção mundial nos últimos três anos foi de 37,9%, superior à do Brasil, que teve crescimento de 28%. A Tabela 9 mostra as reservas e a produção de níquel.

Em 2010, a China apresentava poucos depósitos de níquel, sendo 90% deles encontrados em depósitos de sulfeto de cobre-níquel (USGS, 2010). Os depósitos de níquel foram descobertos na Região Autônoma de Xinjiang e nas províncias de Gansu, Hubei, Jilin, Sichuan e Yunnan. Em 2010, o país produziu menos de 100 mil toneladas e consumiu cerca de 580 mil toneladas.

23 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.dealmaker.com.br/blog/index.php/2011/09/02/china-compra-15-da-brasileira-cbmm-maior-produtora-de-niobio-do-mundo/>

Tabela 9 Reservas e produção de níquel

Discriminação	Reservas (10 ³ t) ¹		Produção (t) ²		
	Países	2012	2010 ^(r)	2011 ^(r)	2012 ^(p)
Brasil	8.658	108.983	124.983	139.531	6,2
Austrália	20.000	170.000	215.000	230.000	10,1
Nova Caledônia	12.000	130.000	131.000	140.000	6,2
Rússia	61.000	269.000	267.000	270.000	11,9
Cuba	5.500	70.000	71.000	72.000	3,2
Indonésia	3.900	232.000	290.000	320.000	14,1
Canadá	3.300	158.000	220.000	220.000	9,7
África do Sul	3.700	40.000	44.000	42.000	1,9
China	3.000	79.000	89.000	91.000	4,0
Colômbia	1.100	72.000	76.000	80.000	3,5
Madagascar	1.600	15.000	5.900	22.000	1,0
Filipinas	1.100	173.000	270.000	330.000	14,6
República Dominicana	970	-	21.700	24.000	1,1
Botswana	490	28.000	26.000	26.000	1,1
Outros países	19.200	99.000	212.000	260.000	11,5
Total	90.618	1.643.983	2.063.583	2.266.531	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) inclui reservas medidas em metal contido. Vide apêndice; (2) dado de produção de Ni contido no minério; (p) dado preliminar; (r) dado revisado.

Devido ao alto valor do níquel refinado e à expansão da produção de aço inoxidável, a China importou grandes volumes de minério em substituição ao níquel refinado. Em 2010, as importações de níquel refinado foram de 181,5 mil toneladas; as exportações totalizaram 53,2 mil toneladas.

A produção chinesa de aço inoxidável aumentou de 4,6 milhões de toneladas em 2005 para 8,8 milhões de toneladas em 2009. Em 2010, estima-se que a produção de aço inoxidável tenha atingido 10 milhões de toneladas. Na China, cerca de 70% do níquel é consumido pela indústria de aço inoxidável.

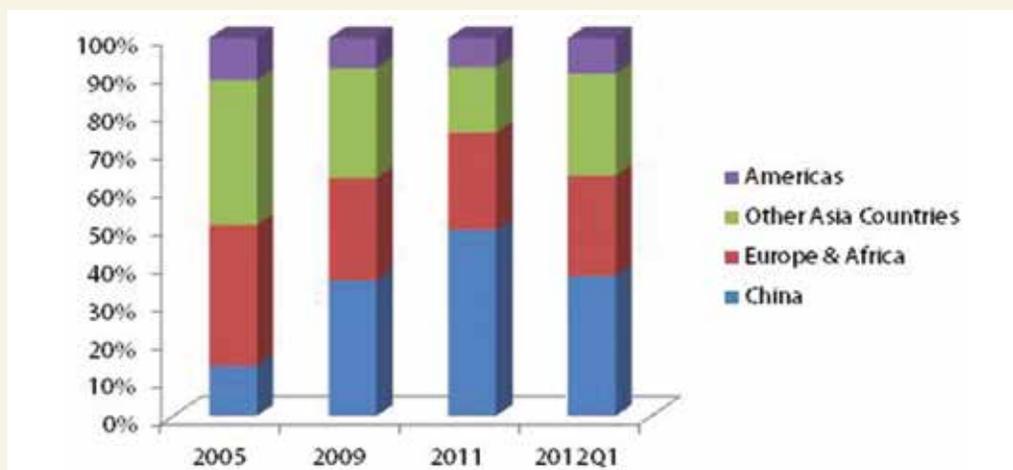
Em 2010, a China importou aproximadamente 24,5 milhões de toneladas de minério da Indonésia e Filipinas, o que representou cerca de 90% das importações. Admitindo-se que esse minério tenha um teor médio de níquel de 1,5%, cerca de 360 mil toneladas de níquel foram fornecidas para o mercado doméstico. Apesar de não ter um relatório confiável sobre a produção de barras de ferro gusa com níquel, analistas domésticos estimam que a quantidade de níquel em ferro gusa foi de 160 mil toneladas.

Na China, o ferro gusa com níquel é produzido em alto-forno e em forno a arco submerso. No alto-forno, o coque é usado como agente redutor, com o produto apresentando

elevados teores de fósforo e enxofre. Esse processo pode ser usado para minérios com alto teor de ferro e baixos teores de magnésio. Se o minério tiver 1,5% de níquel e 35% de ferro, o ferro gusa apresentará um teor de aproximadamente 4%. O coque também é usado como agente redutor em fornos a arco submersos, indicados para minérios com alto teor de magnésio e baixo teor de ferro. Nesse caso, o teor de níquel pode chegar a 20%.

A estagnação das empresas produtoras de aço inoxidável na América e na Europa fez com que essa indústria fosse transferida para outros países, especialmente para a China. Em 2011, a produção chinesa de aço inoxidável representou 49% do total mundial, conforme mostrado na Figura 4²⁴. A indústria de aço é mostrada em maior detalhe no Capítulo 4.

Figura 4 Produção de aço inoxidável na China e em outras regiões



Fonte: extraído do sítio <http://www.researchinchina.com/htmls/report/2012/6353.html>

2.1.12 Tântalo

O tântalo é um metal de transição raro, pesado, dúctil, muito duro, resistente à corrosão por ácidos e bom condutor de calor e eletricidade. É encontrado principalmente na tantalita, euxenita e outros minerais como a samarskita e a fergusonita. A tantalita é encontrada, na maioria das vezes, em composição com a columbita.

Em temperaturas abaixo de 150°C, o tântalo é quase completamente imune ao ataque químico. Somente é atacado pelo ácido fluorídrico ou mediante fusão alcalina. O elemento tem um ponto de fusão apenas menor que o do tungstênio e do rênio. O tântalo tem a maior capacitância por volume entre todas as substâncias. Seu principal uso é na produção de componentes eletrônicos, principalmente capacitores, que são

²⁴ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.researchinchina.com/htmls/report/2012/6353.html>

muito pequenos em relação a sua capacidade. Cerca de metade da produção mundial de tântalo destina-se à fabricação de capacitores. Os principais usos do tântalo incluem telefones, computadores pessoais e produtos eletrônicos automotivos.

Também é usado para produzir uma série de ligas que possuem altos pontos de fusão, alta resistência e boa ductilidade. O tântalo de carbono, um tipo de carbeto muito duro, é usado para produzir ferramentas de cortes, furadeiras e máquinas trefiladoras. Em superligas, é usado para produzir componentes de motores de jatos, equipamentos para processos químicos, peças de mísseis e reatores nucleares.

Por ser não irritante e imune à ação dos fluidos corporais, é usado em equipamentos e implantes cirúrgicos na medicina e odontologia. Seu óxido é usado para elevar o índice de refração de vidros especiais para lentes de câmera.

Segundo dados do DNPM (2013), em 2012, as reservas brasileiras de tântalo estão localizadas principalmente na Mina do Pitanga, localizada no município de Presidente Figueiredo (AM), de propriedade do grupo peruano MINSUR S.A. As reservas lavráveis nesta mina são de cerca 175 mil toneladas de minério (columbita-tantalita), com 35 mil toneladas de Ta₂O₅ contido, ocorrendo ainda criolita (Na₃AlF₆) e outros minerais portadores de lítio, ítrio, urânio, tório e zircônio, dentre outros.

Também existem ocorrências relacionadas à Província Pegmatítica de Borborema, situada na região Nordeste, destacando-se os estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará. Na Bahia, as ocorrências estão associadas a xistos e pegmatitos da Faixa de Dobramentos Araçuaí. No estado do Amazonas, podem ser citadas inúmeras ocorrências no Alto e Médio Rio Negro, situadas nos municípios de Barcelos e São Gabriel da Cocheira. Existem também ocorrências nos estados de Roraima, Rondônia, Amapá, Minas Gerais e Goiás.

O Brasil é o segundo principal produtor da substância, com 16,8% da produção mundial, atrás apenas de Moçambique, com 37% do total, tendo a produção mundial, em 2012, diminuído 2,9% em relação a 2011. No mercado mundial destacam-se também as produções de Congo (Kinshasa) e de Ruanda. Adicionalmente, o mercado é abastecido por materiais reciclados (20%-25%) e por minérios da Rússia, do sudeste da Ásia e pelo 'coltan' (columbita-tantalita) derivado de áreas de conflitos étnicos de países da África Central (Kivu, na RD Congo, militarmente ocupado por Ruanda e Uganda, desde 1998), denominado de 'tântalo de sangue' (*tantalum blood*), como analogia ao *diamond blood*, expressão que ficou conhecida com o aproveitamento ilegal em alguns países da África. A Tabela 10 mostra as reservas e a produção de tântalo no mundo, conforme DNPM (2013).

Tabela 10 Reservas e produção de tântalo

Discriminação	Reservas ⁽¹⁾ (t)		Produção ⁽²⁾ (t)	
	Países	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)
Brasil	35.419 ⁽³⁾	136	118	16,81
Moçambique	–	260	260	37,04
Congo (Kinshasa)	–	95	95	13,53
Ruanda	–	93	90	12,82
Etiópia	4.000	76	76	10,83
Nigéria	–	50	50	7,12
Burundi	–	13	13	1,85
Austrália	53.000	–	–	–
Canadá	4.000	–	–	–
Total	96.419	723	702	100

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) o total das reservas do *Mineral Commodity Summaries* (USGS, 2013) foi corrigido com a informação do DNPM, (2) produção em metal contido nas ligas de Ta; (3) reserva lavrável em metal contido somente das empresas em operação. Não inclui o valor das reservas aprovadas pelo DNPM de empresas que não estão em operação; (p) preliminar; (e) estimado; (r) revisado.

Nos Estados Unidos, o consumo aparente de tântalo foi estimado em menos da metade do consumido em 2011. As importações dos Estados Unidos tiveram origem nos seguintes países: concentrado de minério de tântalo – 54% da Austrália, 22% de Moçambique e 19% do Canadá; metal – 31% da China, 27% do Cazaquistão e 14% da Alemanha; resíduos e sucatas – 22% da Estônia, 14% da Rússia e 12% do México.

A China importa cerca de 80% das matérias-primas com tântalo para atender seu consumo. O processamento doméstico de tântalo é restringido, pois são grandes as incertezas de fornecimento de matérias-primas por parte de outros países.

Apesar disso, a China conta com a Ningxia Orient Tantalum Industry, que é um dos principais fabricantes de tântalo do mundo. A empresa estabeleceu uma relação de longo prazo com a Yichun Tantalum & Niobium Mine, a maior mina na China, e celebrou grandes acordos com mineradores na América do Sul e com fornecedores da África para suprir necessidades de curto prazo.

Estabeleceu-se como uma fundidora de tântalo, berilo e nióbio e como um centro de pesquisa, que pertencia à Beijing Non-ferrous Metals Research Institute, instituição nacional estratégica de alta tecnologia²⁵. Atualmente, é a maior base de produção de produtos de tântalo e nióbio na China, possuindo um Centro de Pesquisa em Nióbio e Tântalo.

25 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://en.otc.com.cn/NOUM.asp?classid=290>

As vendas realizadas pela empresa de pó de tântalo grau capacitor e de arame de tântalo representam 70% do mercado chinês. Esses materiais, além de ligas de nióbio, materiais e produtos para processamento, entre outros, têm sido exportados para os Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha, Japão e Coreia. Além disso, a companhia estabeleceu uma boa relação com os fabricantes de capacitores de tântalo.

2.1.13 Titânio

O titânio é um elemento metálico muito conhecido por sua excelente resistência à corrosão e por sua grande resistência mecânica. Possui baixa condutividade térmica e elétrica e é um metal leve, tendo 40% da densidade do aço. Quando puro, é bem dúctil e fácil de trabalhar. O alto ponto de fusão faz com que seja útil como um metal refratário. O titânio é 60% mais pesado que o alumínio, porém duas vezes mais resistente.

Mesmo não sendo encontrado livre na natureza, está em nono lugar em abundância na crosta terrestre e encontra-se presente na maioria das rochas ígneas e sedimentos derivados dessas rochas. É achado principalmente na ilmenita, leucoxena e rutilo. Também ocorre como óxidos de titânio em minas de ferro.

O titânio metálico é produzido comercialmente a partir da redução do tetracloreto de titânio com magnésio a 800°C em atmosfera de argônio. Em presença do ar reagiria com o nitrogênio e oxigênio. Este processo, desenvolvido por William Justin Kroll em 1946, é conhecido como “processo Kroll”. Desse modo, é obtido um produto poroso conhecido como esponja de titânio que, posteriormente, é purificado para a obtenção do produto comercial.

Na forma de metal e suas ligas, cerca de 60% do titânio é utilizado nas indústrias aeronáutica e aeroespacial. Na indústria naval, é empregado em equipamentos submarinos e de dessalinização de água do mar; na indústria aeronáutica, é usado na fabricação das pás da turbina dos turbofans, turbojatos e turbo-hélice; na indústria nuclear, é empregado na fabricação de recuperadores de calor; na indústria bélica, é sempre empregado na fabricação de mísseis e peças de artilharia; na indústria metalúrgica, é usado em ligas com cobre, alumínio, vanádio e níquel.

De acordo com o DNPM (2013), a produção mundial de concentrado de titânio (TiO_2) em 2012 foi de 7 milhões de toneladas, um aumento de 4,5% em relação a 2011, conforme mostrado na Tabela 11.

Tabela 11 Reservas e produção de ilmenita e rutilo

Discriminação	Reservas – 2012 ^(p)		Produção – 2012 ^(p)			
	Ilmenita	Rutilo	Ilmenita		Rutilo	
Países	(10 ³ t)	(10 ³ t)	(10 ³ t)	(%)	(10 ³ t)	(%)
Brasil	^(p)2.000	^(p) 41	69	1,1	2	0,2
África do Sul	63.000	8.300	1.030	16,6	131	15,9
Austrália	100.000	18.000	940	15,2	480	58,3
Canadá	31.000	–	700	11,3	–	–
China	200.000	–	700	11,3	–	–
Estados Unidos da América	⁽¹⁾ 2.000	⁽¹⁾	⁽²⁾ 300	⁽²⁾ 4,8	⁽²⁾	⁽²⁾
Índia	85.000	7.400	550	8,9	25	3,0
Madagascar	40.000	–	280	4,5	–	–
Moçambique	16.000	480	380	6,1	8	1
Noruega	37.000	–	350	5,6	–	–
Serra Leoa	–	3.800	–	–	100	12,2
Sri Lanka	–	–	60	1,0	–	–
Ucrânia	5.900	2.500	300	4,8	60	7,3
Vietnã	1.600	–	500	8,1	–	–
Outros países	26.500	479	41	0,7	17	2,1
Total	610.000	41.000	6.200	100,0%	823	100,0%

Fonte: DNPM/DIPLAM – AMB; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) EUA: as reservas de rutilo estão inseridas dentro dos dados das reservas de ilmenita; (2) EUA: a produção do rutilo está inserida dentro da produção de ilmenita; (p) dado preliminar; (-) dado não divulgado ou nulo. Dados de reserva lavrável e produção beneficiada em metal contido.

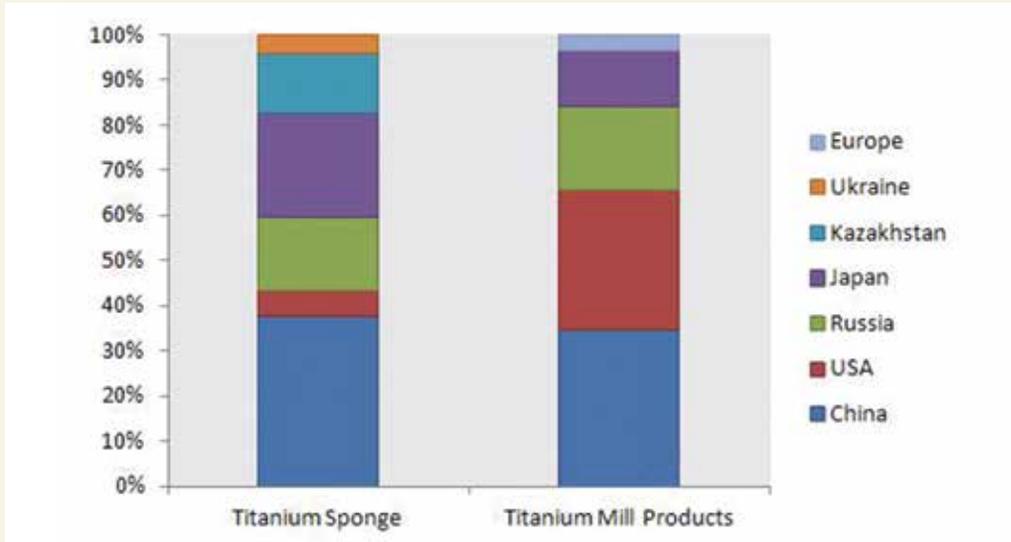
Cerca de 88% da produção mundial de titânio é obtida da ilmenita, mineral de titânio de ocorrência mais comum, enquanto que o restante vem do rutilo, mineral com maior teor, porém mais escasso. As reservas na forma de ilmenita e rutilo totalizam aproximadamente 651 milhões de toneladas, sendo mais de 60% das reservas localizadas na China, Austrália e Índia. As reservas lavráveis brasileiras de ilmenita e rutilo totalizam 2 milhões de toneladas e representam menos de 0,3% das reservas mundiais. Os maiores produtores mundiais de concentrado de titânio são Austrália, África do Sul, Canadá e China. O Brasil é o maior produtor da América Latina, com 1% da produção mundial de titânio em 2012.

A China é o maior produtor mundial de titânio²⁶. A produção chinesa de esponja de titânio atingiu 57,7 mil toneladas em 2010, o que representou 37,4% da produção mundial, conforme mostrado na Figura 5. A capacidade de produtos manufaturados atingiu 38,3 mil

26 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.researchinchina.com/htmls/report/2011/6237.html>

toneladas, cobrindo 34,3% do total mundial. Em termos de esponja de titânio, Estados Unidos, Europa e Coreia do Sul são os principais destinos das exportações chinesas.

Figura 5 Produção de esponja e de produtos manufaturados de titânio em 2010



Fonte: extraído do sítio <http://www.researchinchina.com/htmls/report/2011/6237.html>

Produtos de titânio manufaturados contam com grande capacidade instalada na China, mas as capacidades de produção de chapas finas e de tubos soldados estão longe de serem suficientes. No caso dos produtos finais para a indústria aeroespacial, a empresa Baoji Titanium é a única fornecedora do mercado chinês. Ela também é a única exportadora de produtos espaciais.

A Baoji Titanium, uma das líderes mundiais de ligas de titânio, tem cerca de 40% do mercado doméstico e acima de 95% do mercado militar. Restringidas pela capacidade e por questões tecnológicas, outras empresas, como a Western Metal Materials, Western Superconducting Technologies, Beijing Zhongbei Titanium and Baosteel Special Steel, são menos competitivas.

A empresa é avaliada e aprovada pelas maiores empresas aeroespaciais, como a Boeing, Goodrich, Airbus, Rolls Royce, Aubert & Duval, Snecma e Bombardier. Seus produtos podem ser fabricados e certificados de acordo com muitas normas, tais como ASTM, MAS, AME, JIS, ASME e também de acordo com exigências específicas.

2.1.14 Tungstênio

O tungstênio é um metal encontrado na natureza somente associado com outros elementos químicos. Os minérios mais importantes são a volframita e a scheelita. O elemento livre é notável pela sua robustez, especialmente pelo fato de possuir o mais alto ponto de fusão de todos os metais e o segundo mais alto entre todos os elementos, a seguir ao carbono. Também notável é a sua alta densidade, 19,3 vezes maior que a da água, comparável às do urânio e ouro, e mais alta que a do chumbo. O tungstênio, com pequenas quantidades de impurezas, é frequentemente frágil e duro, tornando-o difícil de trabalhar. Quando puro é mais dútil e pode ser cortado com uma serra de metais.

A forma elementar desse metal é usada, sobretudo, em aplicações eletrônicas. As ligas de tungstênio têm numerosas aplicações, destacando-se os filamentos de lâmpadas incandescentes, tubos de raios X e superligas. Sua dureza e elevada densidade tornam-no útil em aplicações militares como projéteis penetrantes. Os compostos de tungstênio são geralmente usados industrialmente como catalisadores.

Embora existam substitutos, o tungstênio é utilizado na fabricação de caixas pretas de avião, nas brocas das sondas de perfuração de petróleo em águas profundas, na indústria metalúrgica, em lâmpadas e até na esfera da caneta esferográfica.

O básico substrato de arame para semicondutores de alta temperatura é o níquel e o tungstênio. Os semicondutores de alta temperatura podem substituir os arames de cobre convencionais encontrados em enrolamentos de eletroímãs, motores e geradores elétricos. O W é paramagnético, entretanto resultados teóricos sugerem grande melhoria nas propriedades magnéticas quando adicionado ao ferro e cobalto.

De acordo com o DNPM (2013), em 2012, as reservas mundiais de tungstênio eram de 3,2 milhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 12. A China possui a maior parte desse recurso mineral com mais de 60% das reservas mundiais. Além disso, nesse ano, a China foi responsável por 84,9% da produção mundial de tungstênio, o que a coloca em uma situação similar à dos terras-raras.

Tabela 12 Reservas e produção de tungstênio

Discriminação	Reservas ^{1,2} (t)		Produção ¹ (t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Brasil	23.804	244	381	0,5
China	1.900.000	61.800	62.000	84,9
Rússia	250.000	3.500	3.500	4,8
Canadá	120.000	1.970	2.000	2,7
Bolívia	53.000	1.100	1.100	1,5

Discriminação	Reservas ^{1,2} (t)		Produção ¹ (t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Áustria	10.000	1.100	1.100	1,5
Portugal	4.200	820	820	1,1
Estados Unidos da América	140.000	nd	nd	nd
Outros países	698.996	2.566	2.099	2,9
Total	3.200.000	73.100	73.000	100

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) dado de reserva e produção em metal contido; (2) reserva lavrável (vide apêndice). (r) revisado; (p) preliminar; (nd) não disponível.

O Brasil possui menos de 1% das reservas mundiais desse minério. O estado do Rio Grande do Norte concentra a maior parte das reservas do país. Em 2012, as reservas lavráveis de scheelita nesse estado totalizaram 22,5 mil toneladas de tungstênio contido, com teores de WO_3 variáveis entre 0,11% e 0,89%. As reservas lavráveis de wolframita localizadas no estado do Pará somaram 1,3 mil toneladas de tungstênio contido, com teor de 0,63% de WO_3 . Todavia, sabe-se que as reservas nacionais são maiores e estão presentes em mais estados, como por exemplo: Paraíba, Rondônia, Santa Catarina e São Paulo.

A China, como maior produtor e consumidor mundial desse insumo, é o principal formador de preços no mercado internacional. Nos últimos anos, a elevação dos preços do metal decorrente da regulação da indústria de tungstênio pelo governo da China reduziu a oferta mundial do metal. Assim, muitas empresas de outras regiões têm trabalhado para desenvolver novos depósitos ou para reativar minas paralisadas.

2.1.15 Vanádio

O principal uso do vanádio é em ligas de alta resistência e como catalizador na produção de ácido sulfúrico. O vanádio pode ser obtido em diversos depósitos naturais, incluindo rochas fosfáticas, magnetita titanífera e areias uraníferas. Grande quantidade de vanádio também é encontrada na bauxita e em materiais carboníferos. Contudo, a maior parte da produção ocorre como subproduto ou coproduto de outros minérios.

O vanádio é predominantemente utilizado como aditivo para aumento da resistência do aço e de algumas formas de ferro²⁷. Aproximadamente 85% são usados na indústria de aços especiais. Outros 10% decorrem do uso como elemento de liga com titânio. Outros usos incluem a produção de catalisadores, ácido sulfúrico, cerâmica e vidros.

Também pode ser muito útil no avanço da tecnologia de baterias. Tanto as baterias de íons de lítio quanto as redox, para uso em redes de energia, beneficiam-se muito do

27 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.crosshairenergy.com/i/pdf/Vanadium-Making-Clean-Energy-a-Reality.pdf>

uso do vanádio. Como agente anticorrosivo, pode ser usado em um grande conjunto de materiais como superímãs de terras-raras. Esses novos desenvolvimentos em energia alternativa e tecnologia limpa poderão ter um grande impacto na demanda de vanádio ao longo das próximas décadas.

De acordo com o DNPM (2013), as reservas lavráveis brasileiras de vanádio, em metal contido, correspondem a 175 mil toneladas de V_2O_5 , conforme mostrado na Tabela 13, com teor médio de 1,34%. O município de Maracás, no estado da Bahia, concentra a principal reserva de vanádio no Brasil, o qual ocorre associado a ferro e titânio.

Tabela 13 Reservas e produção de vanádio

Discriminação	Reservas (10 ³ t)		Produção (t)	
	2012 ⁽¹⁾	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Países				
Brasil	175	–	–	–
África do Sul	3.500	22.000	22.000	34,99%
China	5.100	23.000	23.000	36,58%
Estados Unidos da América	45	590	270	0,43%
Rússia	5.000	15.200	16.000	25,45%
Outros países	...	1.600	1.600	2,54%
Total	13.820	62.390	62.870	100,0%

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) reserva lavrável. (vide apêndice); (r) dado revisado; (p) dado preliminar; (...) dado não disponível; (-) nulo. Até o ano-base 2008 foram utilizados os dados de reservas medidas + indicadas. A partir de 2009, os dados são das reservas lavráveis.

O Projeto Vanádio de Maracás possui vanádio com grau muito elevado e está posicionado para ser importante produtor mundial. A Largo Resources, empresa canadense, detém 100% do projeto e do financiamento e as licenças estão em vigor²⁸.

Essa empresa tem contrato de *take-or-pay off-take*²⁹ com Glencore International Plc. para 100% de seu material de vanádio por seis anos, que entra em vigor no início da produção, ocorrida em maio de 2014.

A produção média anual está estimada em 11,4 mil toneladas de óxido de vanádio, V_2O_5 , com vida útil da mina estimada em 29 anos. A Largo Resources almeja produzir 7,5% da oferta global de vanádio para fabricação de aço dentro de um ano. A mina vai ser explorada a partir de investimentos de R\$ 555 milhões, provenientes de uma combinação de capital levantado pela Largo Resources da *Toronto Venture Stock Exchange* e financiamento do Banco Nacional de Desenvolvimento Social – BNDES.

²⁸ Informação acessada, em 2 de junho de 2014, no sítio da internet <http://www.largoresources.com/Portuguese/projetos/maracas/default.aspx>.

²⁹ Contratos que exigem que o comprador exija pagamentos mínimos mesmo que o produto não possa ser entregue.

Há um enorme potencial para a expansão das reservas e das taxas de produção. A empresa espera expandir suas operações na Bahia e conquistar até 40% do mercado mundial de vanádio na próxima década.

Em 2012, as reservas mundiais, em termos de metal contido, corresponderam a 13,8 milhões de toneladas, sendo que as reservas brasileiras representaram 1,27% deste total. As maiores reservas no mundo, que estão sendo lavradas, localizam-se na China, Rússia e África do Sul. Em 2012, a produção mundial de minério, em que o vanádio ocorre como coproduto ou subproduto, atingiu 62,9 mil toneladas, um discreto crescimento de 0,77% em relação ao ano anterior. A África do Sul, China e Rússia abastecem o mercado mundial com 98,41% do total produzido. Não existe produção de vanádio no Brasil na forma de metal.

Em 2010, a China liderou a indústria de vanádio com uma parcela de 38,2% na produção mundial³⁰. A África do Sul ficou em segundo lugar, com parcela de 33,3%. Como o vanádio pode ser recuperado como subproduto ou coproduto, as reservas estimadas não são totalmente indicativas da oferta disponível³¹.

O uso final do vanádio condiciona sua produção: óxido de vanádio para aplicações químicas ou ferro-vanádio para aços. Um terço da oferta é obtido a partir de produto primário e a oferta restante é recuperada de cinza volante, proveniente da queima do carvão mineral, e do refino de petróleo, que são de cara extração.

Poucos grandes produtores controlam o mercado: Evraz, com operações na África do Sul por meio de sua subsidiária Highveld Steel and Vanadium; Xstrata, que opera a mina de vanádio de Rhovan na África do Sul; e a Panzhihua New Steel and Vanadium, que é parte da companhia Panzhihua Iron and Steel e opera na Província de Sichuan na China.

Na China, formou-se um polo industrial de vanádio que inclui dezessete empresas estatais e privadas. Uma grande variedade de produtos pode ser fornecida, tais como vanádio de escória, óxidos de vanádio, nitreto de vanádio, ferro-vanádio, o que torna Panzhihua a primeira base de produção na China e a segunda no mundo, com uma parcela de 74% na China e 18% no mercado mundial. Cerca de 945 prêmios por atividades em ciência e tecnologia nos setores de vanádio e titânio foram conquistados pela China. A Panzhihua New Steel and Vanadium é a terceira maior produtora mundial de trilhos para trens de alta velocidade³².

30 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.prweb.com/releases/2012/2/prweb9238155.htm>.

31 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.niplats.com.au/media/articles/Investor---Research/20110719-Ocean-Equities-Vanadium-Sector-Review---July-2011-261/Vanadium-Thematic-Ocean-Equities-Research-July-2011.pdf>

32 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://english.cctv.com/20100129/102608.shtml>

2.2 Minerais e óxidos de terras-raras

São denominados terras-raras o conjunto de dezessete elementos químicos da tabela periódica formado pelos quinze lantanídeos mais o escândio e o ítrio, que também são considerados terras-raras por ocorrerem normalmente nos mesmos depósitos minerais que os lantanídeos e exibirem propriedades químicas similares. O número atômico³³ dos lantanídeos varia de 57 (lantânio) a 71 (lutécio); o número atômico do escândio é 21 e o do ítrio 39.

Os lantanídeos podem ser classificados em:

- leves (57-60): lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr) e neodímio (Nd);
- médios (61-64): promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu) e gadolínio (Gd);
- pesados (65-71): térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu).

Os terras-raras também costumam ser classificados apenas em leves e pesados. Os leves seriam os elementos do lantânio (57) ao európio (63) e os pesados do gadolínio (64) ao lutécio (71), incluindo-se o ítrio.

Apesar de o ítrio ser mais leve que os lantanídeos, ele é normalmente incluído no grupo de pesados por causa de suas associações químicas e físicas com os elementos pesados em depósitos naturais. O escândio, por sua vez, nem sempre é classificado como terras-raras, talvez por seu menor potencial econômico.

Os terras-raras estão presentes em mais de duzentas e cinquenta substâncias minerais conhecidas. Entretanto, somente em algumas dessas substâncias ocorrem terras-raras em concentração suficiente para justificar seu aproveitamento.

As principais substâncias minerais que contêm terras-raras são monazita³⁴, bastnaesita³⁵, xenotima³⁶ (ou xenotímio) e argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica. Essas argilas, exploradas apenas na China, e a xenotima são as principais fontes de terras-raras pesados. A monazita e a bastnaesita são importantes fontes de terras-raras, principalmente leves.

Grandes depósitos de bastnaesita são encontrados na China e nos Estados Unidos. No Brasil, Austrália, Índia, África do Sul, Tailândia e Sri Lanka os elementos terras-raras ocorrem em monazita e em areias com outros minerais pesados. Também é importante destacar a ocorrência no Brasil de importantes concentrações de terras-raras na

33 Termo usado para designar o número de prótons encontrados no núcleo de um átomo.

34 Mineral fosfatado no qual predominam as terras-raras leves e com presença de tório.

35 Fluorcarbonato no qual as terras-raras leves predominam.

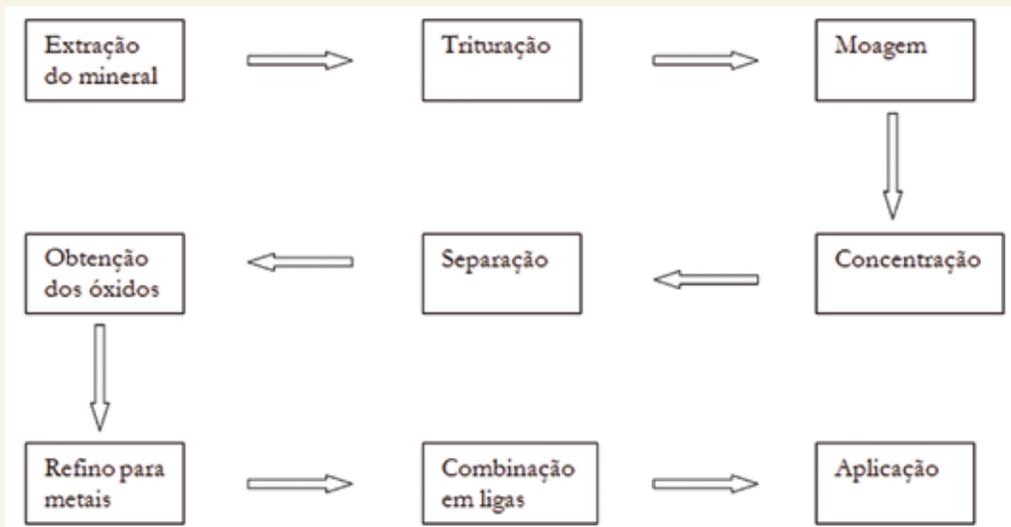
36 Fostato de ítrio com presença de terras-raras pesados.

monazita, encontrada tanto em depósitos do tipo *placer*³⁷ quanto em carbonatitos³⁸ e na xenotima.

A cadeia produtiva dos terras-raras pode ser decomposta em várias etapas. Inicialmente extrai-se o minério que contém esses elementos. Após extraído, o minério é beneficiado. Em seguida, obtém-se o minério concentrado que contém terras-raras, em geral, por um processo de flotação³⁹. Depois da concentração, ocorre a separação dos diferentes óxidos de terras-raras.

Posteriormente a esse processamento primário, os óxidos são refinados e convertidos em metais que depois são combinados com outros metais para se produzirem as ligas contendo terras-raras. Essas ligas são usadas em centenas de aplicações, principalmente na área de alta tecnologia. A Figura 6 ilustra a cadeia produtiva dos terras-raras.

Figura 6 Cadeia produtiva dos terras-raras



Fonte: elaboração do próprio autor.

Atualmente, os elementos terras-raras estão presentes em vários produtos comerciais como, por exemplo, carros; catalizadores para refino do petróleo; fósforos em telas de televisão, monitores e *laptops*; ímãs permanentes; baterias recarregáveis para veículos híbridos ou elétricos e diversos equipamentos médicos. Os ímãs permanentes contendo neodímio, gadolínio, disprósio e itérbio são usados em vários componentes elétricos e eletrônicos, e nos modernos geradores para turbinas eólicas. Na área de defesa, po-

37 Concentração mecânica superficial de partículas minerais provenientes de detritos de intemperismo.

38 Rochas ígneas ricas em minerais carbonáticos.

39 Processo para a separação dos componentes das misturas heterogêneas, com base nas massas específicas.

dem-se destacar as aplicações de terras-raras em caças, sistemas de controle de mísseis, defesa antimísseis e sistemas de comunicação e satélites.

É importante registrar o uso dos terras-raras em dois materiais para ímãs permanentes: samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB). Os ímãs NdFeB são considerados os ímãs permanentes mais fortes do mundo, essenciais para muitos armamentos militares. Já os ímãs SmCo retêm sua resistência magnética em elevadas temperaturas e são ideais para tecnologias militares como mísseis guiados de precisão, bombas inteligentes e aeronaves.

A Tabela 14 mostra os terras-raras mais usados e alguns exemplos de aplicação.

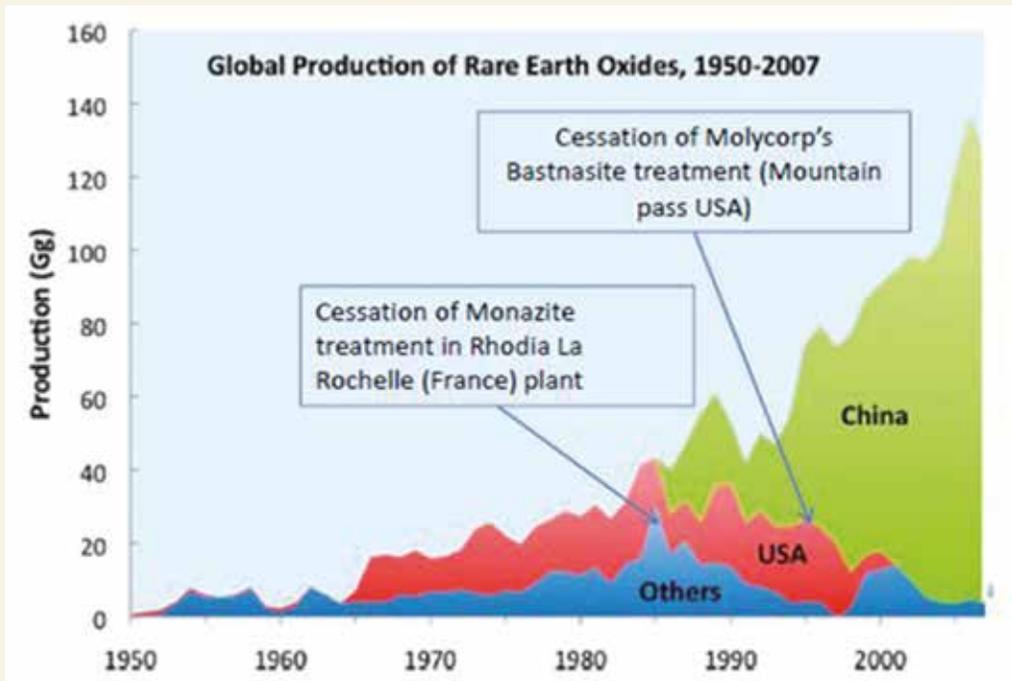
Tabela 14 Exemplos de aplicação de terras-raras.

Terras-raras leves	Aplicação	Terras-raras pesados	Aplicação
Lantânio	Motores híbridos, ligas metálicas	Térbio	Fósforos ímãs permanentes
Cério	Catalizadores para carro e para refino de petróleo, ligas metálicas	Disprósio	Ímãs permanentes motores híbridos
Praseodímio	Ímãs	Érbio	Fósforos
Neodímio	Catalizadores para carro e para refino de petróleo, discos rígidos para <i>laptops</i> , fones de ouvido, ímãs, motores híbridos	Hólmio	Corantes de vidro lasers
Samário	Ímãs	Túlio	Equipamentos médicos de raio X
Európio	Cor vermelha para televisão e telas de computadores	Lutécio	Catalizadores para refino de petróleo
		Itérbio	Lasers ligas de aço
		Gadolínio	Ímãs
		Ítrio	Cor vermelha lâmpadas fluorescentes cerâmicas agente de ligas metálicas

Fonte: Humphries, 2011.

O perfil da produção de óxidos de terras-raras passou por uma profunda transformação ao longo das últimas décadas. A Figura 7 mostra a evolução da produção de óxidos de terras-raras de 1950 a 2007. Conforme mostrado, houve um decréscimo da produção nos Estados Unidos e em outros países e um aumento da produção da China. Registre-se que os Estados Unidos já foram autossuficientes na produção de terras-raras, mas ao longo dos últimos anos o país tornou-se totalmente dependente de importações da China.

Figura 7 Evolução da produção de terras-raras desde 1950



Fonte: Hocquard, 2011.

Nos últimos quinze anos, o consumo de terras-raras aumentou cerca de três vezes e muitos novos produtos contendo esses elementos foram introduzidos no mercado. As atividades de pesquisa e desenvolvimento devem contribuir para a futura expansão do mercado de terras-raras, com crescimento de mercados antes marginais como, por exemplo, o de células solares e de supercondutores de alta temperatura.

Estima-se que no ano de 2011 o mercado global dos óxidos de terras-raras foi de 158 mil toneladas e que, em 2016, esse mercado deverá ser de aproximadamente 258 mil toneladas⁴⁰. O mercado de terras-raras pode ser dividido em seis segmentos, conforme mostrado na Tabela 15. O mercado do segmento energia deve crescer de 27 mil toneladas métricas em 2011 para 62 mil toneladas métricas em 2016.

Tabela 15 Mercado mundial de óxidos de terras-raras por segmento

Segmento	Mercado em 2011 (mil toneladas métricas)	Mercado previsto em 2016 (mil toneladas métricas)
Mecânico/metalúrgico	51	77

⁴⁰ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.electronics.ca/presscenter/articles/1607/1/GLOBAL-MARKET-FOR-RARE-EARTHS-TO-REACH-258-THOUSAND-METRIC-TONS-IN-2016/Page1.html>

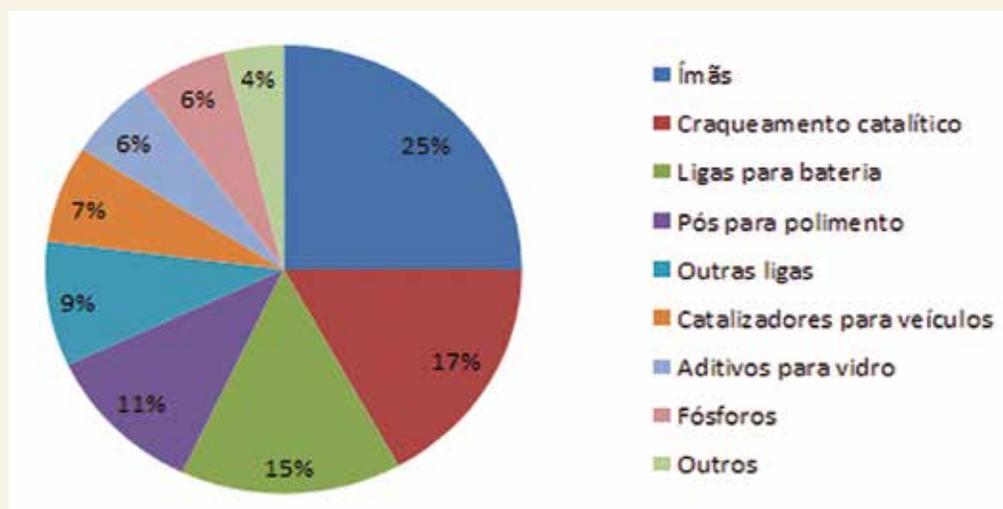
Segmento	Mercado em 2011 (mil toneladas métricas)	Mercado previsto em 2016 (mil toneladas métricas)
Cerâmica e vidro	39	60
Químico	24	32
Energia	27	62
Eletrônica/ótica	12	21
Outros	4	5
Total	158	258

Fonte: McKinsey, 2011.

Estima-se que o mercado mundial de terras-raras, em valor, tenha aumentado de US\$ 1 bilhão, em 2009, para cerca de US\$ 11 bilhões, em 2011 (McKinsey, 2011). Apesar desse crescimento, o mercado de terras-raras ainda é muito pequeno quando comparado com o do petróleo, de cerca de US\$ 3 trilhões, e com o do minério de ferro, de cerca de US\$ 2 trilhões.

A demanda de terras-raras por aplicação em 2010 é mostrada na Figura 8, destacando-se os ímãs de terras-raras, que representaram 25% da demanda.

Figura 8 Demanda por massa de terras-raras por aplicação em 2010



Fonte: Lynas, 2011.

Os preços da maioria dos terras-raras caíram para seus níveis mais baixos entre 2002 e 2003 antes de começarem a subir gradualmente até 2006. A taxa de aumento acelerou-se a partir desse ano, havendo um primeiro pico em 2008 e um grande pico de preços em 2011. A Tabela 16 mostra a evolução dos preços de alguns óxidos de terras-raras com

pureza mínima de 99% do ano de 2002 ao segundo quadrimestre de 2011⁴¹. A Figura 9 mostra graficamente os dados da Tabela 16.

Tabela 16 Evolução dos preços de alguns óxidos de terras-raras (pureza mínima de 99%)

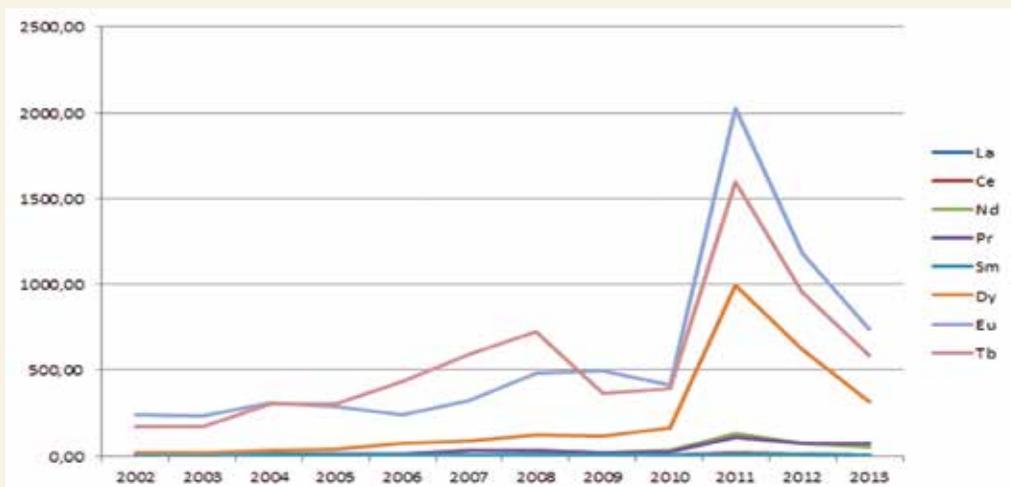
Ano	Preço (US\$ por quilograma)							
	La	Ce	Nd	Pr	Sm	Dy	Eu	Tb
2002	2,30	2,30	4,40	3,90	3,00	20,00	240,00	170,00
2003	1,50	1,70	4,40	4,20	2,70	14,60	235,40	170,00
2004	1,60	1,60	5,80	8,00	2,70	30,30	310,50	300,00
2005	1,50	1,40	6,10	7,60	2,60	36,40	286,20	300,00
2006	2,20	1,70	11,10	10,70	2,40	70,40	240,00	434,00
2007	3,40	3,00	30,20	29,10	3,60	89,10	323,90	590,40
2008	8,70	4,60	31,90	29,50	5,20	118,50	481,90	720,80
2009	4,90	3,90	19,10	18,00	3,40	115,70	492,90	361,70
2010	4,23	3,55	29,28	27,60	2,47	166,48	410,42	388,80
2011	16,26	19,58	132,06	104,60	11,85	994,33	2025,00	1596,82
2012	11,46	11,76	74,72	70,51	10,44	620,73	1178,34	949,04
2013	5,40	5,40	51,20	73,10	5,60	313,60	741,00	584,30

Fonte: Lynas, 2011.

Os óxidos de praseodímio e neodímio, que são terras-raras leves, apresentaram um aumento de preço superior a 600% entre 2002 e 2008. Os terras-raras pesados tornaram-se cada vez mais importantes e os preços dos óxidos de disprósio e térbio apresentaram grandes aumentos de 2002 a 2013.

41 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://www.lynascorp.com/page.asp?category_id=1&page_id=25

Figura 9 Evolução dos preços de alguns óxidos de 2002 ao segundo quadrimestre de 2011



Fonte: elaboração do próprio autor, com base nos dados da Tabela 16.

Os preços dos metais de terras-raras são mais altos que os preços de seus respectivos óxidos, conforme mostrado na Tabela 17. É importante ressaltar as grandes diferenças entre os preços dos diversos elementos terras-raras. Em 2011 o óxido de cério, por exemplo, foi comercializado por cerca de US\$ 19,58 por quilograma enquanto o óxido de európio foi comercializado por US\$ 1.596,82 por quilograma.

Tabela 17 Preços FOB na China no dia 16 de agosto de 2011

Terras-raras	Preço (US\$ por quilograma)	
	Óxido	Metal
Cério	14,9-15,1	16,8-17,0
Disprósio	258-260	340-342
Európio	586-588	660-662

Fonte: elaboração do próprio autor.

Os terras-raras pesados são geralmente mais caros que os leves em razão de sua menor abundância na maioria dos depósitos. Os custos de extração e os padrões de demanda também têm influência nos preços. Conforme mostrado na Figura 9, houve um pico de preços no ano de 2011. A partir desse ano, deu-se um recuo nas cotações dos terras-raras.

A Tabela 18 mostra a previsão de demanda e oferta por óxido de terra-rara em 2014 (BGS, 2011). Apesar de ser possível atender à demanda de alguns óxidos de terras-raras mais leves, algumas previsões indicam a possibilidade de haver escassez de alguns óxidos de terras-raras leves e de óxidos de terras-raras mais pesados, como disprósio e

térbio. É importante registrar que pode haver déficit também no suprimento de óxido de neodímio e de európio.

Tabela 18 Previsão de demanda e oferta em 2014 por óxido de terra-rara

Óxido de terra-rara	Demanda		Oferta		Superávit/ Déficit
	Toneladas	%	Toneladas	%	
Lantânio	51050	284	54092	265	3042
Cério	65750	365	79156	389	13406
Praseodímio	7950	44	9909	49	1959
Neodímio	34900	194	33665	165	-1235
Samário	1390	08	4596	23	3206
Európio	815	05	659	03	-156
Gadolínio	2300	13	3575	18	1275
Térbio	565	03	512	02	-53
Disprósio	2040	11	1830	09	-210
Érbio	940	05	1181	06	241
Ítrio	12100	67	12735	63	635
Ho Tm Yb Lu	200	01	1592	08	1392
Total	180000	100	203502	100	23502

Fonte: BGS, 2011.

De acordo com o DNPM (2013), em 2012, a China detinha cerca de 40,52% das reservas mundiais de terras-raras, seguida pelo Brasil (16,21%) e EUA (9,58%), conforme mostrado na Tabela 19. A China manteve sua liderança da produção mundial, com mais de 87% dos óxidos de terras-raras produzidos em 2012. Em 2011, esse país foi responsável por 95% da produção mundial e, atualmente, consome mais de 67% dessa produção, seguida pelo Japão, EUA e Alemanha. Embora haja muita pesquisa sobre o assunto, ainda não foram encontrados substitutos eficientes para os diversos usos dos elementos terras-raras.

Tabela 19 Reservas e produção de terras-raras

Discriminação	Reservas (10 ³ t)		Produção (t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Países				
Brasil	22.000⁽¹⁾	290	205⁽³⁾	0,2
China	55.000	105.000	95.000	86,9
Estados Unidos da América	13.000	-	7.000	6,4
Austrália	1.600	2.200	4.000	3,7

Discriminação	Reservas (10 ³ t)		Produção (t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Índia	3.100	2.800	2.800	2,6
Malásia	30	280	350	0,3
Outros Países	41.000 ⁽²⁾	nd	nd	nd
Total	135.730	110.570	109.355	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) Reserva lavrável em OTR (DNPM: RAL 2013 e Processos Minerários); (2) Inclusive Comunidades dos Estados Independentes (Rússia) e outras repúblicas da ex-União Soviética; (3) refere-se à produção de monazita no município de São Francisco do Itabapoana – RJ; (-) dado nulo; (nd) não disponível ou desconsiderado; (r) revisado; (p) dado preliminar.

No final de 2012, o DNPM aprovou novas reservas lavráveis, em duas áreas de Araxá, com 14,20 milhões de toneladas e 7,73 milhões de toneladas de óxidos de terras-raras contidos, com teores de 3,02% e 2,35%, e em uma área em Itapirapuã Paulista, com 97,96 mil toneladas de óxidos de terras-raras contidos, com teor de 4,89%. Assim, o Brasil passou a ser o segundo maior detentor mundial de reservas de elementos terras-raras, atrás apenas da China. As empresas que detêm essas reservas são: CBMM, Codemig e Vale Fertilizantes S.A. Outras reservas pertencem à Mineração Terras Raras, em processo de reavaliação; Indústrias Nucleares do Brasil e Vale S.A.

Outras reservas, ainda não aprovadas pelo DNPM, encontram-se na província mineral de Pitinga, em Presidente Figueiredo (AM), com 2 milhões de toneladas de xenotímio e teor de 1% de ítrio, e em Catalão (GO), onde a Vale é proprietária de um depósito com 32,8 milhões de toneladas de reservas lavráveis com teor médio de 8,4% de óxidos de terras-raras contidos, e teores de urânio e tório inferiores a 0,01% (Loureiro, 2011).

É importante destacar, ainda, que no rejeito da mineração do nióbio da CBMM, em Araxá, estão concentradas quantidades importantes de terras-raras, com grande potencial de aproveitamento. A empresa já dispõe de tecnologia para obtenção de sulfato de terras-raras. Além disso, a MBAC Fertilizantes, com áreas de pesquisa em Araxá, está desenvolvendo estudos de viabilidade econômica para produção de terras-raras em 2016. Nesse mesmo ano, está sendo anunciada a produção de terras-raras pelas empresas Vale e CBMM. A Serra Verde Mineração, do Grupo Mining Ventures Brasil, anunciou descoberta de depósitos importantes de terras-raras em Minaçu (GO).

No cenário internacional, destacam-se a expansão da produção de Mountain Pass; a entrada em produção de Mount Weld, com a separação dos elementos terras-raras na nova refinaria de Kuantan, Malásia, a partir de 2013; a continuidade dos trabalhos de pesquisa no carbonatito gigante de Tomtor, na Rússia, em Lofdal, na Namíbia e em diversos outros locais no Canadá e nos Estados Unidos.

Os dados e informações sobre terras-raras indicam que a posição dominante da China na mineração e concentração, na separação de minérios em óxidos, no refino de óxidos para obtenção de metais na conversão de metais em pós de ligas magnéticas e na fabricação de ímãs NdFeB não é obra do acaso. Um plano estratégico parece ter sido concebido e executado ao longo das últimas décadas. As atividades de pesquisa e desenvolvimento, e a política de proteção e agregação de valor parecem ser pontos importantes desse plano. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte dos países industrializados, especialmente do Japão e dos Estados Unidos.

2.2.1 Pesquisa e Desenvolvimento na China

A China realizou importantes trabalhos de pesquisa e desenvolvimento na área de terras-raras ao longo dos últimos cinquenta anos. Existem dois laboratórios estatais que se destacam nessa área: Laboratório de Aplicações e Química dos Materiais de Terras-Raras e Laboratório de Utilização de Recursos de Terras-Raras. O primeiro, afiliado à Universidade de Pequim, focou na área de técnicas de separação. O segundo é associado ao Instituto de Changchun de Química Aplicada.

Outros laboratórios na área de terras-raras incluem o Instituto Baotou de Pesquisa em Terras-Raras, que é a maior instituição de pesquisa em terras-raras do mundo e o Instituto de Pesquisa em Metais Não-Ferrosos. A visão de longo prazo e os investimentos trouxeram significativos resultados para a indústria de terras-raras da China.

Os depósitos de minério de ferro em Bayan Obo, na Mongólia Interior, contêm grandes quantidades de elementos terras-raras que são recuperados como subproduto ou coproduto da extração desse minério. Dessa forma, Bayan Obo tornou-se o centro da produção e das atividades de pesquisa e desenvolvimento. Registre-se, contudo, que elementos terras-raras são produzidos em outras províncias da China, tais como: Shandong, Jiangxi, Guangdong, Hunan, Guangxi, Fujian e Sichuan.

De 1978 a 1989, a produção anual chinesa aumentou 40%. De 1996 a 2006, a produção aumentou de 26 mil para 39 mil toneladas. As exportações aumentaram muito na década de 1990, provocando uma queda nos preços. Em 2007, a China tinha 130 fabricantes de ímãs NdFeB, com uma capacidade total de 80 mil toneladas (Humphries, 2011).

A indústria de terras-raras é fundamental para o pico de demanda doméstica de produtos eletrônicos como telefones, celulares, *laptops* e tecnologias de energia limpa. De acordo com Hurst (2010), a capacidade de geração eólica da China deve aumentar de 12 gigawatts, em 2009, para 100 gigawatts, em 2020. Nesse cenário, os ímãs NdFeB são essenciais. Cerca de 75% da produção de ímãs permanentes está concentrada na China.

2.2.2 Política de proteção na China

Com o objetivo de proteger seus recursos de terras-raras e promover o desenvolvimento dessa indústria na China, a Comissão de Planejamento do Desenvolvimento desse país emitiu um documento intitulado *Interim Provisions on the Administration of Foreign-Funded Rare Earth Industry*, que entrou em vigor em 1º de agosto de 2002.

Esse documento dispõe que é proibido o estabelecimento de empresas para mineração de terras-raras na China por investidores estrangeiros. Nas etapas de separação e fundição, permite-se a atuação dessas empresas somente por meio de *joint ventures* de participação ou de cooperação.

Os investidores estrangeiros são estimulados a investir em três setores da indústria de terras-raras: processamento intensivo, novos materiais e produtos aplicados.

2.2.3 Política de agregação de valor e de exportação na China

De acordo com Hurst (2010), a China quer expandir e integrar totalmente sua indústria de terras-raras, priorizando as exportações de materiais e produtos com valor agregado. O objetivo da China é construir uma indústria doméstica e atrair investidores estrangeiros para construir fábricas no país. Assim, as empresas terão acesso aos terras-raras e a outras matérias-primas, metais e ligas, além de terem posição privilegiada em relação ao emergente mercado chinês.

O Ministério da Terra e Recursos Naturais da China é responsável pelos planos de produção de terras-raras. Isso inclui o estabelecimento anual de cotas de produção e exportação, conforme mostrado na Tabela 20. Registre-se que, em 2012, a cota de exportação foi de 30,99 milhões de toneladas métricas.

Tabela 20 Cotas de produção, produção estimada e cotas de exportação da China

Ano	Cotas de produção (milhões de toneladas métricas)	Produção estimada (milhões de toneladas métricas)	Cotas de exportação (milhões de toneladas métricas)
2006	86,52	119,00	61,56
2007	87,02	120,00	60,17
2008	87,62	120,00	47,45
2009	82,32	129,00	50,15
2010	89,20	130,00	30,26
2011	93,80	118,90	30,25

Fonte: Tse, 2011.

A produção chinesa tem sido maior que as cotas estabelecidas pelo governo. Isso ocorre por causa da mineração ilegal, particularmente das argilas portadoras de terras-raras adsorvidos sob forma iônica, encontradas no sul da China. A cota de produção para 2011 foi de 93,80 mil toneladas métricas, o que representa um aumento de 5% em relação ao ano de 2010.

Além das cotas de produção, a China também estabeleceu cotas de exportação de terras-raras, definidas anualmente em duas fases e em cotas específicas para produtores e comercializadores domésticos e para *joint ventures*, que exportam sob regime de licença (Tse, 2011). Essas cotas são alocadas para cada empresa.

As cotas totais de exportação têm caído continuamente desde 2006, quando eram 61,56 mil toneladas métricas. Em 2010, a cota de exportação foi de 30,26 mil toneladas. Esse declínio ocorre, principalmente, em razão do aumento da demanda interna.

Apesar de a cota de exportação de 2011 de 30,25 mil toneladas parecer igual à de 2010, não se deve fazer uma comparação direta, pois pela primeira vez foram incluídas ligas de ferro-liga na cota de 2011. Segundo Burton (2011), isso representou uma redução de 20% na quantidade de metais e óxidos de terras-raras exportados.

A China também impôs tarifas de exportação sobre os terras-raras. Neodímio, ítrio, európio, térbio e escândio têm uma tarifa de exportação de 25%, enquanto os outros terras-raras estão sujeitos a uma tarifa de 15%. A tarifa de exportação sobre ligas de neodímio e ligas de disprósio é de 20% (Global Trade Alert, 2011).

Também é importante ressaltar, que, em 2007, a China retirou os créditos do imposto de valor agregado de 16% sobre as exportações de terras-raras “não desenvolvidos”, enquanto manteve os créditos para exportações de produtos de maior valor agregado, como ímãs e fósforos. A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE estima que, na compra de matérias-primas de terras-raras, essa decisão, combinada com as tarifas de exportação, resultou no pagamento pelos fabricantes de ímãs fora da China 31% maior que o doméstico (Korinek e Kim, 2010). Esse diferencial de preço estimula os fabricantes a se mudarem para a China e para outros países que também apoiem o desenvolvimento de cadeias produtivas em seus territórios. A Tabela 21 mostra as tarifas de exportação sobre terras-raras de 2007 a 2011.

Tabela 21 Tarifas de exportação sobre terras-raras

Mercadoria	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)
Óxido de ítrio	10	25	25	25	25
Óxido de lantânio	10	15	15	15	15

Mercadoria	2007 (%)	2008 (%)	2009 (%)	2010 (%)	2011 (%)
Óxido de cério hidróxido carbonato e outros	10	15	15	15	15
Praseodímio	ND	ND	ND	ND	ND
Óxido de neodímio	10	15	15	15	15
Európio e seus óxidos	10	25	25	25	25
Gadolínio	ND	ND	ND	ND	ND
Térbio e seus óxidos cloreto e carbonato	10	25	25	25	25
Óxido de disprósio cloreto e carbonato	10	25	25	25	25
Outros óxidos de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de cloreto e fluoreto de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de carbonatos de terras-raras	10	15	15	15	15
Misturas de metais e compostos de terras-raras ítrio e escândio (incluindo o grau bateria)	10	25	25	25	25
Carbonatos de terras-raras não misturados	10	15	15	15	15
Metais de minérios de terras-raras:					
Lantânio	ND	ND	ND	ND	25
Cério	ND	ND	ND	ND	25
Neodímio	10	15	15	15	15
Disprósio	ND	ND	ND	25	25
Outros metais misturados	ND	ND	ND	25	25

Fonte: Tse, 2011.

ND: não disponível

2.2.4 Dependência do Japão, Estados Unidos e União Europeia em relação à China

O Japão é grande importador de terras-raras da China. Suas importações representaram 56% das exportações chinesas no ano de 2011. As importações dos Estados Unidos representam 14% das exportações de terras-raras da China (Library of the European Parliament, 2013). O valor das importações de terras-raras da China pelos Estados Unidos subiu de US\$ 42 milhões, em 2005, para US\$ 129 milhões, em 2010, o que

representou um aumento de 207,1% (Humphries, 2011). Nesse mesmo período, a quantidade importada caiu de 24,2 mil toneladas métricas para 13,9 mil toneladas métricas, o que representou uma redução de 42,6%.

O governo japonês e o setor privado têm expressado preocupações com os controles das exportações que a China tem imposto em ferro-ligas que contêm disprósio e outros terras-raras pesados e com as cotas de mineração para a região sul, onde a maior parte dos terras-raras pesados são extraídos. Várias reuniões foram realizadas entre representantes dos dois países para discutir a questão (Humphries, 2011).

O acesso do Japão e Estados Unidos, e de outros países de alta tecnologia, aos terras-raras é vital para seus parques industriais, que produzem grande variedade de peças e produtos finais com a presença desses elementos.

Nesse contexto, em março de 2012, Estados Unidos, Japão e União Europeia – UE apresentaram junto à Organização Mundial do Comércio – OMC uma queixa contra as restrições impostas pela China à exportação de terras-raras⁴². A UE requereu um processo de arbitragem, informou o comissário europeu do comércio.

2.3 Minério de ferro

O ferro é um dos elementos mais abundantes na Terra. Do ponto de vista econômico, é o mais importante dos recursos minerais encontrados na crosta terrestre, pois é utilizado como insumo básico na siderurgia, setor industrial responsável pela produção da liga metálica mais usada pela humanidade, que é o aço.

De acordo com o DNPM (2013), as reservas mundiais de minério de ferro são da ordem de 170 bilhões de toneladas, conforme mostrado na Tabela 22. As reservas lavráveis brasileiras, com um teor médio de 50,3% de ferro, representam 11,7% das reservas mundiais. Os principais estados brasileiros detentores de reservas de minério de ferro são: Minas Gerais (70% das reservas e teor médio de 46,9%), Mato Grosso do Sul (15,3% e teor médio de 55,4%) e Pará (13,1% e teor médio de 64,8%). A produção mundial de minério de ferro em 2012 foi estimada em 3 bilhões de toneladas, com aumento de 2% em relação ao ano de 2011. Em 2012, a produção brasileira representou 11,4% da produção mundial.

42 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.dw.de/dw/article/0,,15806534,00.html>

Tabela 22 Reservas e produção de minério de ferro

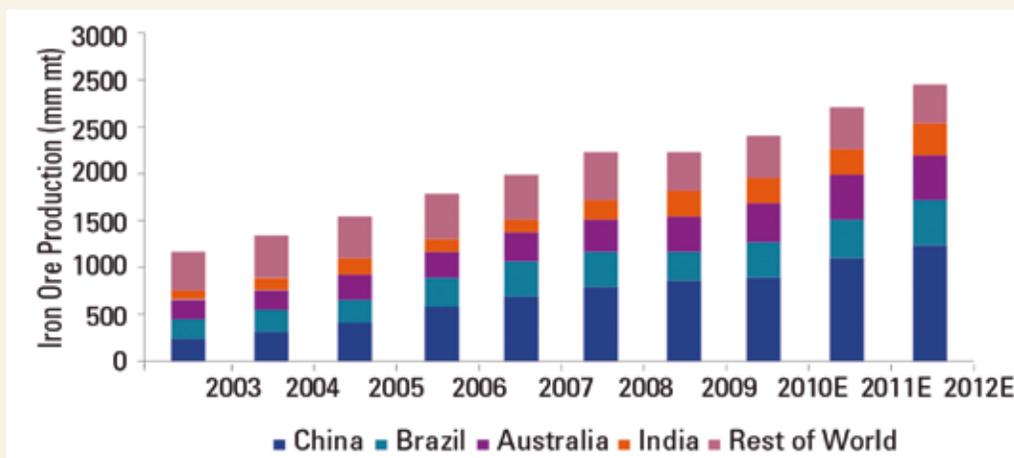
Discriminação	Reservas (10 ⁶ t)		Produção (10 ³ t)		
	Países	2012 (e)	2011 (e)	2012 (e)	%
Brasil (1)		19.948	398.131	400.822	13,4
China (2)		23.000	1.330.000	1.300.000	43,3
Austrália		35.000	488.000	525.000	17,5
Índia		7.000	240.000	245.000	8,2
Rússia		25.000	100.000	100.000	3,3
Ucrânia		6.500	81.000	81.000	2,7
Outros países		53.552	302.869	348.178	11,6
Total		170.000	2.940.000	3.000.000	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) reserva lavrável; (2) Estimativa de produção da China baseada em minério bruto; (e) dados estimados, exceto Brasil.

A Figura 10 mostra a evolução da produção de minério de ferro em vários países. Estimase que o tamanho do mercado desse minério seja superior a US\$ 2 trilhões.

Figura 10 Evolução da produção de minério de ferro em vários países



Fonte: KPMG, 2011.

2.3.1 O minério de ferro no Brasil

A produção brasileira de minério de ferro em 2012 atingiu 400,8 milhões de toneladas, com um teor médio de 64,4% de ferro. O valor da produção somou R\$ 55,4 bilhões, diminuindo 14,4% em comparação com o ano anterior, refletindo a queda dos preços de

minério de ferro no mercado internacional. Por estado, a produção ficou assim distribuída: Minas Gerais (69,2%), Pará (26,8%), Mato Grosso do Sul (2,2%) e Amapá (1,7%).

O pequeno aumento da produção de 0,7%, em relação a 2011, se deveu às fortes chuvas que atingiram a região Sudeste no primeiro trimestre, dificultando as atividades de mineração e logística e também às paradas para manutenção em algumas usinas da Vale S.A. As principais empresas produtoras foram: Vale, Samarco Mineração S.A., Companhia Siderúrgica Nacional, Nacional de Minérios S.A., Mineração Usiminas e Anglo Ferrous Amapá Mineração.

Essas seis empresas foram responsáveis por 88,8% da produção nacional. Por tipo de produto a produção se dividiu em: granulados (10,5%) e finos (89,5%), esses distribuídos em *sinterfeed* (61,7%) e *pelletfeed* (27,8%). A pelotização absorveu 56,7% da produção de minério do tipo *pelletfeed*. As empresas produtoras de pelotas no Brasil são a Vale, que opera o complexo de usinas de pelotização instalado no Porto de Tubarão, e a Samarco, que opera três usinas. Está em construção uma quarta usina, com capacidade de produção de 8 milhões de toneladas por ano.

Em 2012, a produção brasileira de pelotas diminuiu 5,4% em relação a 2011, totalizando 59,1 milhões de toneladas. A queda na produção foi provocada pelo baixo crescimento da indústria siderúrgica mundial, que obrigou a Vale a paralisar temporariamente algumas de suas usinas.

Em 2012 as exportações brasileiras de minério de ferro e pelotas somaram 326,5 milhões de toneladas, com um valor FOB de US\$ 31 bilhões. Em relação ao ano anterior houve um decréscimo de 1,3% na quantidade e de 25,9% no valor. Foram exportados 275,4 milhões de toneladas de minério, com um valor FOB de US\$ 23,8 bilhões, e 51,1 milhões de toneladas de pelotas, com um valor FOB de US\$ 7,2 bilhões.

Os principais países de destino das exportações brasileiras foram: China (50%), Japão (11%), Alemanha (4%), Coreia do Sul e Países Baixos (4% cada). Os preços médios FOB de exportação foram de US\$ 86,46 por tonelada de minério e US\$ 104,42 por tonelada de pelotas. Houve uma redução de 25,4% e 21%, respectivamente, em relação ao ano de 2011, atingindo os valores mais baixos desde 2009.

A queda nos preços foi provocada pela redução da taxa de crescimento da China, causada por medidas de política monetária para diminuir a inflação, além da reestruturação do setor siderúrgico, visando reduzir o excesso de capacidade instalada, e do setor da construção civil, para evitar uma bolha imobiliária.

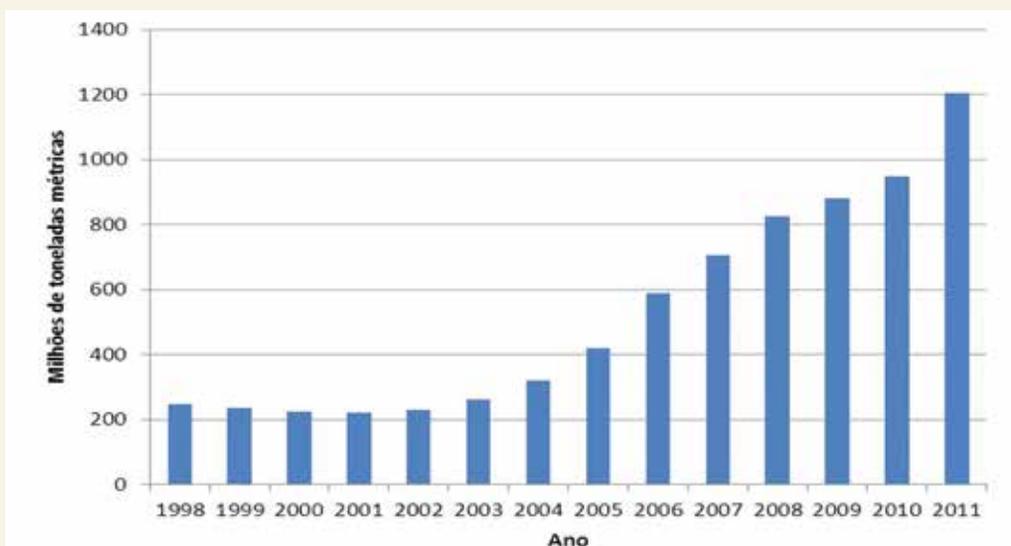
A China deve continuar sendo o principal destino das exportações brasileiras de minério de ferro. As previsões são de que a economia chinesa cresça a uma taxa média de

8% nos próximos anos e que o país precise importar cerca de 700 milhões de toneladas de minério de ferro por ano.

2.3.2 Dados gerais sobre a produção e consumo na China

Em 2011, a China foi o maior produtor mundial de minério de ferro bruto, sendo responsável por cerca de 37,5% da produção mundial. A Figura 11 mostra a evolução da produção nesse país.

Figura 11 Evolução da produção de minério de ferro na China



Fonte: elaboração do próprio autor.

Dentre as províncias, as maiores produtoras são Hebei (43,8%), Liaoning (15,4%) e Mongólia Interior (7,9%). Esses dados identificam a província de Hebei como a grande mineradora de ferro do país, produzindo quase a metade do total, e revelam uma relativa concentração da produção, já que a China possui 28 províncias e apenas três delas produzem 67,1% de todo o minério de ferro bruto explorado.

A Figura 11 mostra que a produção de minério de ferro na China cresceu muito a partir do ano 2002. Ressalte-se, no entanto, que o minério de ferro chinês apresenta baixo teor de ferro contido.

Estima-se que, em 2008, as pequenas minas eram responsáveis por 79% da produção. São minas privadas fortemente influenciadas pelo preço do minério de ferro. Os 21% restantes eram produzidos em minas de grande porte. Isso mostra a importância da pequena mineração no cenário produtivo da China e justifica os esforços do governo para regulamentar e controlar as atividades minerais.

Existe uma forte tendência de as grandes empresas assumirem o controle dessas pequenas minas, seguindo a política implementada pelo governo de proteção e aproveitamento adequado dos recursos minerais. Ainda é difícil saber, com exatidão, a produção de ferro contido das pequenas mineradoras.

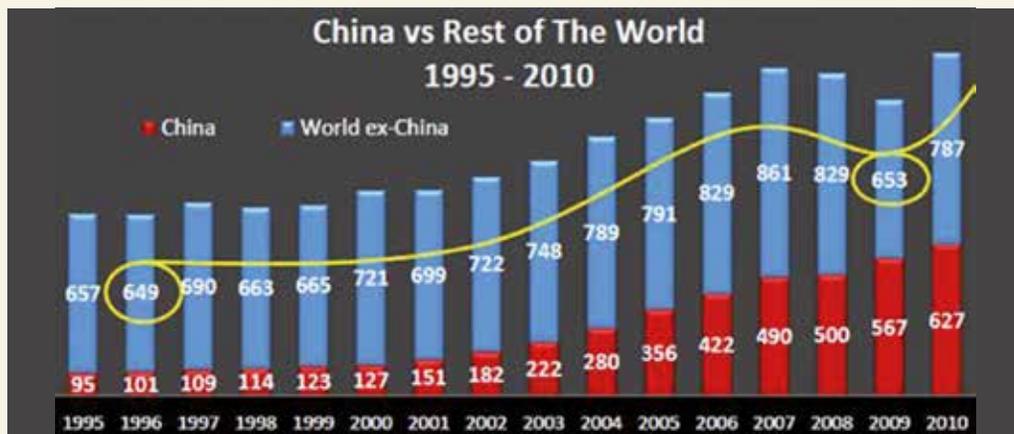
Em 2002, face ao crescimento da demanda doméstica, o governo chinês reduziu os impostos aplicados às empresas de mineração e siderurgia com processo verticalizado, ou seja, empresas que atuam nas fases de mineração, beneficiamento e siderurgia. Hoje, muitas mineradoras chinesas são também siderúrgicas, ou vice-versa, muitas siderúrgicas utilizam minério por elas explorado, poucas, porém, são autossuficientes.

Pode-se dividir as empresas chinesas do setor extrativo de minério de ferro em três grupos:

- empresas integradas: são aquelas com produção verticalizada, da mina à siderúrgica. Poucas destas minas produzem o suficiente para abastecer a siderurgia, fazendo-se necessária a importação de minério para blendagem. Algumas são autossuficientes, ou devido ao nível de produção elevado e qualidade aceitável do produto, ou por causa da distância dos portos, que torna antieconômica a compra de minério importado. Existem mineradoras que são subsidiárias das siderúrgicas;
- mineradoras independentes: são aquelas que apenas exploram e beneficiam o minério de ferro. Muitas dessas mineradoras abastecem siderúrgicas afastadas da costa. A distância dos portos por onde o minério importado entra no país faz com que seja mais econômico comprar minério doméstico, apesar da qualidade menor, que comprar e transportar minério importado. Geralmente são empresas estatais;
- pequenas e médias mineradoras: são empresas privadas de pequeno e médio porte, responsáveis pela maior parte da produção chinesa de minério de ferro. Um grande problema enfrentado pelo governo chinês é a mineração ilegal: existem pequenas minas de ferro produzindo de forma irregular, sem controle e sem tecnologia, fazendo com que os recursos não sejam aproveitados de forma adequada, além da falta de segurança, que resulta em graves acidentes, sendo que grande parte dessas minas são subterrâneas.

Apesar da grande produção doméstica, a China, como maior produtor de aço do mundo, é grande importadora de minério de ferro. Em 2010, o país representou quase 60% do total das importações globais de minério de ferro e produziu cerca de 60% do ferro-gusa mundial (USGS, 2011). Em 2011, a produção chinesa de aço bruto foi de 683 milhões de toneladas. A Figura 12 mostra a evolução da produção de aço na China e no mundo.

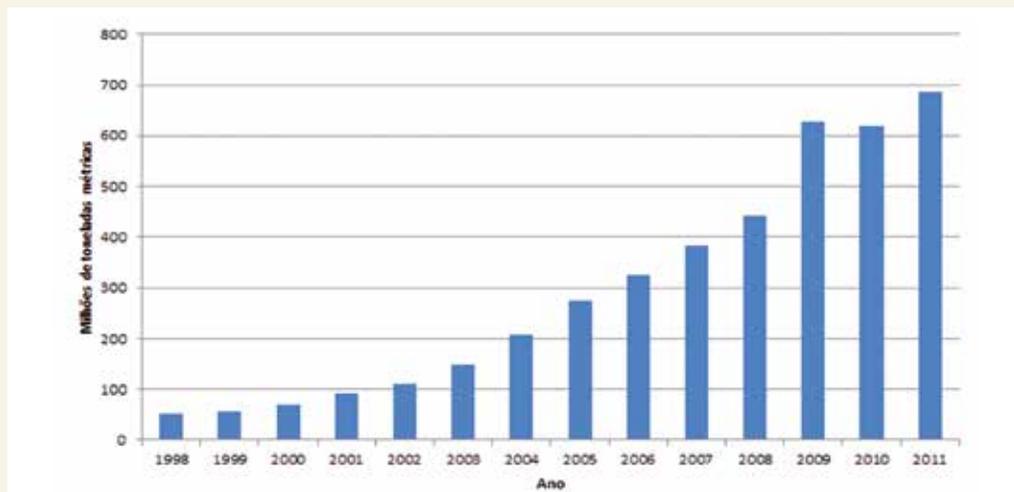
Figura 12 Evolução da produção de aço na China e no mundo



Fonte: Chim, 2011.

Estima-se que, atualmente, mais de 60% da demanda chinesa seja atendida por importação⁴³. A evolução da importação de minério de ferro pela China é mostrada abaixo na Figura 13.

Figura 13 Evolução das importações de minério de ferro pela China

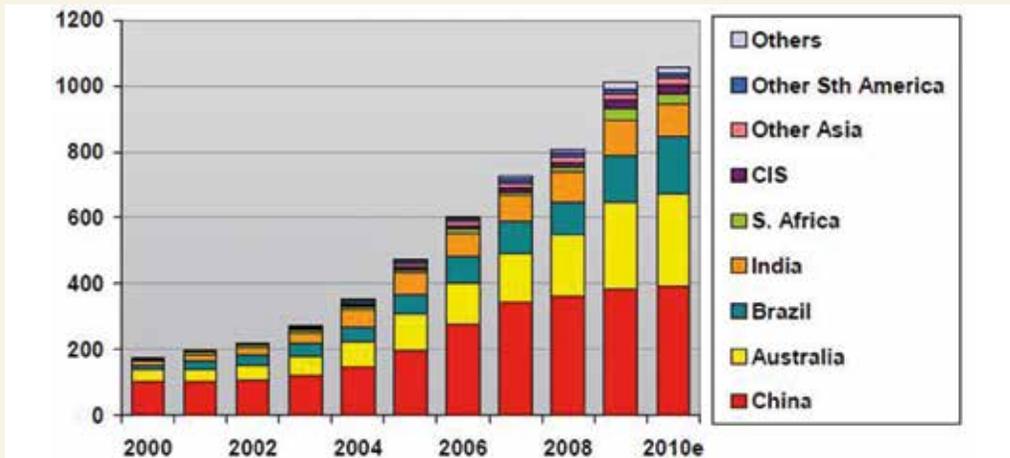


Fonte: elaboração do próprio autor.

A Figura 14 mostra o fornecimento doméstico de concentrado e as importações de minério de ferro pela China por origem. Mais de 40 países exportaram para a China em 2009. A Austrália foi a maior exportadora, seguida pelo Brasil e Índia.

43 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.valor.com.br/empresas/2609820/vale-mantem-confianca-no-crescimento-chines>

Figura 14 Produção doméstica de concentrado e origem do minério de ferro importado.

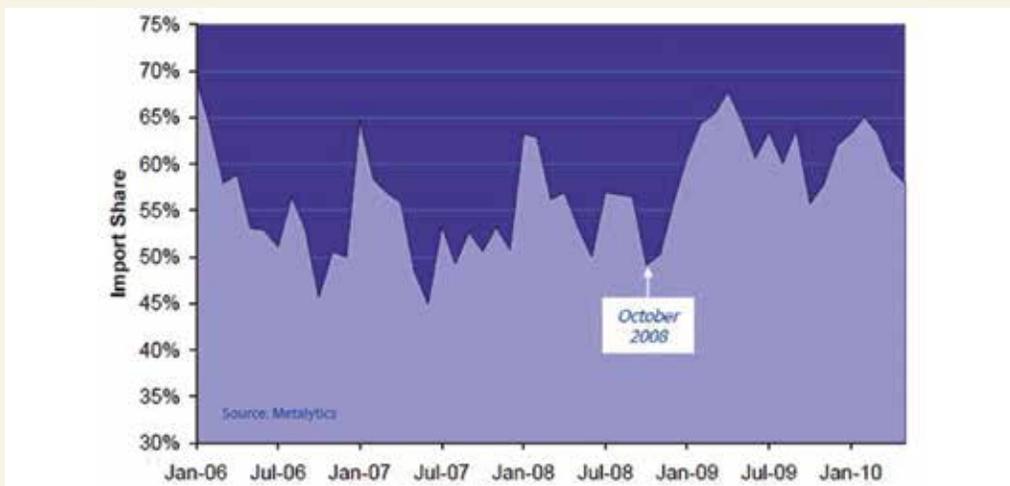


Fonte: Horadam, 2010.

Como se vê acima, o suprimento de minério de ferro importado pela China é muito concentrado em três países. Em 2011, Austrália, Brasil e Índia representaram 75% das importações chinesas de minério de ferro⁴⁴.

Quanto à participação de minérios importados e domésticos no mercado chinês, a Figura 15 mostra a parcela da importação na oferta de minério de ferro negociável na China.

Figura 15 Percentual da importação na oferta de minério de ferro na China



Fonte: Horadam, 2010.

⁴⁴ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.platts.com/RSSFeedDetailedNews/RSSFeed/Metals/6891656>

Por problemas operacionais, a China Iron & Steel Association – CISA vem exigindo das siderúrgicas que elas importem apenas o minério necessário ao processo, evitando estocagens nos portos, que não apenas prolonga o tempo de espera dos navios, mas também tem efeitos econômicos, como o aumento do frete. Historicamente, têm sido observadas importações acima da necessidade do setor siderúrgico, causando congestionamento dos portos.

2.3.3 Qualidade do minério de ferro chinês

O minério de ferro chinês é de baixo teor, possuindo de 30% a 35% de ferro em média. Segundo Xun (2006), as reservas da China estão distribuídas em 30 províncias, municipalidades e regiões autônomas, excluindo-se Taiwan, das quais Liaoning, Hebei e Sichuan são as principais detentoras de reservas. Os principais distritos mineradores são: Anshang Benxi (Província de Liaoning), Leste de Hebei, Panzhihua – Xichang (Província de Sichuan), Luliang – Wutai – Ningwu (Província de Shanxi), Bayan Obo (Mongólia Interior), Shangdong Central, Leste de Hubei e Hanxing. Conforme mostrado na Tabela 22, o país apresenta 13,5% das reservas mundiais.

Na China, ocorrem depósitos dos mais variados tipos quanto à gênese, qualidade, contaminantes, teor, etc. Na maioria dos depósitos, mais de 90%, segundo Xun (2006), o ferro está associado a outros metais, constituindo depósitos polimetálicos e poligênicos, sendo essa uma das mais importantes características do minério de ferro chinês. Em razão da baixa qualidade, a maioria das siderúrgicas importa minério para misturar ao minério doméstico.

2.3.4 Política de mineração e siderurgia na China

No ano de 2005, o governo chinês publicou um documento acerca da política de desenvolvimento da indústria siderúrgica do país. Esse documento estabeleceu as diretrizes tanto para a mineração quanto para a indústria do aço. Foi estabelecido que a siderurgia era fundamental para a economia, sendo um dos pilares da industrialização chinesa.

O documento afirmava que o nível tecnológico e a gestão de recursos, à época, não eram satisfatórios, sendo, portanto, necessária a atualização tecnológica e estrutural, com destaque para a exploração das minas. As principais diretrizes desse documento foram:

- apoio do Estado às siderúrgicas de grande porte com relação à exploração e exploração dos recursos minerais;
- proibição de explorações desordenadas e sem controle;
- intensificação da fiscalização pelos órgãos competentes;
- punição de infratores, caracterizada por cassação dos direitos minerários ou interrupção das atividades;

- obrigatoriedade de que todo projeto contemple o planejamento da mina, assim como planos relacionados à segurança e preservação do meio ambiente;
- desenvolvimento de novas tecnologias de beneficiamento para minérios de baixo teor;
- desenvolvimento de equipamentos e aperfeiçoamento dos processos existentes por meio de pesquisas desenvolvidas por empresas, universidades e centros tecnológicos, como, por exemplo: Wuhan University of Technology Development, Ganzhou Institute of Nonferrous Metallurgy, Anshan University of Science and Technology, Beijing University of Science and Technology, Ma-an Shan Institute of Mining Research, Baotou Application Design Research Institute, Changsha Research Institute of Mining and Metallurgy;
- reforço na cooperação entre empresas chinesas e mineradoras estrangeiras;
- estabelecimento de bases estáveis de fornecimento de minérios de ferro, cromo, manganês, níquel, sucata de aço e coque no exterior, por meio de investimento na aquisição de reservas minerais em outros países ou formação de *joint ventures*;
- coordenação do setor por meio da CISA, com objetivo de estabilizar o mercado interno e externo de matérias-primas;
- em caso de concorrência desleal entre empresas, o Estado pode adotar medidas administrativas, como unificar empresas ou escolher apenas uma para receber investimentos.

2.3.5 Pesquisa e produção de minério de ferro na China

O investimento em pesquisa e produção mineral na China nos últimos anos tem como consequência a descoberta de novas jazidas de minério, das quais algumas se revelam economicamente lavráveis. Com isso, o número de empresas envolvidas na indústria mineral do minério de ferro tem aumentado, chegando a 2.533.

A China possui cerca de 66 mil minas, considerando-se todas as substâncias exploradas, a grande maioria delas localizadas na região Leste do país, sendo a região Oeste ainda pouco explorada, mostrando-se como uma área de alto potencial para futuras descobertas. Apesar do grande potencial em termos de reservas minerais, a China passou a figurar dentre os maiores países mineradores a partir da década de 1990.

Um dos aspectos importantes da atividade mineral, inclusive da produção de minério de ferro, é a capacidade chinesa de produção de uma tecnologia própria, o que, sem dúvida, diferencia a China, cuja inovação abrange também a invenção de novos equipamentos de tratamento de minérios. Essa capacidade é importante para um país com

minérios de baixo teor, e de mineralizações complexas, muitas vezes com jazidas onde ocorrem reservas poliminerais.

2.3.6 Infraestrutura chinesa

Na China, cerca de 80% do minério de ferro explorado é transportado até as siderúrgicas por meio de ferrovias, sendo os 20% restantes transportados por rodovias ou hidrovias. O sistema rodoviário chinês está quase completo; a rede ferroviária, no entanto, ainda está em fase de construção. Assim, a China tem investido muito na construção e reforma de ferrovias.

De acordo com o Departamento de Desenvolvimento e Planejamento do Ministério das Ferrovias da China, 135 projetos estão em construção ou em fase de estudos de viabilidade e envolvem grandes investimentos. Até o ano de 2020, estima-se que a China deverá ter mais de 120 mil quilômetros de ferrovias em operação, cobrindo todas as cidades com população superior a 200 mil habitantes. Atualmente, conta com 91 mil quilômetros⁴⁵. Quanto ao transporte rodoviário e fluvial, possui 1,93 milhão de quilômetros de rodovias e 124 mil quilômetros de vias fluviais navegáveis.

Segundo informações da Embaixada da República Popular da China no Brasil, o investimento em ferrovias aumentou 37,5% entre janeiro e julho de 2008. Esse percentual decorre do rápido crescimento das linhas de alta velocidade e corresponde às expectativas de ligar as regiões necessitadas do país.

Observa-se uma boa relação entre a distribuição espacial das minas e a malha ferroviária chinesa. Porém, a capacidade de escoamento ainda não atende às necessidades de algumas regiões. Caso os planos de pesquisa geológica do oeste do país confirmem o potencial mineral dessa região, serão necessários grandes investimentos nessa região em razão da quase inexistência de ferrovias.

A construção da ferrovia ligando Golmud a Lhasa, a mais alta do mundo, pode ser um eixo de desenvolvimento da infraestrutura dessa região. Porém, as condições geográficas não favorecem este tipo de empreendimento. A construção dessa ferrovia tem enfrentado inúmeros problemas, como a grande altitude, falta de oxigênio, condições climáticas extremas, além da presença de vários rios no trajeto da ferrovia.

2.3.7 Previsões para o mercado chinês

Existem diferentes previsões para o futuro da mineração e do suprimento de minério de ferro na China. Fontes chinesas parecem acreditar que o país será capaz de aumentar a produção interna e reduzir sua dependência em relação ao minério de ferro importado. Já fontes externas tendem a ver de outra forma.

⁴⁵ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://pt.wikipedia.org/wiki/Anexo:Lista_de_pa%C3%ADses_por_dimens%C3%A3o_da_malha_ferovi%C3%A1ria

Segundo a CISA, as importações de minério de ferro deverão crescer, porém as taxas de importação poderão diminuir com o tempo. Segundo um de seus diretores, a longo prazo o minério importado deverá corresponder a 50% da demanda.

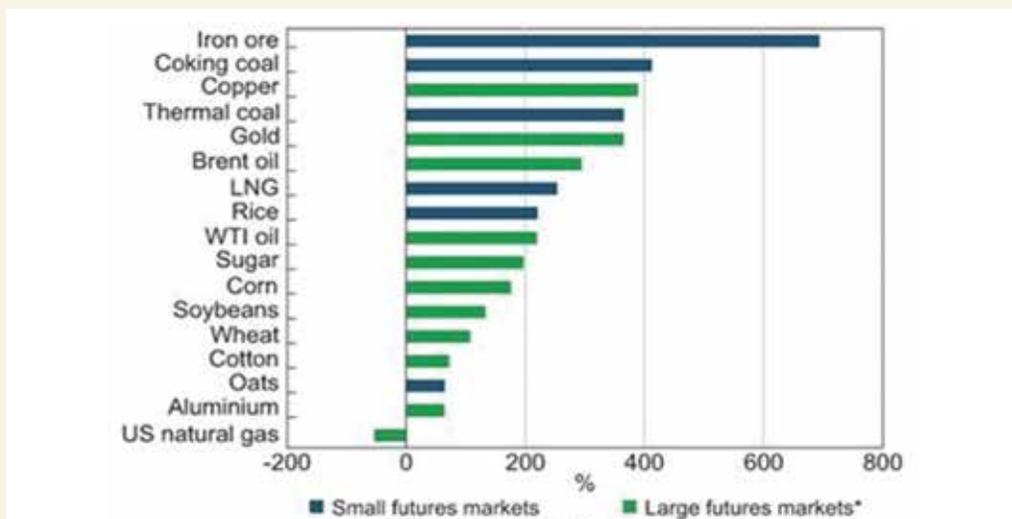
Segundo Toth (2005), existe uma tendência de substituição do minério de ferro doméstico pelo importado. Seu estudo analisa o potencial de expansão das minas domésticas e indica que elas não poderão suprir a demanda. Existe uma tendência de mudança de localização das siderúrgicas chinesas para a costa do país e para regiões ao longo do rio Yangtzé. Isso aumentaria a demanda por minério importado, devido à maior proximidade dos portos e maior distância em relação a muitas minas domésticas.

Limitações de vida útil de reservas, declínio do teor de ferro nas minas e aumento de custos, principalmente na lavra subterrânea, podem levar a uma diminuição da produção interna na China. A diminuição do teor de ferro já ocorre em todo o mundo nas minas em lavra há mais tempo, e, além disso, são cada vez mais raras descobertas de depósitos de alto teor. Como a China já lava minério de baixo teor, tal fator pode influenciar ainda mais a produção futura.

2.3.8 Preços

De 2003 a 2012, as *commodities*, em geral, apresentaram um grande aumento de preço⁴⁶. Nesse período, o minério de ferro foi a *commodity* que apresentou o maior aumento, conforme mostrado na Figura 16.

Figura 16 Aumento dos preços das *commodities* entre janeiro de 2003 e fevereiro de 2012

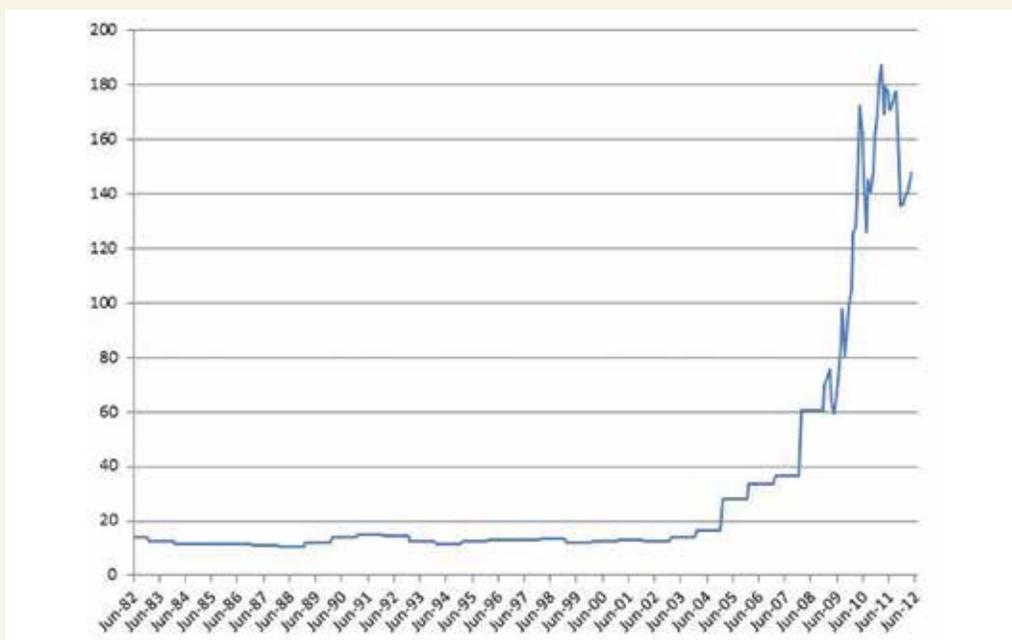


Fonte: extraído do sítio <http://tomjconley.blogspot.com.br/2012/06/should-western-australia-secede.html>

46 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://tomjconley.blogspot.com.br/2012/06/should-western-australia-secede.html>

A Figura 17 mostra a evolução dos preços do minério de ferro, em US\$ milhões por tonelada, desde junho de 1982 a 2004, quando o preço da tonelada permaneceu abaixo de US\$ 20. No entanto, a partir de 2005, verifica-se expressiva elevação do preço, em grande parte decorrente do crescimento do consumo chinês.

Figura 17 Evolução dos preços do minério de ferro (US\$/tonelada)



Fonte: extraído do sítio <http://tomjconley.blogspot.com.br/2012/06/should-western-australia-secede.html>

Para a empresa Vale S.A., o preço de referência do minério de ferro tem piso de US\$ 120 por tonelada⁴⁷. Segundo um executivo da empresa, a referência do preço é ditada por produtores da China. Em seminário sobre a crise internacional na sede da Federação das Indústrias do estado do Rio de Janeiro, o executivo afirmou: “Constatamos que sempre que o preço cai abaixo de US\$ 120, ele retorna, acima desse valor. Boa parte dos produtores chineses têm custo nessa faixa”. Ainda segundo o executivo da Vale, com o preço do minério entre US\$ 100 a US\$ 120 a tonelada, o negócio fica desvantajoso para os produtores chineses, que tendem a deixar o mercado, permitindo que os preços subam em seguida.

2.4 Minerais não-metálicos especiais

Neste trabalho, foram considerados especiais os minerais não-metálicos grafita, quartzo e telúrio.

⁴⁷ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://economia.estadao.com.br/noticias/negocios+geral,para-vale-minerio-de-ferro-tem-piso-de-us-120,117797,0.htm>

A grafita foi considerada um mineral especial por sua relação com o grafeno, que poderá ser a chave para a produção de transístores de apenas 0,01 micrômetro, indo além do limite teórico de 0,02 micrômetros, onde os transístores possuiriam apenas dois ou três átomos de espessura e poucas dezenas de átomos de comprimento, aproximando-se dos limites físicos da matéria. Recentemente, empresas de semicondutores realizaram testes a fim de substituir o silício pelo grafeno, devido à sua altíssima eficiência em comparação ao silício.

Na natureza, o silício só ocorre combinado, sendo encontrado em praticamente todas as rochas, areias, argilas e solos. Entre seus compostos naturais, alguns dos mais importantes são o quartzo, os feldspatos e as micas. O quartzo foi considerado especial por ser a principal matéria-prima bruta para a produção de lâminas de silício purificado para a produção de painéis solares.

Já o telúrio, um subproduto da indústria do cobre, foi considerado especial por sua utilização na produção de células de telureto de cádmio. Os baixos custos de produção em grande escala, quando comparados com as células de silício, são um atrativo, assim como a maior eficiência na conversão da energia solar em elétrica em comparação com os filmes finos de silício amorfo.

2.4.1 Grafita

A grafita representa uma das formas alotrópicas do carbono encontradas na natureza, juntamente com o carvão e o diamante. A grafita pode ser natural ou sintética. A natural é de origem metamórfica, normalmente encontrada em xistos, gnaisses e filitos, como veios, lentes, bolsões ou disseminações, e pode ser encontrada em mais de uma forma na natureza: a microcristalina, conhecida comercialmente como “grafite amorfo”; a forma cristalina, conhecida como grafite cristalino tipo “flocos” ou *flake*, e a grafite de veio ou *lump*. A grafita sintética é produzida industrialmente a partir de materiais como o coque de petróleo e o carvão mineral, em processos que exigem alta temperatura e pressão.

A grafita é utilizada em diversas aplicações industriais como, por exemplo, na produção de tijolos e peças refratárias, catodo de baterias alcalinas, aditivo na recarburização do ferro e do aço, lubrificantes sólidos ou à base de óleo e água, escovas de motores elétricos, lápis e lapiseiras, gaxetas de vedação etc. Ao contrário do diamante, a grafita é condutora de eletricidade, podendo ser usada, por exemplo, como eletrodo de uma lâmpada elétrica. Novas aplicações como dissipadores de calor em computadores, baterias de íons de lítio, células a combustível e centrais solares poderão gerar grande consumo de grafita.

As reservas mundiais de grafita são relativamente pouco detalhadas, mas, de acordo com o DNPM (2013), a produção mundial de grafita natural em 2012 foi de 1,1 milhão

de toneladas, conforme mostrado na Tabela 23. Desse total, 55% foram do tipo floco e 44% do tipo amorfo.

Tabela 23 Reservas e produção de grafita natural

Discriminação	Reserva (10 ³ t)		Produção (10 ³ t)	
	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Países	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Brasil ⁽¹⁾	39.805	105	88	8,0
China	55.000	800	750	68,2
Índia	11.000	140	150	13,6
Coreia do Norte	nd	30	30	2,7
Canadá	nd	25	26	2,4
Rússia	nd	14	14	1,3
Turquia	nd	10	10	0,9
México	3.100	7	8	0,7
Sri Lanka	nd	8	4	0,4
Outros países	940	11	20	1,8
Total	109.845	1.150	1.100	100

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) Reservas lavráveis; (r) revisado; (p) preliminar; (nd) dado não disponível.

A China foi responsável por 68,2% da produção total mundial, seguida pela Índia, Brasil, Coreia do Norte e Canadá. Em escala menor, a grafita foi produzida nos seguintes países: Rússia, Turquia, México, Noruega, Romênia, Ucrânia, Madagascar e Sri Lanka. O Brasil permaneceu em 3º lugar, entre os principais produtores mundiais de grafita; na América do Sul é a principal fonte de grafita com grandes reservas e infraestrutura para permitir o crescimento da produção. As reservas brasileiras estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Ceará e Bahia.

A China conta com cerca de 400 minas de grafita⁴⁸. O país está investindo muito nas aplicações e na sua própria indústria e processamento. As últimas tecnologias em grafita e grafeno e suas aplicações estão recebendo especial atenção. A maior parte da grafita chinesa é produzida na província de Heilongjiang, cujas minas ficam fechadas de novembro a março, por causa do frio.

A maior parte da grafita chinesa é exportada, principalmente para fabricantes japoneses. Para estimular a construção de plantas na própria China, o governo estabeleceu uma

48 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.graphiteblog.com/2012/06/china-spending-big-to-enter-downstream-graphite-sector.html>

alíquota de exportação de 20% e está investindo US\$ 1,6 bilhão na região de Jixi City. Essas plantas irão produzir grafita sintética e produtos especiais de grafita.

2.4.2 Quartzo

O quartzo é o mais abundante mineral da Terra. Alguns autores consideram mais abundantes os feldspatos, que, no entanto, constituem um grupo formado de várias espécies. O quartzo tem uma estrutura cristalina composta por tetraedros de dióxido de silício. Ocorre geralmente em pegmatitos graníticos e veios hidrotermais. Cristais bem desenvolvidos podem atingir vários metros de extensão e pesar centenas de quilogramas. Pode também ter origem metamórfica ou sedimentar. Geralmente está associado aos feldspatos e micas. É constituinte essencial de granito, arenito, quartzitos por exemplo.

O quartzo pode ser usado em moldes de fundição, vidro, esmalte, saponáceos, dentífricos, abrasivos, lixas, fibras ópticas, refratários, cerâmica, produtos eletrônicos, relógios, indústria de ornamento, instrumentos ópticos e de vasilhas químicas. Alguns cristais de quartzo são piezoelétricos e podem ser usados como osciladores em aparelhos eletrônicos, tais como relógios e rádios. Dos diversos semicondutores utilizados para a produção de células fotovoltaicas, destacam-se o silício cristalino, o silício policristalino, o silício amorfo hidrogenado, o telureto de cádmio e os compostos relacionados com o cobre, índio e selênio.

O cristal de quartzo, além de ocorrer na natureza, pode ser produzido por crescimento hidrotérmico na indústria de quartzo cultivado (*cultured quartz*). Desde os anos 1930 até o final da década de 1970, o Brasil destacava-se como fornecedor do quartzo natural. No entanto, o quartzo natural passou a ser substituído pelo quartzo cultivado, que começou a obter ampla aceitação na maioria das aplicações. Os fabricantes nacionais de cristais osciladores e filtros de cristal continuam importando as barras de cristais cultivados. Os principais setores de utilização dos cristais osciladores e filtros de quartzo são as indústrias de relógios eletrônicos, jogos eletrônicos, automóveis, equipamentos de telecomunicações, computadores e equipamentos médicos.

As reservas mundiais de grandes cristais naturais ocorrem quase exclusivamente no Brasil e, em quantidades menores, em Madagascar, Namíbia, China, África do Sul, Canadá e Venezuela. O Brasil é o único produtor de blocos de quartzo natural com propriedades piezoelétricas, especialmente nos estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia, que são usados, principalmente, na produção de ligas de silício para a indústria metalúrgica e para uma pequena produção de silício metálico.

A produção de cristais de quartzo na China, com significativo impacto no mercado e na tecnologia, está transformando essa indústria nos Estados Unidos e Europa⁴⁹. É possível que grandes produtores do Japão e da Coreia mantenham sua produção por meio da liderança tecnológica. No entanto, a fatia de mercado desses países poderá ser reduzida pelos fabricantes chineses, que estão sendo encorajados a formar *joint ventures* com companhias estrangeiras e a desenvolver pesquisas junto com universidades. O governo chinês tem garantido subsídios para o desenvolvimento de produtos inovadores e de qualidade.

2.4.3 Telúrio

O telúrio é considerado um semimetal. À temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido e é raramente encontrado na forma nativa. Frequentemente, é encontrado na forma de telureto de ouro (calaverita) ou, em pequena quantidade, combinado com outros metais, constituindo os minerais altaíta, coloradoíta, ricardíta, pedzíta, silvaníta e tetradímíta. A principal fonte comercial de telúrio é a lama anódica obtida a partir da refinação eletrolítica do cobre.

O suprimento de telúrio é limitado pelas baixas concentrações encontradas no minério, geralmente de cobre, por limitações na capacidade de refino e pela dinâmica do mercado do produto principal. Um valor típico de produção é de 2,5 kg de telúrio por 500 toneladas de cobre processado.

A maior parte do telúrio é usada em ligas com outros metais. É adicionado ao chumbo para aumentar a sua resistência mecânica, durabilidade e diminuir a ação corrosiva do ácido sulfúrico. Quando adicionado ao aço inoxidável e cobre, torna esses materiais mais facilmente usináveis. Outros usos incluem ligas com ferro para molde, cerâmicas, adição à borracha e pigmentação azul de vidro. O telúrio é utilizado na camada refletora de discos compactos, sob a forma de uma liga com a prata, o estanho e o índio. O telureto de bismuto apresenta uso em dispositivos termoeletrônicos.

O telúrio apresenta potenciais aplicações em células fotovoltaicas de filme fino que consomem telureto de cádmio. Apesar do aumento da eficiência na geração de energia elétrica a partir da energia solar, ainda não houve um aumento significativo na demanda de telúrio, pois as células convencionais de silício cristalino continuam sendo as mais utilizadas, respondendo por cerca de 90% do mercado global. Ressalte-se, contudo, que a fatia de mercado das células de filme fino deve crescer, pois os filmes finos requerem menos material, podem ser fabricados em rolos contínuos e podem ser depositados em substratos flexíveis.

⁴⁹ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=5977764&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fexpls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D5977764

Austrália, Bélgica, China, Alemanha, Cazaquistão, Filipinas, Rússia e Reino Unido detêm cerca de 73% das reservas globais de telúrio no minério de cobre. O refino a partir do cobre está bem distribuído pelo mundo, com Japão, Canadá, Estados Unidos e China sendo os principais refinadores. Estima-se que, em 2010, foram produzidas 630 toneladas de telúrio.

Na China, a empresa Sichuan Xinlong Tellurium Industry & Technique Development é a primeira empresa especializada em recursos minerais e novos materiais no oeste do país. A companhia conta com onze minas, incluindo a primeira exclusiva de telúrio no mundo, e pode assumir dois projetos nacionais de alta tecnologia: telúrio purificado e liga de telúrio-cobre de fácil corte.

2.5 Agrominerais

Nitrogênio, fósforo e potássio são os principais elementos envolvidos no processo do crescimento de um vegetal. Estes são os macroconstituintes dos vegetais e devem ser incorporados, periodicamente, ao solo na forma de adubos. Dentre esses três macronutrientes, apenas os compostos nitrogenados são produzidos industrialmente. Os demais são minerais.

O fosfato é um composto químico formado por fósforo e oxigênio. O fósforo é uma substância mineral finita e insubstituível, cujas reservas conhecidas e de exploração economicamente viável podem se esgotar num prazo de 60 a 100 anos, se for mantido o ritmo atual de crescimento do consumo mundial. Atualmente, a humanidade é muito dependente do fósforo na agricultura e na produção de biocombustíveis⁵⁰.

Já o cloreto de potássio e o nitrato de potássio são considerados fertilizantes essenciais para a humanidade. Além disso, o potássio é um metal empregado na produção de células fotovoltaicas.

2.5.1 Fosfato

Fósforo é um elemento químico, cujo nome é usado para inúmeras combinações distintas de fosfatos, formando parte de numerosos minerais. A apatita, por exemplo, é uma importante fonte de fósforo. Na forma de fosfatos, o fósforo é encontrado em jazidas que ocorrem por todo o mundo. Está contido em rochas de depósitos sedimentares, ígneos e biogénicos. Os depósitos sedimentares e os depósitos de origem ígnea são os mais importantes do ponto de vista econômico.

⁵⁰ Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://revistaforum.com.br/blog/2011/10/agricultura-diante-da-grave-escassez-de-fosfato/>

Em 2010, o International Fertilizer Development Center realizou um estudo de reavaliação das reservas e recursos mundiais de fosfato. Nesse estudo, concluiu-se que as reservas de fosfato são muito maiores do que se estimava. As reservas do Marrocos e do Saara Ocidental foram aumentadas de 5,7 bilhões de toneladas para 50 bilhões (DNPM, 2011).

Dados preliminares do USGS apontam que a produção mundial de fosfato no ano de 2012 foi de 208 milhões de toneladas, superando tanto a produção de 2011 como a de todos os anos anteriores, conforme mostra na Tabela 24 (DNPM, 2013). O maior produtor mundial foi a China, com 42,8% do total, seguida, em menor escala, por Estados Unidos, Marrocos, Rússia e Brasil. Esses países, juntamente com a Índia e a União Europeia, são responsáveis por 70% do consumo mundial de fertilizantes.

Tabela 24 Reservas e produção de fosfato

Discriminação	Reservas (10 ³ t P ₂ O ₅)		Produção (10 ³ t)	
	2012 ^(p) (1)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	%
Brasil ⁽²⁾	270.000	6.738	6.740	3,2
China	3.700.000	81.000	89.000	42,8
Estados Unidos da América	1.400.000	28.100	29.200	14,0
Marrocos e Saara Ocidental	50.000.000	28.000	28.000	13,5
Rússia	1.300.000	11.200	11.300	5,4
Jordânia	1.500.000	6.500	6.500	3,1
Tunísia	100.000	5.000	6.000	2,9
Egito	100.000	3.500	3.000	1,4
Israel	180.000	3.100	3.000	1,4
Peru	820.000	2.540	2.560	1,2
Austrália	1.800.000	2.650	2.600	1,3
Síria	490.000	3.100	2.500	1,2
África do Sul	1.500.000	2.500	2.500	1,2
Outros países	3.840.000	14.072	15.055	7,2
Total	67.000.000	198.000	207.955	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013; ANDA.

(1) Nutrientes em P₂O₅; (2) reserva lavrável; (r) revisado; (p) dado preliminar.

O Brasil consegue atender sua demanda interna de concentrado de rocha fosfática. No entanto, isso não se mantém ao longo da cadeia de fertilizantes, pela ausência de outros insumos, como enxofre e amônia, necessários para a produção dos produtos intermediários, o que tem ocasionando onerosos dispêndios com a importação.

O negócio dos fosfatos na China passou por uma grande transformação ao longo das últimas duas décadas em termos de balanço de oferta e demanda, produção e consumo, comércio exterior e cadeia de suprimento⁵¹.

A demanda chinesa de fosfato cresceu de 5 a 6 milhões de toneladas em 1990 para o dobro desse valor nos últimos anos, enquanto o consumo global de fertilizantes de fosfato manteve-se praticamente estático. A produção de rocha fosfática aumentou de cerca de 30 milhões de toneladas, em 2000, para 65 milhões em 2010.

A produção combinada de fosfato monoamônico e diamônico aumentou sete vezes e chegou a 22 milhões de toneladas. Assim, a exportação de fosfato diamônico, que era desprezível dez anos atrás, chegou a 4 milhões de toneladas em 2010.

Altos impostos de exportação continuaram em vigor em 2012, a fim de se garantir o suprimento do mercado interno de fertilizantes.

2.5.2 Potássio

O potássio é o segundo metal mais leve. É um elemento muito maleável, tem um ponto de fusão muito baixo, arde com chama violeta e apresenta uma coloração prateada nas superfícies não expostas ao ar, já que se oxida com rapidez. Assim como os demais metais alcalinos, reage violentamente com a água, despreendendo hidrogênio, podendo inflamar-se espontaneamente em presença dessa substância.

Devido a sua insolubilidade, é muito difícil obter o metal puro a partir dos seus minerais. Ainda assim, em antigos leitos marítimos e lagos existem grandes depósitos de minerais de potássio (carnalita, langbeinita, polihalita e silvina), dos quais é economicamente viável a extração do metal e seus sais.

A principal fonte de potássio é a potassa, extraída nos Estados Unidos e Alemanha. Em Saskatchewan, no Canadá, há grandes depósitos de potassa a 900 metros de profundidade, que no futuro podem converter-se em importantes fontes de potássio e sais de potássio. Atualmente o metal puro é obtido por eletrólise do hidróxido de potássio.

De acordo com o DNPM (2013), em 2012, o Canadá (47,5%) e a Rússia (35,6%) ocuparam as duas primeiras posições, no ranking mundial, das reservas de sais de potássio, sendo também os maiores produtores mundiais, conforme mostrado na Tabela 25. Esses países somaram cerca de 45% do total de potássio fertilizante produzido em 2012. O Brasil ficou com a 11ª colocação em termos de reservas e ocupou a 10ª posição em relação à produção mundial.

51 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.integer-research.com/2012/fertilizers-chemicals/news/chinas-phosphate-industry-major-supplydemand-shift/>

Tabela 25 Reservas e produção de potássio

Discriminação	Reservas (10 ³ t K ₂ O)		Produção ^(e) (10 ³ t K ₂ O)		
	Países	2012 ^(p)	2011 ^(r)	2012 ^(p)	(%)
Brasil		14.925 ⁽¹⁾	395	346	1,0
Canadá		4.400.000	11.000	9.000	26,2
Rússia		3.300.000	6.500	6.500	19,0
Bielorrússia		750.000	5.500	5.650	16,4
China		210.000	3.700	3.900	11,3
Alemanha		140.000	3.010	3.000	8,7
Outros países		452.000 ⁽²⁾	6.167	5.955	17,3
Total		9.266.925	36.272	34.351	100,0

Fonte: DNPM/DIPLAM e USGS: *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

Usa-se convencionalmente a unidade K₂O equivalente para expressar o potássio contido, embora essa unidade não corresponda à composição química da substância; (1) referente à reserva lavrável da mina de Taquari/Vassouras, (2) Inclui o total da reserva do Mar Morto, que é equitativamente dividido entre Israel e Jordânia; (r) revisado; (p) preliminar; (e) estimado.

As reservas de sais de potássio no Brasil estão localizadas nos estados de Sergipe e Amazonas. Em Sergipe, nas regiões de Taquari/Vassouras e Santa Rosa de Lima, as reservas oficiais de silvinita (KCl + NaCl) totalizaram 482,6 milhões de toneladas, com teor médio de 9,7% de K₂O equivalente. A reserva lavrável em Taquari/Vassouras é de 66,6 milhões de toneladas de minério *in situ*, com teor de 22,41% de K₂O, o que corresponde a 14,9 milhões de toneladas de K₂O equivalente.

Trabalhos de reavaliação de reservas de silvinita na região de Santa Rosa de Lima, situada 16 km a oeste de Taquari/Vassouras, dimensionaram reserva de aproximadamente 66,9 milhões de toneladas de minério *in situ*. Considerando a camada principal, são 15,48 milhões de toneladas de K₂O equivalente.

Ainda no estado de Sergipe, são conhecidos importantes depósitos de carnalita (KCl. MgCl₂.6H₂O). As reservas medidas, indicadas e inferidas de carnalita, com teor médio de 10,40% de KCl, alcançam cerca de 14,4 bilhões de toneladas. Encontra-se em fase de implantação, na sub-bacia evaporítica de Taquari/Vassouras, projeto que visa ao aproveitamento dessas reservas de carnalita por processo de dissolução.

No estado do Amazonas, nas localidades de Fazendinha e Arari, na região de Nova Olinda do Norte, as reservas medidas e indicadas de silvinita somam mais de um bilhão de toneladas, com teor médio de 18,47% de K₂O equivalente.

A China tem seus próprios depósitos, mas eles são muito pequenos quando comparados com os do Canadá e da Rússia. A província de Qingha, localizada no platô tibetano, respondeu por cerca de 80% dos 3 milhões de toneladas que foram produzidas na China

em 2010⁵². No entanto, essa produção está longe de atender à demanda doméstica anual de aproximadamente 8 milhões de toneladas.

Como a China não conta com grandes reservas de potássio, ela tem buscado depósitos em outros países, mas sem sucesso. Com o constante aumento da demanda interna, a China ainda vai depender muito, nos próximos anos, do fertilizante de potássio importado⁵³.

52 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.theglobeandmail.com/news/world/chinas-passion-for-potash/article4389003/>

53 Informação acessada, em 8 de agosto de 2012, no sítio da internet <http://www.prweb.com/releases/2012/6/prweb9584425.htm>

3. TECNOLOGIAS ESTRATÉGICAS

A produção de minerais utilizados em tecnologias estratégicas que tem como foco o desenvolvimento sustentável vem se intensificando, principalmente na China, Estados Unidos, Japão, Coreia e países da União Europeia. O Brasil pode contribuir no esforço global rumo a uma economia verde, pois conta com recursos naturais em quantidade e qualidade.

É importante ressaltar que a restrição da oferta de alguns minerais estratégicos, principalmente pela China, pode afetar o emprego e desenvolvimento de importantes tecnologias em outros países. As novas tecnologias, e os respectivos minerais nelas empregados, que serão analisadas neste capítulo, são: turbinas eólicas, carros elétricos, células fotovoltaicas, células a combustível, catalisadores e iluminação eficiente.

3.1 Turbinas eólicas

A geração de energia elétrica a partir dos ventos – energia eólica – tem crescido muito em todo o mundo. A capacidade de energia eólica global cresceu 21% em 2011, passando de 197 mil MW para 238 mil MW, o que equivale à potência de dezessete hidrelétricas de Itaipu. Mais de 40% do aumento total ocorreu na China, cuja capacidade instalada aumentou para 62 mil MW. No Brasil, o crescimento foi de 62%, passando de 927 para 1509 MW⁵⁴.

O segundo maior crescimento na capacidade instalada foi verificado nos Estados Unidos, que chegou a 52 mil MW em 2011. A Índia aparece em terceiro lugar, atingindo 16 mil MW. Já na Europa, o aumento da capacidade instalada representou 25% do total mundial. Em termos da capacidade final disponível em 2011, o continente europeu ocupa o primeiro lugar no mundo, com 96 mil MW.

No Brasil, a marca de 1 mil MW foi alcançada em junho de 2011. A maioria dos parques eólicos nacionais encontram-se nas regiões Nordeste e Sul do país. Segundo o Diretor Executivo da Associação de Energia Eólica, o Brasil terá um crescimento ainda mais expressivo nos próximos anos. O país conta com uma carteira de novos projetos já contratados de mais de 7 mil MW para serem entregues até 2016. O potencial de geração de energia eólica no Brasil é superior a 143 GW⁵⁵.

Para a geração eólica, são utilizadas turbinas eólicas que, normalmente, contam com os seguintes componentes:

54 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.ecodebate.com.br/2012/02/10/energia-eolica-no-brasil-cresce-62-em-2011-com-acrescimo-de-cerca-de-600-mw>. Página acessada no dia 30 de maio de 2012.

55 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.energiabrasil.com.br/website/artigo.asp?cod=559&id=567>. Página acessada no dia 30 de maio de 2012.

- nacele: abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir multiplicador, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico e sistema hidráulico;
- rotor: efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. Geralmente a velocidade angular dos rotores está na faixa de 20 a 150 rotações por minuto, enquanto a velocidade dos geradores apresenta uma elevada faixa de operação, variando de 1200 a 1800 rotações por minuto. Essa variação depende do número de polos de cada gerador (Dutra, 2008). No rotor são fixadas as pás da turbina. Todo o conjunto é conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes, por meio de um multiplicador;
- torre: sustenta o rotor e a nacele na altura adequada ao funcionamento da turbina eólica;
- multiplicador: transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador;
- gerador: converte a energia mecânica do eixo em energia elétrica;
- mecanismos de controle: permitem que as turbinas eólicas forneçam potência nominal de acordo com a velocidade do vento prevalecente, ou seja, a velocidade média nominal que ocorre com mais frequência durante um determinado período;
- anemômetro: mede a intensidade e a velocidade dos ventos, normalmente, de 10 em 10 minutos;
- pás do rotor: captam o vento e convertem sua potência ao centro do rotor;
- biruta: capta a direção do vento, pois ele deve estar perpendicular à torre para se obter um maior rendimento.

Os geradores para aplicação em turbinas eólicas podem ser classificados quanto ao tipo (síncrono ou assíncrono) e à forma de conexão elétrica. O gerador síncrono pode ter circuito de excitação independente ou usar ímãs permanentes para magnetização dos polos do rotor. A regulação de tensão gerada é relativamente simples neste tipo de máquina, pois consiste no monitoramento da tensão de saída e controle da corrente de excitação. O gerador assíncrono pode ter rotor gaiola de esquilo ou rotor bobinado. São máquinas mais robustas, relativamente fáceis de construir e, normalmente, mais baratas. Possuem também alta relação entre potência e peso.

Outra classificação está relacionada com a forma de conexão do sistema à rede elétrica, que pode ser direta ou por intermédio de conversor eletrônico. Na maioria das configurações, são usados multiplicadores para compensar a baixa rotação das turbinas eólicas. Para não utilizar esses multiplicadores, o gerador deve ser construído com um número maior de polos no rotor.

As modernas turbinas eólicas com rotores de três pás são as mais comuns em todo o mundo, devido ao menor peso e pela disposição simétrica das mesmas. O material tradicionalmente utilizado para a fabricação de hélices é a fibra de vidro. Existe uma tendência para a utilização de epóxi reforçado com fibra de vidro ou carbono. Outra possibilidade é utilizar aramida como material de reforço.

Os sistemas conectados diretamente à rede elétrica e com velocidade fixa apresentam problemas com a qualidade de energia, principalmente devido às variações de frequência e tensão resultantes de qualquer tipo de perturbação. Variações de velocidade na turbina aparecem na potência elétrica de saída.

Nesse caso, os geradores são fabricados de uma forma simples, de baixa potência e com poucos polos no rotor. Dessa forma, necessitam de multiplicador de velocidade.

O gerador síncrono deve trabalhar com rotação constante, tornando o grupo rígido, exigindo sincronização com a rede e, conseqüentemente, não permitindo nenhuma regulação de velocidade. Já o gerador assíncrono permite uma pequena variação de velocidade devido ao escorregamento⁵⁶, fazendo com que o grupo seja um pouco mais flexível, sendo também mais robusto, de menor custo e não emite componentes harmônicos.

Os sistemas conectados à rede elétrica por meio de conversor e de velocidade mantêm o torque do gerador constante. A potência elétrica de saída é praticamente constante, sem quaisquer variações significativas. Esses sistemas usam conversores eletrônicos para “isolar” as perturbações recebidas pela turbina, garantindo, assim, uma boa interação do sistema eólico com o sistema elétrico.

Tanto na solução com gerador síncrono quanto na solução com gerador assíncrono, o conversor eletrônico apresenta um grande impacto no custo, já que toda a potência do grupo passa para a rede através do conversor.

No caso do gerador assíncrono conectado diretamente à rede elétrica com rotor bobinado duplamente alimentado e velocidade variável, o controle de velocidade é feito através de conversor conectado ao circuito do rotor. Essa configuração permite uma ampla faixa de regulação de velocidade, aproximadamente 30% abaixo e acima de sua velocidade síncrona. Nesse caso, o conversor eletrônico necessita ser dimensionado para no máximo 30% da potência do gerador, pois a potência do rotor é a potência do gerador multiplicado pelo escorregamento. Essa é uma grande vantagem de custos, fazendo com que esta solução seja bastante competitiva. São usados geradores de poucos polos, mas exige-se um multiplicador de velocidade. Essa configuração é largamente utilizada para potências de até 5 MW, por apresentar custo inicial baixo, robustez e grande eficiência na transformação eletromecânica da energia dos ventos.

56 Diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade real do gerador.

No caso do gerador síncrono conectado à rede elétrica por meio de conversor, sem multiplicador de velocidade e velocidade variável, utiliza-se excitação independente ou rotor de ímãs permanentes. O gerador requer grande número de polos e gera potência em frequência baixa e variável, de acordo com a velocidade da turbina. Em vez de um multiplicador, é necessário apenas um planetário de um único estágio com custo e manutenção menores⁵⁷.

As turbinas eólicas com ímãs permanentes no rotor são as que apresentam maior rendimento, pois praticamente não têm perdas no rotor. Esse conceito é bastante utilizado por apresentar uma grande eficiência na transformação eletromecânica da energia dos ventos e por não necessitar do multiplicador de vários estágios de velocidade. Essas turbinas são robustas e boas candidatas para aplicações *offshore*, e têm gerado um aumento na demanda de ímãs permanentes de neodímio. Segundo Fairley (2010), as turbinas com ímãs de neodímio, um dos elementos terras-raras, já representam 14% do mercado.

A principal tendência nesse mercado é o aumento do tamanho e da potência das turbinas. Em 2009, as turbinas com potência inferior a 2,5 MW eram responsáveis por mais de 90% do mercado. Em 2012, a fatia de mercado dessas turbinas deve cair para 62% (Troedson, 2011). O aumento das turbinas tende a aumentar o uso de ímãs permanentes de terras-raras, pois esses ímãs reduzem o tamanho e o peso dos geradores. A China produz 75% dos ímãs do neodímio⁵⁸.

Outra tendência é a redução da velocidade das turbinas, o que permite a geração de energia elétrica com menores velocidades do vento. As turbinas de menor velocidade tendem a ter acionamento sem multiplicador, o chamado acionamento direto. Além de mais eficientes, a ausência de multiplicador reduz os custos de manutenção. Essas turbinas, no entanto, exigem maiores ímãs permanentes, o que significa maior teor de terras-raras.

Constantinides (2011) estima que turbinas de acionamento direto demandem 600 quilogramas de materiais de ímã permanente por megawatt. Isso implica consumir algumas centenas de quilogramas de terras-raras por megawatt.

O Brasil prevê um aumento da geração eólica de 10 mil MW nos próximos 10 anos. Considerando um consumo de 600 quilogramas de ímãs neodímio-ferro-boro (NdFeB) por MW, e que as máquinas geradores com ímãs representem 5% do mercado, a demanda por ímãs para geradores eólicos instalados no Brasil seria de 30 toneladas por ano.

As empresas GE e IMPSA possuem fábricas no Brasil que usam tecnologias de geradores com ímãs permanentes. A IMPSA destaca-se nesse sentido, sendo responsável pela

57 Informação obtida no endereço eletrônico <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-geracao-de-energia-eolica-tecnologias-atuais-e-futuras-artigo-tecnico-portugues-br.pdf>. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

58 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.asm-indy.org/richardson.htm>. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

implantação de grandes parques de geração de energia que utilizam geradores com ímãs de terras-raras. Além dessas empresas, existem outros fabricantes no Brasil que são potenciais consumidores de ímãs de terras-raras.

Atualmente, há evidências de que as cotas de exportação de terras-raras impostas pela China têm levado a uma grande diferença entre as tecnologias dentro e fora do país. As turbinas com ímã permanente fora da China representam 5% do mercado (Constantinides, 2011). Na China, elas representam 25% ou mais (Hu, 2010).

A maioria dos ímãs permanentes de neodímio contém, aproximadamente, de 65% a 70% de ferro, 1% de boro, 30% de uma mistura de neodímio e praseodímio, 3% de disprósio e, algumas vezes, térbio (Oakdene Hollins, 2010). Segundo Constantinides (2011), o disprósio responde por 4,1% do peso do ímã.

A função do disprósio é aumentar a coercitividade, que é a intensidade do campo magnético aplicado para reduzir a magnetização do material a zero, e, com isso, aumentar a temperatura de tolerância. Isso é necessário para aplicações com temperaturas mais altas (Oakdene Hollins, 2010). O uso do disprósio também tende a aumentar a resistência dos ímãs à corrosão (Avalon, 2010).

A função do térbio é semelhante à do disprósio, mas seu uso é limitado pela escassez e alto preço. Uma característica particular do térbio é que ele tem menor impacto que o disprósio sobre a remanescência, magnetização deixada depois que um campo magnético externo é removido (Oakdene Hollins, 2010).

Devido aos riscos de suprimento de disprósio e térbio, empresas e pesquisadores estão em busca de alternativas. Segundo Benecki (2009), os fabricantes de ímãs podem ser forçados a oferecer ímãs NdFeB com diferentes composições, mesmo que haja prejuízo no desempenho, pois a redução de disprósio ou térbio pode resultar em uma redução da coercitividade de 10% a 30%.

Especialistas europeus em ímãs têm mostrado que ainda não existem substitutos comerciais para o disprósio nos ímãs de neodímio.

O neodímio, praseodímio, disprósio e térbio fazem parte do grupo dos elementos terras-raras. O mundo é farto em terras-raras, sendo muito grande o potencial de produção de seus óxidos no Brasil. No entanto, a China, além de dominar o mercado mundial de óxidos de terras-raras, domina também o mercado de ímãs permanentes. A posição dominante da China tem causado uma grande dependência por parte de muitos países, inclusive do Brasil.

Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado na China ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir uma cadeia produtiva de ímãs permanentes

no país. As políticas de pesquisa e desenvolvimento, de proteção do mercado interno e de construção de uma cadeia integrada parecem ser pontos importantes desse plano.

3.2 Carros elétricos

A eletricidade pode ser considerada a fonte de energia para os carros do futuro e pode haver a substituição dos atuais motores de combustão interna por motores elétricos. Existem, basicamente, três tipos de carros elétricos: carros elétricos puros, carros híbridos e carros híbridos carregáveis (Hickman, 2009).

Os carros elétricos puros usam bateria para alimentar o motor elétrico em vez de usar motor de combustão interna. A autonomia, limitada pelas baterias, é da ordem de 30 a 50 milhas. Os carros híbridos são projetados para usar um motor elétrico e um motor de combustão interna. Os carros híbridos requerem menores baterias que os carros elétricos puros e têm maior autonomia. Os híbridos carregáveis usam a combinação da energia elétrica da rede, energia regenerativa das frenagens e da energia de um motor de combustão ou célula a combustível.

Muitos governos têm incentivado o desenvolvimento tecnológico e o mercado por meio de subsídios. Estima-se que, em 2025, os carros elétricos serão responsáveis por 35% do mercado, sendo 10% de carros elétricos puros e 25% de carros híbridos (Harrop e Das, 2009). Sem políticas de incentivos, as montadoras trazem para o Brasil apenas algumas unidades como estratégia de marketing.

Analisa-se, a seguir, os dois componentes vitais para os carros elétricos: motores elétricos e baterias. Esses componentes dependem de minerais estratégicos para a sua fabricação.

3.2.1 Motores elétricos

Os motores de carros elétricos puros e de carros híbridos usam ímãs permanentes de terras-raras. Esses motores devem ser pequenos e de pouco peso para se encaixarem dentro das necessidades de projeto. Isso é particularmente importante para os híbridos, onde os motores elétricos são instalados junto com um motor a combustão interna ou com um gerador em um pequeno espaço.

Os carros elétricos puros não têm motor a combustão interna, como os híbridos, o que diminui bastante as restrições de espaço e facilita a sua refrigeração. Esses fatores dão maior flexibilidade para se alterar o tamanho do motor e as condições de operação.

Os fabricantes têm explorado várias opções para substituir os motores com ímãs permanentes⁵⁹. Alguns deles têm reconsiderado a opção dos motores de indução, que são maiores que os com ímãs permanentes, mas potencialmente mais eficientes. Alguns nichos de carros elétricos, como os do Tesla Roadster e do Mini-E, já usam motores de indução. Em 2011, a Toyota anunciou o desenvolvimento de um motor de indução para ser usado em carros elétricos.

A demanda de ímãs de terras-raras para uso em carros elétricos vai depender da produção futura de carros híbridos e de carros elétricos puros, da futura tecnologia dos motores elétricos e demanda de ímãs para cada tipo de motor.

Byron Capital Markets (2010) fez uma projeção que incluiu os principais fabricantes de carros e também de bicicletas elétricas, que têm grande uso na China. Ele estimou um crescimento anual de 50%. Foi assumida uma demanda de 193 gramas de neodímio por motor. Angerer et al (2009) estima uma demanda de neodímio de 500 gramas a 1 quilograma por carro híbrido. Outros analistas esperam um consumo de até 1,8 quilograma por motor, como no caso do Toyota Prius. Byron estimou, ainda, que 1,2 milhão de híbridos e carros elétricos puros serão vendidos em 2014. Cenários otimistas da IEA (2009) e Fraunhofer ISI (2009) preveem vendas de 9 a 14 milhões em 2015. As projeções para 2020 ficam na faixa de 9 a 33 milhões de carros híbridos e elétricos puros. De acordo com o IEA (2009), serão vendidos de 25 a 33 milhões de bicicletas elétricas em 2014, principalmente na China. Segundo Byron, uma demanda de 1,2 mil toneladas de óxido de neodímio pode ocorrer em 2015.

Oakdene Hollins (2010) estimou uma demanda de 875 toneladas em 2020, para um cenário pessimista de apenas 1 milhão de carros híbridos ou elétricos puros. Para um cenário otimista de 20 milhões de carros híbridos ou elétricos puros, a demanda seria de 23 mil toneladas em 2020.

O consumo de disprósio em carros elétricos vai depender das temperaturas de operação dos diferentes tipos de veículos. Esforços para reduzir o teor de disprósio estão focados na redução da temperatura de operação e em materiais com menor teor de disprósio.

Pesquisadores japoneses estão trabalhando no sentido de reduzir o tamanho do grão dos pós magnéticos, de modo a modificar a maneira como o disprósio é introduzido na estrutura magnética, e usando um processo de difusão de neodímio e cobre, em vez de disprósio, no contorno dos grãos (NIMS, 2010).

A empresa Molycorp, produtora de terras-raras, anunciou uma parceria com a Daido Steel e com a Mitsubishi Corporation para desenvolver e vender ímãs de terras-raras de alto desempenho com menos dependência de disprósio (Molycorp, 2011).

59 Informação obtida no endereço eletrônico http://www.economist.com/blogs/babbage/2011/04/induction_motors. Página acessada no dia 31 de maio de 2012.

Samário e cobalto são potenciais substitutos para os terras-raras neodímio, praseodímio e disprosio, utilizados em ímãs permanentes para carros elétricos. Os ímãs SmCo (samário-cobalto) são os ímãs de primeira geração, enquanto os ímãs NdFeB são de segunda geração.

3.2.2 Baterias

As baterias são componentes fundamentais dos carros elétricos híbridos e puros, pois todos eles precisam de baterias para estocar energia para mover o carro. Os carros híbridos atuais usam baterias níquel-hidreto metálico (NiMH), enquanto as baterias de íons de lítio são geralmente usadas nos carros híbridos carregáveis e nos carros elétricos puros, que exigem maior capacidade de estocagem de energia e maiores potências (National Research Council, 2010). As baterias NiMH consomem terras-raras, como o lantânio, cério, neodímio e praseodímio, além de níquel, cobalto, manganês e/ou alumínio (Kopera, 2004).

A demanda por lítio, cobalto, níquel e grafita deve aumentar substancialmente com o emprego em larga escala de carros híbridos carregáveis e elétricos puros, em razão do uso das baterias de íons de lítio. Até os carros híbridos não carregáveis podem migrar para baterias de íons de lítio.

As baterias de íons de lítio não usam terras-raras, mas usam cobalto, grafita, níquel ou manganês, além de lítio. Essas baterias são muito adequadas para carros elétricos, especialmente as que usam grafita como anodo e alguma forma de sais de lítio tanto no anodo quanto no catodo.

O teor de cada material varia muito em razão dos projetos de cada fabricante. Pesquisadores do Argonne National Laboratory estimam que baterias capazes de oferecer uma autonomia de 100 milhas para um carro elétrico puro conterà de 3,4 a 12,7 quilogramas de lítio (Gaines e Nelson, 2010).

3.3 Células fotovoltaicas

Célula fotovoltaica é um método de geração de energia elétrica pela conversão da radiação solar diretamente em eletricidade pelo uso de semicondutores que exibem o efeito fotovoltaico. Para a geração de eletricidade são empregados painéis solares compostos de células contendo material fotovoltaico.

A capacidade fotovoltaica está crescendo, rapidamente, de uma pequena base para uma capacidade global, em 2011, de 67,4 mil MW. A energia gerada no ano foi de 80 bilhões de kWh, o que representou 0,5% da demanda mundial de eletricidade. Isso é suficiente para atender à demanda de 20 milhões de residências. As instalações fotovoltaicas podem

ser montadas no chão, nas paredes ou nos tetos de uma construção. Os custos de geração estão caindo muito desde que foram construídas as primeiras células fotovoltaicas.

As células fotovoltaicas convencionais são à base de silício, enquanto as de filme fino usam gálio, índio e telúrio. As à base de silício responderam por cerca de 90% da oferta global em 2011 (NREL, 2011).

No entanto, as células de filme fino apresentam uma série de vantagens em relação às células à base de silício, também chamadas de “filme grosso”. As de filme fino requerem menos material funcional, podem ser fabricadas em rolos ou folhas contínuas e podem ser depositadas sobre substratos flexíveis.

Dois tecnologias de filme fino são consideradas estratégicas: cádmio-telúrio (CdTe) e diselenieto de cobre, índio e gálio (CIGS). A tecnologia CIGS responde por uma parcela de apenas 1% do mercado. Apesar de a tecnologia CdTe estar mais consolidada, ela não tem perspectivas tão boas quanto a tecnologia CIGS. Pesquisas realizadas na Alemanha atingiram uma eficiência recorde de 20,3% com a tecnologia CIGS.

É importante ressaltar que a queda dos preços do silício tem significado grande redução nos preços das células fotovoltaicas convencionais, tornando-as mais competitivas em relação às células de filme fino. Os preços do silício no mercado a vista caíram de US\$ 75 por quilograma para US\$ 45 por quilograma do início de 2011 até outubro do mesmo ano.

Existem importantes reservas de quartzo de qualidade no Brasil, além de indústrias que produzem silício grau metalúrgico⁶⁰. A tradicional forma de purificação para obtenção do silício grau eletrônico utiliza a rota química⁶¹. Para o silício grau solar, pode ser adotada a rota metalúrgica⁶², que necessita menos energia e reduz a agressão ao meio ambiente. A consequente redução de custos apresentada por essa tecnologia é uma promissora vantagem. Entretanto, pesquisas devem ser feitas na rota metalúrgica, visto que é uma tecnologia emergente e ainda não possui pleno domínio tecnológico. O investimento em pesquisas na rota metalúrgica pode permitir a entrada do Brasil no mercado.

A rota química convencional apresenta disponibilidade tecnológica imediata, além de possibilitar o desenvolvimento da indústria de microeletrônica no Brasil. As duas tecnologias podem atuar em conjunto, com produção de silício grau solar e eletrônico pela rota química e pesquisas paralelas na rota metalúrgica.

A sustentabilidade ambiental de projetos de produção do silício é fator crítico de sucesso, devendo ser estrategicamente tratada para que o meio ambiente possa ser beneficiado

60 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.cgee.org.br/busca/ConsultaProdutoNcomTopo.php?f=1&idProduto=5605>. Página da internet acessada no dia 30 de maio de 2012.

61 Na rota química, ocorre a gaseificação do silício grau metalúrgico, a destilação e a deposição do silício ultrapuro.

62 Na rota metalúrgica, o silício grau solar é obtido diretamente do silício grau metalúrgico por meio de uma série de etapas de refino metalúrgico.

pelo uso da energia solar fotovoltaica. A utilização de carvão para a redução do quartzo emite dióxido de carbono. Outras etapas do processo de purificação do silício também geram impacto ambiental. Apesar de a rota metalúrgica não utilizar os produtos tóxicos e corrosivos empregados na rota química, grande atenção ambiental deve ser dada aos processos produtivos.

Uma grande elevação de valor agregado ocorre na purificação do silício, pois o valor do silício grau solar chega a ser cem vezes maior que o valor do silício grau metalúrgico, atualmente exportado pelo Brasil. É fundamental, então, que sejam estabelecidas políticas públicas visando à produção nacional de silício grau solar e à construção de um parque industrial fotovoltaico.

3.4 Células a combustível

Uma célula de combustível ou célula a combustível é uma célula eletroquímica em que são consumidos um agente redutor (combustível) e um agente oxidante (comburente), com o objetivo de gerar energia elétrica. Na célula a combustível, ao contrário das baterias ou das pilhas, estes agentes químicos são fornecidos e consumidos continuamente.

As células a combustível têm a vantagem de ser altamente eficientes e pouco poluentes. O modelo que se encontra mais desenvolvido tecnologicamente utiliza como reagentes o hidrogênio e o oxigênio. O uso do hidrogênio como combustível é polêmico em várias aplicações, já que ele não constitui uma fonte primária de energia. No entanto, pode ser facilmente produzido a partir de outras fontes de energia, como a eletricidade, o gás natural e o etanol. O hidrogênio pode ser gerado pela eletrólise da água e pela conversão do metano. Esse último processo gera gases de efeito estufa.

As células a combustível são muito promissoras para uso em sistemas de propulsão, de energia auxiliar e de energia distribuída. Os gastos globais com células a combustível podem crescer 10,9%, anualmente, chegando a US\$ 10,3 bilhões, em 2015, e a US\$ 19,2 bilhões, em 2020⁶³. Os ganhos de fatia de mercado serão gerados pelos avanços tecnológicos, que reduzirão os custos para patamares competitivos com várias aplicações, e pela economia de escala, quando os fabricantes aumentarem sua produção.

Apesar de o uso das células a combustível em veículos representar menos de 0,5% do número total de sistemas a serem vendidos em 2020, essa aplicação deverá representar a maior fatia do mercado em valor. Muitos fabricantes já anunciaram planos de oferecer veículos com célula a combustível em 2015. As vendas para sistemas de geração de energia deverão crescer em um ritmo veloz até 2020, beneficiando-se da redução de custos e da maior eficiência energética em relação aos métodos convencionais.

63 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.marketresearch.com/Freedonia-Group-Inc-v1247/Fuel-Cells-6428826>. Página da internet acessada no dia 30 de maio de 2012.

Os terras-raras são usados em diferentes tipos de células a combustível. As células a combustível de óxido sólido (SOFCs) para geração distribuída usam ítrio em seu eletrólito e podem usar, ainda, lantânio, cério, níquel e cobalto em seus componentes. Estima-se que os projetos de SOFCs podem necessitar de 21 gramas de óxido de ítrio por cada quilowatt de capacidade da célula (J. Thijssen, LLC 2011). As células a combustível para veículos normalmente usam membranas poliméricas que não dependem de terras-raras, mas de platina.

3.5 Catalisadores para veículos

Um conversor catalítico é um mecanismo de controle de emissões que converte produtos químicos tóxicos emitidos por motores de combustão interna em substâncias menos tóxicas. Dentro do conversor, um catalisador estimula a reação química de conversão. Nos veículos a gasolina, uma reação, de oxidação, converte monóxido de carbono e hidrocarbonetos não queimados; outra reação, de redução, converte óxidos de nitrogênio para produzir monóxido de carbono, nitrogênio e água. Além do uso em carros, os conversores catalíticos são utilizados em conjuntos geradores, empilhadeiras, equipamentos de mineração, caminhões, ônibus, locomotivas, motocicletas, aviões etc.

Os conversores catalíticos usam cério para facilitar a oxidação do monóxido de carbono. A quantidade de cério requerida por veículo é muito baixa, mas, como é muito grande o número de veículos, o consumo total acaba sendo alto. Os catalisadores automotivos, principalmente cério, além de reduzir as emissões, são responsáveis por uma maior estabilidade térmica (Hykawy, 2010).

Estima-se que a taxa de aumento do número de veículos vai se reduzir em médio prazo, passando de uma taxa de crescimento anual de 5%, na primeira década deste século, para 2% até o ano de 2025 (IEA, 2010). No entanto, a taxa de substituição de veículo deve continuar alta, o que vai manter forte a demanda por cério.

Atualmente, não há materiais substitutos para os terras-raras usados como catalisadores para veículos. O Brasil conta com grandes depósitos de cério, mas não há produção nacional.

3.6 Iluminação eficiente

A iluminação artificial é responsável por 17% do consumo de energia elétrica no Brasil (Souza, 2010). Nos Estados Unidos, a iluminação é responsável por 18% do consumo de energia elétrica nos edifícios, ficando atrás apenas do consumo de energia para aquecimento (DOE, 2009).

Modernas tecnologias oferecem grandes oportunidades para a redução do consumo de energia elétrica para iluminação, tais como iluminação fluorescente, diodos emissores de luz (LEDs), diodos orgânicos emissores de luz (OLEDs) e lâmpadas de halogênio.

Muitos países estão limitando ou proibindo o uso de lâmpadas incandescentes convencionais. A demanda por lâmpadas fluorescentes deve crescer muito nos próximos anos. Daqui a alguns anos, deverá crescer a demanda por LEDs e por lâmpadas de halogênio.

As lâmpadas fluorescentes dependem de fósforos feitos dos terras-raras térbio, európio e ítrio. A escassez desses terras-raras pode afetar a disponibilidade de lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas tipo LEDs usam muito menos terras-raras que as lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas de halogênio e tipo OLEDs não usam terras-raras. Segundo a empresa GE, o teor total de terras-raras nas lâmpadas tipo LEDs é bem menor que nas lâmpadas fluorescentes de mesma potência⁶⁴.

Existe, então, uma transição de lâmpadas incandescentes convencionais para lâmpadas fluorescentes ou de halogênio. A próxima transição será para novas tecnologias, como, por exemplo, LEDs e OLEDs. O ritmo dessas transições vai depender da disponibilidade, preço e desempenho de cada tecnologia. Lâmpadas tipo LED para uso residencial já estão disponíveis, mas a preços bem mais altos que as lâmpadas fluorescentes compactas. No entanto, a maior duração e eficiência das lâmpadas tipo LED tornam essa tecnologia mais competitiva se computado todo o ciclo de vida.

No Brasil, o consumo de lâmpadas incandescentes está caindo, mesmo sem programa específico de incentivo⁶⁵. Desde 2001, quando ocorreu o racionamento de energia nacional, houve um aumento do uso de modelos fluorescentes, cujas vendas, desde então, crescem 20% ao ano. Hoje, o Brasil importa cerca de 80 milhões de lâmpadas fluorescentes, das quais mais de 70% vêm da China. Diante dessa competição, três das quatro fábricas de lâmpadas incandescentes que operavam no país fecharam as suas portas.

Na China, aproximadamente 70% da produção de lâmpadas fluorescentes compactas eram para exportação (UNDP, 2008). A produção aumentou de aproximadamente 100 milhões de lâmpadas em 1996 para cerca de 3 bilhões em 2007, tornando a China responsável por cerca de 80% da produção mundial. O Brasil não produz lâmpadas fluorescentes compactas, sendo todas importadas da China⁶⁶.

64 Informação obtida no endereço eletrônico <http://energy.gov/sites/prod/files/edg/news/documents/criticalmaterialsstrategy.pdf>. Página da internet acessada no dia 30 de maio de 2012.

65 Informação obtida no endereço eletrônico: <http://www.ecocidades.com/2011/01/06/adeus-lampadas-incandescentes>. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

66 Informação obtida no endereço eletrônico: http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/conselhos_comite/cgiee/Relatorio_CGIEE_2002-2008.pdf. Página da internet acessada no dia 31 de maio de 2012.

4. RECURSOS PARA PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

A participação no resultado ou compensação financeira pela exploração de recursos naturais pode ser a principal fonte de recursos para o financiamento de pesquisa e desenvolvimento de minerais e tecnologias estratégicas no Brasil. Essa compensação é o preço pago pelo empreendedor ao proprietário do recurso natural pelo direito de produzi-lo e comercializá-lo.

Na maioria dos países, incluindo o Brasil, os recursos minerais e petrolíferos pertencem ao estado, que é responsável por gerenciar o desenvolvimento dos recursos minerais em benefício de seus cidadãos.

No Brasil, a União é o ente federativo responsável pela cobrança da participação no resultado ou compensação financeira em nome dos cidadãos brasileiros.

A compensação financeira ou *royalty* não é um tributo. Apesar de a definição de tributo ser uma questão conflituosa, pode-se dizer que tributos são valores cobrados para fazer face a custos do estado para oferecer serviços de segurança, educação, saúde etc. Dessa forma, a compensação financeira não tem relação direta com custos. Ela é cobrada como um direito de cidadania, decorrente, por exemplo, da exploração de um bem público.

Entende-se por compensação financeira a cobrança de *royalty* e, nos casos de grande produção ou de grande rentabilidade, também a cobrança de uma compensação financeira adicional.

4.1 Sistemas de cálculo das compensações financeiras

Existem três sistemas básicos para cálculo de compensações financeiras pela exploração de recursos minerais no mundo. Eles podem ser:

- a) com base na quantidade ou por peso;
- b) *ad valorem* ou com base no valor ou percentual da receita; e
- c) com base no lucro.

4.1.1 Compensação financeira com base na quantidade

No sistema de cálculo com base na quantidade, a compensação financeira é cobrada em unidade monetária por peso. Esse sistema é fácil de administrar, mas ineficiente em termos fiscais, pois o aumento dos preços não altera as receitas. Ele é normalmente usado para minerais de baixo valor e grandes volumes de produção.

4.1.2 Compensação financeira com base no valor

No sistema de cálculo com base no valor, *ad valorem*, a compensação financeira é cobrada a partir da aplicação de um percentual sobre o valor bruto da venda. Esse valor é, normalmente, o valor “na mina”.

4.1.3 Compensação financeira com base no lucro

No sistema de cálculo com base no lucro, a compensação financeira é cobrada a partir de um percentual sobre o lucro líquido obtido pelo produtor mineral. Esse sistema é mais justo e tem menos efeitos sobre as decisões de investimento das companhias que os outros dois. Entretanto, apresenta grandes desvantagens como incerteza nos ganhos e problemas na sua administração.

4.2 A compensação financeira no mundo

Na maioria dos países, cada mineral é taxado com diferentes percentuais que incidem sobre o valor do recurso já extraído “na mina” ou sobre o valor de venda.

Na definição desses percentuais, os minerais, normalmente, são agrupados e cada grupo tende a ser taxado diferentemente. Os grupos mais comuns incluem:

- materiais de construção;
- minerais para a indústria de fertilizantes;
- metais e pedras preciosas;
- metais básicos.

Em certo grau, o agrupamento depende se o bem mineral destina-se a mercados locais ou a mercados globais. Metais básicos, por exemplo, tendem a ser menos taxados que mercadorias de baixo valor. Isso reflete o fato de que os metais básicos são altamente dependentes de investidores estrangeiros, que podem escolher diferentes países quando das decisões de investimento.

Os governos também ajustam seus sistemas de arrecadação de maneira a impor maiores taxas sobre minerais como o diamante, por exemplo, cujo aproveitamento tende a gerar grandes lucros. Nesse caso, em adição à compensação financeira sobre o valor do bem, uma cobrança de *royalty* com base no lucro também pode ser aplicada.

A Austrália e o Canadá são importantes nações mineradoras no cenário internacional. Nesses países, cada um dos seus estados tem seu próprio sistema de cálculo, conforme mostrado neste capítulo 4 e no 5.

O Chile é o maior produtor mundial de cobre. Em 2005, foi estabelecida nesse país uma nova taxa para as empresas mineradoras com vendas anuais superiores a 12 mil toneladas de cobre. Para empresas que vendam entre 12 e 50 mil toneladas, a taxa é variável; para empresas cujas vendas anuais excedam 50 mil toneladas, a taxa é fixa de 5% sobre o valor de venda.

A China e a Indonésia contam com importantes atividades mineradoras. Na China, os *royalties*, em geral, variam de 2% a 4% sobre o valor de venda. Na Indonésia, os percentuais variam de 3% a 5% sobre o valor de venda, exceto para o diamante, cujo percentual é de 6,5%.

Na Ásia Central, o Cazaquistão e o Uzbequistão são dois importantes países mineradores. No Cazaquistão, para a maioria dos minerais, os *royalties* são estabelecidos a partir de negociações e contratos para cada mina. No Uzbequistão, os percentuais sobre o preço de venda são altos para o cobre (7,9%), diamante (24%), concentrado de tungstênio (8%) e caulim (7,9%).

Os países africanos geralmente cobram baixos *royalties*, exceto para o diamante e para as pedras preciosas, que são, em geral, taxados a um percentual em torno de 10%.

4.2.1 Austrália

Todos os governos estaduais da Austrália têm o poder de impor a cobrança de *royalties*, normalmente, calculados a partir de um preço de compra dos minerais extraídos pelas companhias mineradoras. A maioria dos *royalties* são cobrados com base no sistema *ad valorem*, que se fundamentam em um percentual do valor bruto da venda da produção mineral expresso como *free on board* (FOB) ou *free on rail* (FOR).

Na Austrália, cada estado desenvolveu sua própria forma de cobrança de *royalties*. Os governos estaduais às vezes negociam taxas especiais com companhias que estejam interessadas em empreendimentos de mineração em grande escala.

As taxas de *royalty* podem variar de acordo com fatores como: consumo interno ou exportação, agregação de valor etc.

O principal estado minerador da Austrália é Western Australia. Nesse estado, *royalties ad valorem* e taxas específicas são cobrados dos mineradores. A Tabela 26 apresenta os minerais submetidos ao sistema de cobrança *ad valorem*. A Tabela 27 mostra os minerais sujeitos a taxas específicas.

Tabela 26 Minerais submetidos ao sistema de cobrança *ad valorem*

Minerais	Percentual do Valor Realizado
Antimônio, arsênio, asbestos, baritas, berílio, bismuto, cobre, fluorita, grafite, caulim, chumbo, minerais de lítio, magnetita, molibdenita, nióbio, rochas fosfatadas, piritas, rutilo, zinco, zircônio, e outros minerais não de outra forma especificados.	5%
Minério de ferro	7,5%
- Minério granulado	5,625%
- Minério fino	5%
- Minério beneficiado	
Bauxita, carvão para exportação, manganês, diamantes, gemas e pedras preciosas e pedras semipreciosas.	7,5%
Cobalto, mercúrio, platinoídes, prata.	2,5%

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 27 Minerais submetidos a taxas específicas

Minerais	Valor por tonelada de acordo com a quantidade produzida ou obtida
Agregados, saibros, dolomita, cascalho, gipsita, rochas, sal, areia.	30 cents
Pedras para construção, calcário metalúrgico, sílica, talco.	50 cents

Fonte: elaboração do próprio autor.

Outras taxas de *royalties*:

- carvão (não exportado)

AU\$ 1 por tonelada a ser ajustado a cada ano, em 30 de junho, de acordo com o aumento percentual no valor médio “na mina” de Collie para o ano que termina nessa data quando comparado com o valor correspondente do carvão de Collie para o ano que terminou, em 30 de junho de 1981.

- granada

- 5% do valor realizado para os graus usuais;
- 2,5% do valor realizado para os graus de mais alta tecnologia.

- ouro

1,25% do valor realizado do ouro metálico produzido a partir de julho de 1998, aumentando-se para 2,5% a partir de julho de 2000.

- manganês

5% para o manganês beneficiado pelo produtor no estado de Western Australia, desde que esse beneficiamento não seja lavagem, secagem, moagem e peneiragem.

- níquel

de acordo com a seguinte fórmula:

$$\frac{PxU}{100} \times \frac{2,5}{100} = \$R \text{ por tonelada}$$

onde:

P = preço bruto FOB por tonelada de níquel metálico ou seu equivalente usado para calcular o preço real de produtos que contenham níquel;

U = número de unidades por centena de níquel metálico nos produtos vendidos que contenham níquel;

R = *royalty*

Em março de 2012, o Parlamento da Austrália aprovou a criação de um novo imposto mineral sobre lucros extraordinários (*Minerals Resource Rent Tax*), a ser cobrado das empresas mineradoras de ferro e carvão que tenham lucro anual maior que AU\$ 75 milhões.

Impostos sobre lucros extraordinários são definidos como aqueles que podem ser cobrados sem que se distorçam as decisões dos investidores. Na Austrália, foi criado um imposto desse tipo; no Brasil, não existe esse gênero de imposto no setor mineral. No entanto, existe um imposto dessa espécie no setor petrolífero brasileiro.

No regime brasileiro de concessão petrolífera, existem dois tipos diferentes de participações governamentais: compensação financeira (*royalty*) e participação especial. O conceito da participação especial do setor petrolífero nacional é similar ao conceito do imposto sobre lucros extraordinários. Os *royalties* e participação especial são arrecadados pelo governo federal e distribuídos aos órgãos da administração direta federal, aos estados e aos municípios.

A cobrança de *royalties* incide sem que sejam considerados os lucros. Quando a rentabilidade é muito alta, os *royalties* recuperam apenas uma pequena parte dos lucros extraordinários. É importante, então, haver um imposto sobre lucros extraordinários, de

modo a se arrecadar para a sociedade uma parte do lucro extraordinário de determinado projeto de extração comercial de um bem público.

Uma forma de imposto sobre lucros extraordinários é o de Brown, que incide sobre a diferença entre receita e despesa. Quando o fluxo de caixa é positivo, o governo taxa o investidor; quando é negativo, geralmente na fase de investimento, o governo reembolsa o investidor.

O modelo de Brown é, contudo, difícil de administrar em razão da natureza imediata do reembolso. Dessa forma, os governos usam modelos similares ao de Brown, mas sem a necessidade do reembolso.

Um modelo bastante usado é o de Garnaut-Clunies Ross, no qual se cobra um imposto quando o fluxo de caixa de um projeto é positivo, mas não há reembolso quando o fluxo de caixa é negativo. As perdas correspondentes ao fluxo de caixa negativo são utilizadas como dedução nos anos em que o fluxo de caixa for positivo. As perdas são corrigidas por uma taxa de juros que pode incluir um prêmio de risco, pois existe a possibilidade de o investidor não se beneficiar de deduções no futuro.

Como os *royalties* tendem a ser fixos, eles, normalmente, correspondem a uma baixa alíquota, de modo a permitir a operação da mina, mesmo em períodos de preços baixos. Assim, os *royalties* falham em garantir um retorno para a sociedade nos períodos de preços altos.

Em razão disso, o Parlamento da Austrália decidiu pela cobrança de um imposto sobre lucros extraordinários – ILE sobre as operações com carvão e ferro, que, juntamente com o petróleo e gás, são responsáveis pela maior parte da riqueza natural não renovável do país.

O ILE é um tipo de imposto baseado no modelo de Garnaut-Clunies Ross. Ele incide sobre os lucros líquidos das grandes empresas em um determinado ponto de taxaço. Esse ponto separa as operações a montante (*upstream*) e a jusante (*downstream*).

Como, em geral, os minérios são vendidos a jusante do ponto de taxaço, é necessário que se calculem os lucros líquidos no ponto de taxaço. Para isso são utilizados métodos apropriados para cada situação.

Para calcular o lucro sobre o qual incidirá o ILE, podem ser contabilizadas as despesas operacionais e de investimento por meio de um processo de atribuir uma parcela da receita ao pagamento das operações a montante (*upstream*).

Essas despesas, juntamente com os créditos de *royalties*, as perdas, a depreciação e as perdas de outros projetos, podem ser deduzidas das receitas. Se as perdas e os créditos de *royalties* não puderem ser usados em um determinado ano, elas podem ser transferidas para períodos futuros e corrigidas.

Descreve-se, a seguir, um caso de aplicação do ILE, no qual é taxado o lucro extraordinário sobre bens extraídos do subsolo que não recebem nenhum processamento que represente uma grande agregação de valor, sendo que o lucro atribuído ao recurso representa o valor desses bens para a comunidade australiana. Quando o recurso a ser taxado é resultado de processos de beneficiamento, tais como moagem, separação e refinamento, o valor adicionado é atribuído ao minerador.

O lucro da mineração são as receitas menos as despesas da atividade. Se o resultado for negativo, não é lucro, mas perda. O ponto de taxaço é aquele onde o recurso é colocado após a extração, pronto para ir para a próxima unidade de produção. Nesse caso, o processo de atribuição de valor adotará um método adequado de precificação.

As despesas de mineração são os custos a montante (*upstream*) nos quais incorre o minerador. Elas incluem os custos relacionados à construção da mineração, explosões e perfurações, infraestrutura e ativos usados para transportar o recurso para o ponto de taxaço, tais como caminhões fora de estrada e correias transportadoras.

Algumas despesas são especificamente excluídas das despesas de mineração, tais como pagamentos financeiros, custos de aquisição de direitos minerários, pagamentos de *royalties* e alguns pagamentos de impostos.

O passo seguinte é determinar as deduções de *royalties* e de perdas de mineração. A dedução de *royalties* é por dentro, usando a taxa do ILE, de tal modo que ela reduz o ILE pelo valor dos *royalties*.

Quando o valor total da dedução para determinado ano não puder ser usado integralmente, a parcela não usada será corrigida e transferida para o próximo ano. A taxa de correção utilizada é a do título público de longo prazo mais 7%. Se houver perdas de mineração, elas também serão corrigidas pela taxa do título público de longo prazo mais 7% e carregadas para o ano seguinte.

Subtraindo-se as deduções e as despesas de mineração da receita de mineração obtém-se o lucro.

O ILE é calculado multiplicando-se o lucro da mineração pela taxa do ILE. A taxa básica do ILE é 30%. No entanto, é reconhecido que os mineradores utilizam técnicas especiais para extrair os recursos e para trazê-los até o ponto de taxaço. Dessa forma, utiliza-se um fator de extração que reduz a taxa básica de 30% para uma taxa efetiva de 22,5%, o que representa uma redução de 25% da taxa básica.

A Tabela 28 mostra um exemplo hipotético de cálculo do ILE. Nesse exemplo, a Mineradora A tem uma receita de mineração de AU\$ 500 milhões, incorre em despesas a montante (*upstream*) de AU\$ 120 milhões e paga *royalties* de AU\$ 37,5 milhões para o

estado (7,5% da receita de mineração). Além disso, são transferidas perdas de AU\$ 50 milhões do ano anterior. Assume-se que a taxa do título público de longo prazo é de 6%.

Nesse exemplo, conforme mostrado na Tabela 28, a Mineradora A tem que pagar um ILE de AU\$ 35,3 milhões, o que, nesse caso, corresponde a cerca de 10% do lucro da mineração, que seria de AU\$ 380 milhões.

Tabela 28 Exemplo de cálculo do ILE

Item	AU\$ (milhões)
Receitas de mineração	500,00
Despesas de mineração	-120,00
Lucro da mineração	380,00
Dedução de <i>royalties</i> (AU\$ 37,5/0,225)	-166,67
Dedução de perdas	-56,50
Lucro líquido	156,83
Imposto sobre lucros extraordinários – ILE (AU\$ 156,83 x 0,225)	35,30

Fonte: elaboração do próprio autor.

4.2.2 Canadá

As atividades de mineração ocorrem em todas as províncias e territórios do Canadá.

Carvão e areias betuminosas compõem a principal produção da província de Alberta. Cerca de metade da produção canadense de carvão ocorre nesse estado. A província de British Columbia é grande produtora de metais preciosos, carvão e minerais industriais. Na região entre as províncias de Manitoba e Saskatchewan ocorrem importantes atividades de mineração de cobre, zinco, níquel e metais preciosos.

A província de Quebec produz cerca de 42% de toda a produção de minério de ferro do país. Os principais minerais e metais produzidos em New Brunswick são zinco, potássio, prata, chumbo, cobre e carvão. A produção de minério de ferro em Labrador responde por 57% da produção canadense. Em Nova Scotia são produzidos, além de carvão, gipsita, sal, agregados minerais e cimento.

A Tabela 29 mostra a cobrança de compensação financeira em sete províncias do Canadá.

Tabela 29 Compensação financeira em sete províncias do Canadá

	Primeiro tipo de compensação	Segundo tipo de compensação
Alberta	1% das receitas na boca da mina	12% dos lucros líquidos

	Primeiro tipo de compensação	Segundo tipo de compensação
British Columbia	2% das receitas operacionais	13% dos lucros líquidos cumulativos
Manitoba	–	Alíquotas incidentes sobre o lucro: 10% (<\$50 M); 65% (\$50 M to \$55 M); 15% (\$55 M to \$100 M); 57% (\$100 M to \$105 M); 17% (>\$105 M) M = milhões
New Brunswick	2% da receita líquida	16% do lucro líquido
Labrador	12% a 16% da receita líquida, dependendo do nível de produção e do lucro	
Nova Scotia	2% da receita líquida ou NSR	15% da receita líquida
Quebec	16% a 28% sobre o lucro, dependendo da rentabilidade.	

Fonte: elaboração do próprio autor.

4.3 A legislação brasileira

A política pública referente à compensação financeira ou à participação governamental na exploração dos bens da União deve ter como base o § 1º do art. 20 da Constituição Federal.

Transcreve-se, a seguir, esse dispositivo constitucional:

“Art. 20.

.....

§ 1º É assegurada, nos termos da lei, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios, bem como a órgãos da administração direta da União, participação no resultado da exploração de petróleo ou gás natural, de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica e de outros recursos minerais no respectivo território, plataforma continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva, ou compensação financeira por essa exploração.”

Pela transcrição acima, observa-se que a Carta Magna indica que a participação governamental no resultado da exploração de petróleo ou de outros recursos minerais ou compensação financeira devem ter tratamento semelhante.

A Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, instituiu, para os Estados, Distrito Federal e Municípios, compensação financeira pelo resultado da exploração de petróleo ou gás natural,

de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, de recursos minerais em seus respectivos territórios, plataformas continental, mar territorial ou zona econômica exclusiva.

Essa Lei estabeleceu os seguintes percentuais de compensação financeira:

- até 3% sobre o valor do faturamento líquido resultante da venda do produto mineral, obtido após a última etapa do processo de beneficiamento adotado e antes de sua transformação industrial;
- 5% sobre o valor do óleo bruto, do xisto betuminoso e do gás extraído de seus respectivos territórios. É também devida a compensação financeira aos Estados, Distrito Federal e Municípios confrontantes, quando o óleo, o xisto betuminoso e o gás forem extraídos da plataforma continental nos mesmos 5%.

Com relação à Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais – CFEM, a Lei nº 7.990/1989 não definiu o percentual dessa Compensação para os vários minerais, nem definiu o que é “faturamento líquido”. A Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, de certa forma, corrigiu essas lacunas, conforme disposto em seu art. 2º, transcrito a seguir:

“Art. 2º Para efeito do cálculo de compensação financeira de que trata o art. 6º da Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989, entende-se por faturamento líquido o total das receitas de vendas, excluídos os tributos incidentes sobre a comercialização do produto mineral, as despesas de transporte e as de seguros.

§ 1º O percentual da compensação, de acordo com as classes de substâncias minerais, será de:

I – minério de alumínio, manganês, sal-gema e potássio: 3% (três por cento);

II – ferro, fertilizante, carvão e demais substâncias minerais: 2% (dois por cento), ressalvado o disposto no inciso IV deste artigo;

III – pedras preciosas, pedras coradas lapidáveis, carbonados e metais nobres: 0,2% (dois décimos por cento);

IV – ouro: 1% (um por cento), quando extraído por empresas mineradoras, isentos os garimpeiros.”

Observa-se que o potássio, importantíssimo insumo para a agricultura e cuja demanda é atendida em 93% por importação, está sujeito a uma alíquota de 3%. O minério de ferro, que poderia gerar grandes receitas públicas, está submetido a uma alíquota de apenas 2%. Não são adotados critérios racionais na definição das alíquotas estabelecidas pela Lei nº 8.001/1990.

A Lei nº 8.001/1990 fixou alíquotas para a CFEM de 0,2 a 3%, mas não trouxe maiores inovações em relação ao setor petrolífero.

As inovações nesse setor ocorreram a partir do estabelecimento das participações governamentais pela Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, em seu art. 45, *in verbis*:

“Art. 45. O contrato de concessão disporá sobre as seguintes participações governamentais, previstas no edital de licitação:

- I – bônus de assinatura;
- II – *royalties*;
- III – participação especial;
- IV – pagamento pela ocupação ou retenção de área.”

Os *royalties* e a participação especial são as participações governamentais mais significativas em termos monetários no que tange ao setor petrolífero. O texto da Lei nº 9.478/1997, que estabelece o valor dos *royalties*, é transcrito a seguir:

“Art. 47. Os *royalties* serão pagos mensalmente, em moeda nacional, a partir da data de início da produção comercial de cada campo, em montante correspondente a dez por cento da produção de petróleo ou gás natural.

§ 1º Tendo em conta os riscos geológicos, as expectativas de produção e outros fatores pertinentes, a ANP poderá prever, no edital de licitação correspondente, a redução do valor dos *royalties* estabelecido no caput deste artigo para um montante correspondente a, no mínimo, cinco por cento da produção.”

Depreende-se, então, que os *royalties* podem variar de 5% a 10% do valor da produção de petróleo ou gás natural.

As condições para a cobrança da participação especial relativa à produção de petróleo e gás natural estão dispostas no art. 50 da Lei nº 9.478/1997, conforme transcrito a seguir:

“Art. 50. O edital e o contrato estabelecerão que, nos casos de grande volume de produção, ou de grande rentabilidade, haverá o pagamento de uma participação especial, a ser regulamentada em decreto do Presidente da República. (Vide Lei nº 10.261, de 2001)

§ 1º A participação especial será aplicada sobre a receita bruta da produção, deduzidos os *royalties*, os investimentos na exploração, os custos operacionais, a depreciação e os tributos previstos na legislação em vigor.”

A Tabela 30, mostrada a seguir, detalha as mais importantes participações governamentais decorrentes da exploração de minério de ferro, que é a principal fonte de arrecadação do setor mineral, e de petróleo e gás natural.

Tabela 30 Participações governamentais

	Royalty	Participação especial
	0,2 a 3% sobre o faturamento líquido	Não
	Destinação:	
Recursos minerais	- 65% para os municípios	-
	- 23% para os estados	
	- 12% para a União	

Royalty		Participação especial
		Sim
		Destinação:
Petróleo (regime de concessão)	5% sobre o valor da produção ¹	- 10% para os municípios
	5% a 10% sobre o valor da produção ²	- 40% para os estados
		- 50% para a União

Fonte: elaboração do próprio autor.

¹Destino da parcela de 5%:

I – exploração em terra:

a) 70% (setenta por cento) aos estados produtores;

b) 20% (vinte por cento) aos municípios produtores;

c) 10% (dez por cento) aos municípios onde se localizarem instalações marítimas ou terrestres de embarque ou desembarque de óleo bruto e/ou gás natural.

II – exploração na plataforma continental: é também devida a compensação financeira de 5% quando da exploração na plataforma continental, sendo 1,5% aos estados e Distrito Federal e 0,5% aos municípios onde se localizarem instalações marítimas ou terrestres de embarque ou desembarque; 1,5% aos municípios produtores e suas respectivas áreas geoeconômicas; 1% ao Ministério da Marinha, para atender aos encargos de fiscalização e proteção das atividades econômicas das referidas áreas e 0,5% para constituir um Fundo Especial a ser distribuído entre os estados, Territórios e municípios.

²A parcela do valor do *royalty* que exceder a 5% da produção terá a seguinte distribuição:

I – exploração em terra:

a) 52,5% aos estados produtores;

b) 15% aos municípios produtores;

c) 7,5% aos municípios que sejam afetados pelas operações de embarque e desembarque de petróleo e gás natural, na forma e critério estabelecidos pela ANP;

d) 25% ao Ministério da Ciência e Tecnologia, para financiar programas de amparo à pesquisa científica e ao desenvolvimento tecnológico aplicados à indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis;

II – exploração na plataforma continental:

a) 22,5% aos estados produtores confrontantes;

b) 22,5% aos municípios produtores confrontantes;

c) 15% ao Ministério da Marinha, para atender aos encargos de fiscalização e proteção das áreas de produção;

d) 7,5% aos Municípios que sejam afetados pelas operações de embarque e desembarque de petróleo e gás natural, na forma e critério estabelecidos pela ANP;

e) 7,5% para constituição de um Fundo Especial, a ser distribuído entre todos os estados, Territórios e municípios;

f) 25% ao Ministério da Ciência e Tecnologia, para financiar programas de amparo à pesquisa científica e ao desenvolvimento tecnológico aplicados à indústria do petróleo, do gás natural e dos biocombustíveis.

4.4 Arrecadação no setor petrolífero e no setor mineral

No Brasil, de 2004 a 2012, foram arrecadados R\$ 172,5 bilhões de compensação financeira relativa ao setor petrolífero e R\$ 8,7 bilhões relativos ao setor mineral. A Tabela 31 mostra essa arrecadação ano a ano.

Tabela 31 Arrecadação de *royalties* e participação especial e de CFEM

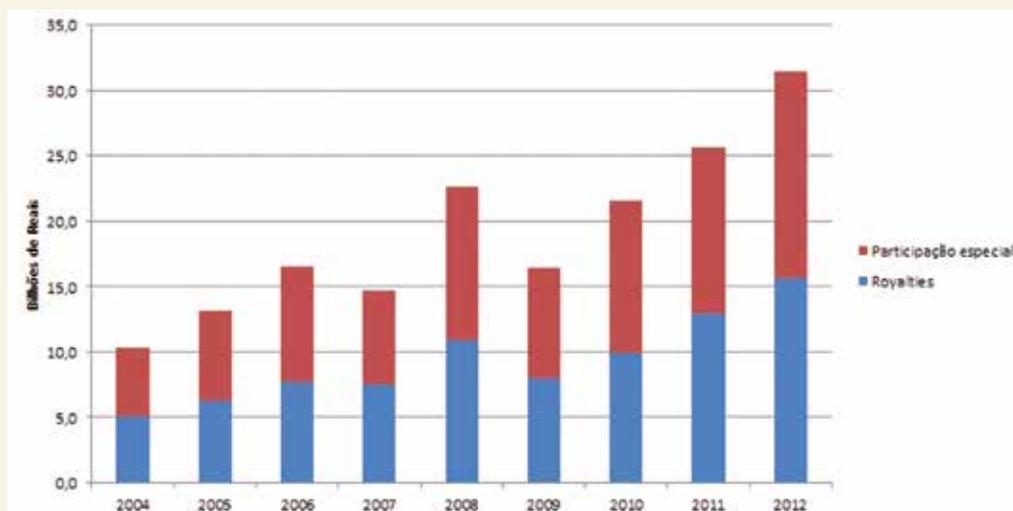
Ano	Setor petrolífero		Total	Setor mineral
	Royalties (R\$ bilhões)	Participação especial (R\$ bilhões)		CFEM (R\$ bilhões)
2004	5,0	5,3	10,3	0,3
2005	6,2	7,0	13,2	0,5

Ano	Setor petrolífero		Total	Setor mineral
	Royalties (R\$ bilhões)	Participação especial (R\$ bilhões)		CFEM (R\$ bilhões)
2006	7,7	8,8	16,5	0,5
2007	7,5	7,2	14,7	0,6
2008	10,9	11,7	22,6	1,0
2009	8,0	8,5	16,4	0,9
2010	9,9	11,7	21,6	1,2
2011	13,0	12,6	25,6	1,7
2012	15,6	15,9	31,5	2,0
Total	83,9	88,6	172,5	8,7

Fonte: elaboração do próprio autor.

A Figura 18 mostra a evolução da arrecadação da compensação financeira relativa ao setor petrolífero. Observa-se que há uma tendência de aumento dessa arrecadação.

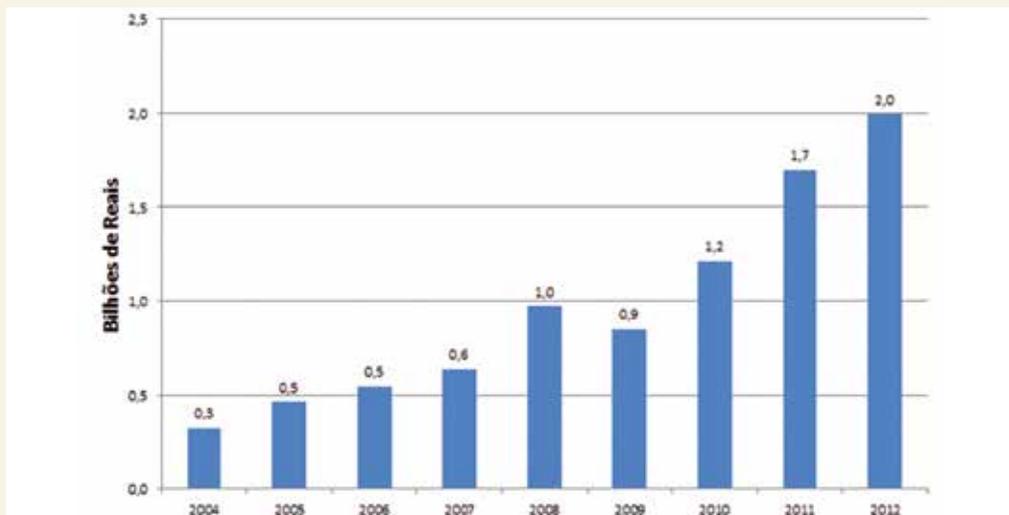
Figura 18 Evolução da compensação financeira do setor petrolífero



Fonte: elaboração do próprio autor.

A Figura 19 mostra a evolução da arrecadação da CFEM. Observa-se que houve um aumento dessa arrecadação, que passou de R\$ 0,326 bilhão, em 2004, para R\$ 2 bilhões, em 2012.

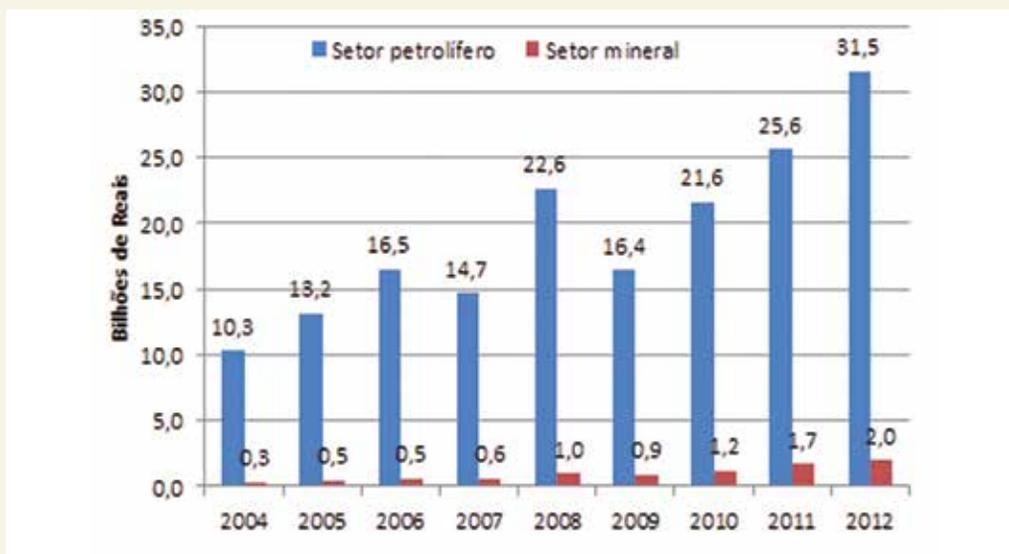
Figura 19 Evolução da compensação financeira do setor mineral.



Fonte: elaboração do próprio autor.

A Figura 20 mostra a evolução e os valores arrecadados da compensação financeira tanto do setor petrolífero quanto do setor mineral. Observa-se que o setor petrolífero gerou compensações financeiras muito maiores que as do setor mineral.

Figura 20 Valores da compensação financeira dos setores petrolífero e mineral



Fonte: elaboração do próprio autor.

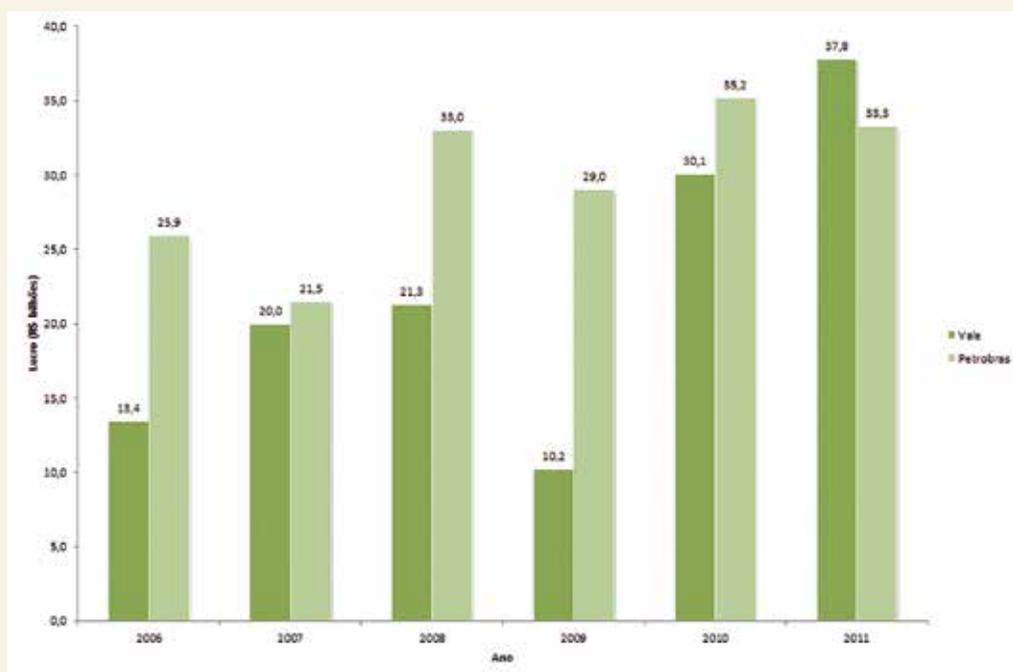
Observa-se, então, que a produção de petróleo e gás natural gerou participações governamentais muito maiores que a lavra de recursos minerais.

No Brasil, as duas principais empresas de exploração de recursos naturais, petróleo e minério de ferro são, respectivamente, a Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras e a Vale S.A. No ano de 2012, o lucro líquido da Petrobras foi de R\$ 21,18 bilhões, enquanto o da Vale foi de R\$ 9,7 bilhões.

Em 2012, a Vale “tirou esqueletos do armário” e quitou débitos cobrados pela União de R\$ 3,3 bilhões até então contestados na Justiça. Nesse ano, a mineradora revisou para baixo o valor das minas e unidades de produção de alumínio, níquel e outros ativos (perda de R\$ 13,2 bilhões) e sofreu com impacto negativo do câmbio (R\$ 4,1 bilhões). Excluídos esses “efeitos contábeis” que, segundo a Vale, não irão se repetir, o lucro de 2012 foi de R\$ 22,2 bilhões. Assim sendo, pode-se considerar o ano de 2012 como atípico.

De 2006 a 2011, o lucro médio da Vale foi de R\$ 22,1 bilhões, enquanto o lucro médio da Petrobras foi de R\$ 29,7 bilhões. A Figura 21 mostra os lucros da Vale e da Petrobras no período de 2006 a 2011.

Figura 21 Lucros da Vale e da Petrobras no período de 2006 a 2011



Fonte: elaboração do próprio autor.

Observa-se, então, que os lucros da Petrobras e da Vale têm sido da mesma ordem de grandeza. No entanto, a compensação financeira paga por essas duas empresas apresenta diferentes ordens de grandeza, conforme mostrado na Figura 21. De 2006 a 2011, o lucro líquido acumulado da Petrobras foi de R\$ 177,9 bilhões, enquanto o da Vale foi de R\$ 132,8 bilhões.

Mais de 90% dos *royalties* e participação especial referentes à produção de petróleo e gás natural decorrem de pagamentos da Petrobras. No setor mineral, muitas são as empresas que atuam nos diversos segmentos da mineração. Entretanto, a Vale é responsável por cerca de 50% do pagamento da CFEM.

Admitindo-se esses percentuais, de 2006 a 2011 a compensação financeira acumulada paga pela Petrobras foi de R\$ 105,8 bilhões, enquanto a Vale pagou apenas cerca de R\$ 3 bilhões a título de CFEM.

Assim, o lucro líquido acumulado da Petrobras foi 1,7 vez maior que a compensação financeira acumulada. Já a Vale teve um lucro líquido acumulado 45 vezes maior que a CFEM acumulada.

Observa-se, então, que a Petrobras gera uma arrecadação de compensação financeira proporcionalmente muito maior que a Vale.

4.5 Comparação entre o Brasil e outros países

De uma maneira geral, pode-se dizer que a compensação financeira pela produção mineral no Brasil é menor e não acompanha as mudanças legislativas ocorridas em outros países mineradores, tais como Austrália e Canadá. A Tabela 32 mostra um quadro comparativo com os principais estados mineradores de ferro da Austrália e Canadá.

Tabela 32 Compensações financeiras em diversos países.

Substância	Austrália ¹	Canadá ²	Brasil
Cobre	5% do valor "na mina"	12% a 16% da receita líquida	2% do faturamento líquido
Bauxita	7,5% do valor de venda		3% do faturamento líquido
Diamante	7,5% do valor "na mina"		0,2% do faturamento líquido
Ouro	1,25% do valor "na mina"		1% do faturamento líquido
Minério de ferro	5% a 7,5% do valor "na mina" + imposto mineral sobre a receita líquida	12% a 16% da receita líquida	2% do faturamento líquido
Magnesita	5% do valor "na mina"		2% do faturamento líquido
Zinco	5% do valor "na mina"		2% do faturamento líquido

¹ Western Australia

² Labrador

Fonte: elaboração do próprio autor.

4.6 Análise das receitas para pesquisa e desenvolvimento

No setor mineral, a Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, art. 2º, § 2º, II-A, dispõe que 2% da compensação financeira pela exploração de recursos minerais têm de ser destinados para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. No ano de 2012, essa compensação foi de R\$ 2 bilhões. Dessa forma, R\$ 40 milhões deveriam ter sido destinados para pesquisa e desenvolvimento.

No setor petrolífero, a Lei nº 9.478/1997, art. 49, I, “d”, estabelece que 25% da parcela do valor do *royalty* que exceder a 5% da produção devem ser destinados ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. No ano de 2012, R\$ 1,8 bilhão deveria ter sido destinado para pesquisa e desenvolvimento.

Além desses recursos estatais, caso participação especial seja devida para um campo em qualquer trimestre, o concessionário fica obrigado a realizar despesas qualificadas com pesquisa e desenvolvimento em valor equivalente a 1% da receita bruta da produção para tal campo. Assim sendo, que cerca de R\$ 1,2 bilhão deve ter sido aplicado pelas empresas petrolíferas em pesquisa e desenvolvimento no Brasil, totalizando, nesse setor, investimentos da ordem de R\$ 3 bilhões.

No Brasil, a produção mineral não é regida por contrato e não há obrigação contratual de as empresas realizarem investimentos em pesquisa e desenvolvimento.

No setor elétrico, a Lei nº 8.001/1990, art. 1º, V, dispõe que 4% da compensação financeira pela exploração de recursos hídricos têm de ser destinados para o Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT. No ano de 2012, essa compensação foi de R\$ 2,2 bilhões. Dessa forma, R\$ 88 milhões deveriam ter sido destinados para pesquisa e desenvolvimento.

Além disso, a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, art. 1º, dispõe que as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 0,75% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento. O art. 2º, por sua vez, estabelece que as concessionárias de geração e empresas autorizadas à produção independente de energia elétrica ficam obrigadas a aplicar, anualmente, o montante de, no mínimo, 1% de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento, excluindo-se, por isenção, as empresas que gerem energia exclusivamente a partir de instalações eólica, solar, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e cogeração qualificada. Desse modo, estima-se que cerca de R\$ 600 milhões tenham sido aplicados por concessionárias desse setor.

Observa-se, então, que no setor mineral estão assegurados recursos para pesquisa e desenvolvimento da ordem de R\$ 40 milhões por ano, enquanto no setor petrolífero esses recursos são da ordem de R\$ 3 bilhões e no setor elétrico da ordem de R\$ 688 milhões. Tal diferença de recursos entre o setor mineral e os outros setores não parece justificável.

5. POLÍTICAS E AÇÕES PÚBLICAS E PRIVADAS

Para estabelecer uma política industrial que tenha como foco a construção de cadeias produtivas a partir de matérias-primas minerais abundantes no País, é preciso avaliar as razões dos sucessos e fracassos das políticas públicas atuais e das últimas décadas.

5.1 Histórico

No Brasil, muitos foram os exemplos de ações governamentais impositivas para o aproveitamento de petróleo, ferro e outros bens minerais. Nesse contexto, destacam-se as indústrias petrolífera, siderúrgica, nuclear e de fertilizantes, a partir dos anos 1930.

Essas políticas públicas resultaram no estabelecimento de modelos institucionais e procedimentos legais, inclusive com a instituição de empresas estatais em todas as etapas da cadeia produtiva.

A criação do Conselho Nacional de Petróleo – CNP, em 1938, do Conselho Nacional de Minas e Metalurgia – CNMM, em 1940 e, nas décadas seguintes, da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, em 1941, da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, em 1942, da Petróleo Brasileiro S.A. – Petrobras, em 1954 e da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, em 1956, são demonstrações dessas políticas públicas.

De 1930 a 1964, diversas ações governamentais, mesmo considerando as diferentes formas de governo, conseguiram consolidar instituições e empresas estatais que serviram como instrumento de atuação no setor e foram fundamentais para a manutenção de políticas que, muitas vezes, contrariavam as propostas de governo.

O Plano de Metas, vigente de 1956 a 1961, garantiu investimentos e políticas importantes para energia nuclear, petróleo, fertilizantes, siderurgia, cimento, alumínio, álcalis e exportação de minérios. De certa forma, deu continuidade às políticas do Governo Vargas em relação ao aproveitamento dos recursos minerais.

Nos governos militares de 1964 a 1985, especialmente na primeira fase, a mineração chegou ao primeiro plano das políticas governamentais. As diretrizes gerais para a ação no setor mineral, apresentados no I PMD (1965-1975), foram as seguintes:

- aproveitar intensa e imediatamente os recursos naturais conhecidos;
- ampliar, em curto prazo, o conhecimento do subsolo do país;
- promover a regulamentação dos artigos n^{os} 152 e 153 da Constituição Federal; e
- propor a revisão do Código de Minas.

A promulgação do novo Código de Mineração em 1967, a criação da Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais – CPRM, em 1969 e, posteriormente, do Centro de

Tecnologia Mineral – CETEM, em 1978 e das Empresas Nucleares Brasileiras – Nuclebras, em 1975, representam algumas das mudanças legais e institucionais implementadas pelo I PMD.

Cabe destacar que o planejamento da transformação mineral dos minérios metálicos e sua industrialização foram objeto de ação específica com a criação, em 1968, do Conselho Nacional de Siderurgia e Não Ferrosos – CONSIDER. Em 1971, foi lançado o Plano Siderúrgico Nacional, com o planejamento da expansão da capacidade produtiva.

Em 1974, foi criada a Siderurgia Brasileira S.A. – SIDERBRAS, que supervisionava a produção das siderúrgicas controladas pelo Estado, como a Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, as Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. – Usiminas, a Companhia Siderúrgica Paulista – Cosipa, a AÇOMINAS S.A. e a Companhia Siderúrgica de Tubarão – CST.

O CONSIDER e a SIDERBRAS, vinculados ao então Ministério da Indústria e Comércio – MIC, foram extintos em 1990 e as siderúrgicas passaram a ser supervisionadas pela Secretaria de Minas e Metalurgia do Ministério de Minas e Energia – MME até serem privatizadas na década de 1990.

O II Plano Decenal de Mineração – II PDM, para o período de 1981 a 1990, tinha os seguintes objetivos:

- estudar a potencialidade do subsolo brasileiro, no que se refere aos recursos minerais;
- reduzir a dependência do subsolo alheio para suprimento de nossas necessidades;
- definir as matérias-primas de origem mineral de importância fundamental para a economia do País; e
- realizar o desenvolvimento coordenado do setor mineral.

Nos governos militares de 1964 a 1985, a mineração foi considerada estratégica para fortalecer os laços com os grandes grupos econômicos mundiais. Além disso, expressava uma política de soberania ao consolidar a posição brasileira como representante regional do bloco mundial comandado pelos Estados Unidos.

A Guerra Fria condicionava com mão de ferro as políticas nacionais, ainda mais quando se tratava da produção e comercialização de *commodities* necessárias para a indústria e que, além de terem grande trânsito transoceânico, significavam expressivos lucros para as multinacionais norte-americanas.

É importante reconhecer o fortalecimento da CVRD e das outras estatais para aproveitamento dos recursos naturais durante os governos militares.

Em 1994, foi publicado o Plano Plurianual para o Desenvolvimento do Setor Mineral – PPDSM, conforme determinação do Decreto Presidencial nº 918/1993 e da Portaria MME nº 435/1993. Esse Plano Plurianual e sua revisão, publicada em 2000, acompanharam a política mais geral do governo federal de redução do Estado nas atividades econômicas.

Tinham uma marcante diferenciação em relação às políticas minerais anteriores quanto à questão da soberania nacional e ao entendimento do papel do Estado. Os planos e as políticas estabelecidos a partir desse período reforçavam os postulados de um Estado mínimo, apontando para as políticas de regulação como essenciais ao capitalismo moderno globalizado. Esse capitalismo adquiriu um novo formato que se consolidou com o fim da Guerra Fria e as profundas mudanças nos países de economia centralizada como a extinta União das Repúblicas Socialistas Soviéticas.

Essa posição resultou, no setor mineral, na privatização da CVRD, das empresas siderúrgicas e das produtoras de fertilizantes. A privatização de setores como energia e telefonia ou a flexibilização do monopólio do petróleo foi seguida de novas legislações e instituições para a gestão e regulação econômica e administrativa desses setores. No setor mineral, após a venda da CVRD, das siderúrgicas e das empresas de fertilizantes, não ocorreu nenhuma ação governamental para estabelecer o controle e fiscalização, sendo deixado à mercê do mercado.

Nesse período também houve uma baixa prioridade orçamentária e de pessoal em relação à Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM e do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

A partir de 2003, diversas propostas e políticas públicas foram discutidas e se tornaram planos, programas, projetos e ações nacionais. No caso do aproveitamento dos bens minerais, destacam-se os seguintes planos nacionais: Plano Brasil Maior – PBM; Plano Nacional de Mineração – 2030; Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação – ENCTI, além de planos para política industrial do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio – MDIC e projetos do Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, descritos sucintamente a seguir.

5.2 Planos para política industrial

O MDIC lançou, em 2004, a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior – PITCE, com o objetivo de fortalecer e expandir a base industrial brasileira por meio da melhoria da capacidade inovadora das empresas. Concebida a partir de uma visão estratégica de longo prazo, a PITCE teve como pilar central a inovação e a agregação de valor aos processos, produtos e serviços da indústria nacional.

Em 2008, dando continuidade à PITCE, foi instituída a Política de Desenvolvimento Produtivo – PDP, com o objetivo de fortalecer a economia do País, sustentar o crescimento e incentivar a exportação. Seus princípios norteadores foram o diálogo com o setor privado e o estabelecimento de metas necessárias ao seu permanente monitoramento, tais como a recuperação da capacidade de formulação e coordenação do Estado brasileiro e a definição de ações integradas visando mudar o patamar da indústria nacional.

Dando sequência às políticas industriais, sob coordenação do MDIC, o Plano Brasil Maior – PBM estabelece a política industrial, tecnológica, de serviços e de comércio exterior para o período de 2011 a 2014. Ao mobilizar as forças produtivas para inovar, competir e crescer, o PBM busca aproveitar competências presentes nas empresas, na academia e na sociedade.

No PBM, os setores industriais estão divididos em blocos organizados segundo características relevantes e ajudam a ordenar o processo de formulação de propostas de programas e projetos que envolvam mais de um setor.

A mineração está no Bloco 2 do PBM, denominado de sistemas produtivos intensivos em escala, tendo as seguintes diretrizes:

1. Fortalecimento da atividade de mineração no País
 - estimular o aumento da produtividade dos processos produtivos da mineração;
 - fomentar a produção mais limpa; e
 - promover transferência de tecnologia para o fortalecimento das pequenas e médias empresas de mineração e atração de empresas estrangeiras de base tecnológica.
2. Adensamento produtivo na indústria de mineração
 - ampliar o conteúdo local na mineração e consolidar empresas fornecedoras de bens e serviços;
 - fortalecer programas para modernização de máquinas e equipamentos na mineração;
 - estimular a cooperação entre empresas de mineração e empresas da cadeia de fornecimento de bens e serviços nas regiões mineradoras; e
 - ampliar as compras governamentais de serviços para o aumento do conhecimento geológico.

5.3 Plano Nacional de Mineração – 2030

O Plano Nacional de Mineração 2030 – PNM-2030, cuja redação foi coordenada pela Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do MME, foi lançado em

fevereiro de 2011. Ele define os objetivos estratégicos e as ações para os próximos vinte anos na gestão dos bens minerais do País.

O PNM-2030 tem como fundamento três diretrizes básicas:

- governança pública eficaz para promover o aproveitamento dos bens minerais extraídos no País no interesse nacional;
- agregação de valor; e
- adensamento de conhecimento em todas as etapas da atividade mineral e sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva mineral.

Ele contempla onze objetivos estratégicos e as ações necessárias para viabilizá-los, além de estabelecer uma política mineral para o País.

No contexto do PNM-2030, foi encaminhado ao Congresso Nacional o Projeto de Lei nº 5.807/2013, que propõe um novo marco legal para o setor mineral, e foram propostas ações que garantam a definição de políticas específicas para os minerais estratégicos, além das fontes de recursos materiais e humanos capazes de viabilizar a pesquisa e a inovação no setor.

Com essas políticas, o governo federal reforça a presença do Estado na gestão dos bens minerais do País, sem o autoritarismo da ditadura militar e sem a omissão do Estado.

5.4 Estratégia Nacional de Ciência e Tecnologia e Inovação

A ENCTI elege programas prioritários de 2012 a 2015 que envolvem cadeias importantes para impulsionar a economia brasileira:

- tecnologias da informação e comunicação;
- fármacos e complexo industrial da saúde;
- petróleo e gás;
- complexo industrial de defesa;
- aeroespacial;
- nuclear; e
- áreas relacionadas com a economia verde e o desenvolvimento social.

Para o Brasil, o cenário global tende a induzir a especialização primário-exportadora, o que se reflete na ampliação das *commodities* na pauta de exportações e a crescente participação das importações no consumo doméstico, principalmente nos segmentos de média-alta e alta tecnologia.

A agropecuária e a indústria extrativa brasileira são tecnologicamente avançadas e é possível utilizar a demanda desses setores para fomentar a indústria produtora de insumos e bens de capital e outros segmentos da cadeia produtiva, além de fornecedores de serviços tecnológicos de alto valor agregado.

Nessa perspectiva, estão previstos programas, ações e investimentos para o aproveitamento sustentável dos recursos minerais.

5.5 Políticas públicas específicas para os minerais estratégicos

Como resultado e implementação dos planos nacionais, foi desenvolvida uma série de iniciativas em relação ao aproveitamento dos minerais estratégicos e, em especial, dos elementos terras-raras.

Por meio da Portaria Interministerial nº 614, de 30 de junho de 2010, foi instituído o Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos – GTI-ME, com a finalidade de elaborar propostas de integração, coordenação e aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para minerais estratégicos, conduzidas pelo MME e MCTI.

Na visão do GTI-ME, consideram-se como estratégicos os minérios e minerais contendo terras-raras, lítio, rochas e minerais aplicados na agricultura (agrominerais).

Em 29 de dezembro de 2010, foi apresentado o Relatório do GTI-ME que apresentou recomendações gerais para os minerais estratégicos e específicas para os terras-raras e o lítio.

As recomendações gerais para os minerais estratégicos foram as seguintes:

- criação de grupos de trabalho para acompanhamento de bens minerais considerados estratégicos, com enfoque para as oportunidades e ameaças do mercado nacional e internacional;
- realização de estudos diagnósticos e prospectivos das cadeias produtivas de minerais estratégicos selecionados visando à agregação de valor com competitividade nos seus diversos elos;
- realização de estudos dos direitos minerários requeridos e/ou outorgados para minerais estratégicos carentes e portadores do futuro;
- realização de programas de levantamento geológico de áreas potenciais para minerais estratégicos carentes e portadores do futuro;
- apoio à pesquisa mineral e adoção de processos inovadores para abertura de novas minas em áreas com presença de potássio, fosfato e minerais portadores de futuro;

- articulação interministerial com o setor produtivo para elaboração de programas de longo prazo voltados aos minerais portadores de futuro, objetivando a interação entre as instituições de ciência e tecnologia e empresas para a identificação de nichos competitivos de atuação, especialmente para os produtos de alta tecnologia.

As recomendações específicas para os terras-raras são:

- formação de Grupo de Trabalho para a articulação e coordenação das atividades de desenvolvimento do segmento de terras-raras;
- realização de diagnóstico e estudo prospectivo contando com a participação da universidade, setor empresarial, consumidores e potenciais produtores;
- implementação e/ou fortalecimento de programa de levantamento geológico detalhado, conjugado com o apoio à exploração mineral pelo setor privado;
- formatação de programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação de longo prazo nas áreas de tecnologia mineral e desenvolvimento de produtos com valor agregado, assegurando e promovendo a interação entre institutos de ciência e tecnologia e empresas;
- identificação de demanda e integração em projetos inovadores em curso, com previsão de grande consumo de terras-raras, como, por exemplo: implementação de uma cadeia produtiva, de inovação e integração industrial de ímãs de terras-raras apoiada pela ABDI, sob a responsabilidade da Fundação CERTI, no contexto da cooperação bilateral Brasil – Alemanha; “MagLev Cobra” da COPPE – UFRJ; e fabricação de motores elétricos de alto rendimento;
- articulações público-privadas visando à identificação de nichos de oportunidades para a produção no País de produtos de alta tecnologia com uso intensivo de compostos de terras-raras.

5.5.1 Programa ETR-BR do Plano Brasil Maior

O objetivo Geral do Programa Elementos Terras-Raras – ETR-BR é viabilizar a implantação do ciclo completo da cadeia industrial de terras-raras no Brasil, desde a produção de matérias-primas até a fabricação de produtos finais, em consonância com o PBM.

Os objetivos específicos desse programa são:

- construir sinergias empresariais no segmento de Elementos de Terras-Raras – ETR;
- integrar a oferta e a demanda de produtos ao longo da cadeia produtiva (insumos, bens intermediários e produtos finais);
- desenvolver aplicações de produtos de base ETR;

- reduzir a dependência externa de produtos de base ETR;
- promover o domínio tecnológico de produtos de base ETR em todos os elos da cadeia;
- implantar a cadeia industrial de terras-raras no Brasil.

5.5.2 Projeto PROTERRARAS

O projeto PROTERRARAS tem por finalidade contribuir para o domínio tecnológico da produção de óxidos de terras-raras e seus usos, como uma das etapas indispensáveis para a implantação e o desenvolvimento da cadeia produtiva de terras-raras no País e da indústria nacional de produtos de alta tecnologia contendo esses elementos.

O PROTERRARAS atende à demanda do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, por meio do CT-Mineral, que objetiva apoiar as atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação, capacitação e formação de recursos humanos, instalação, atualização e modernização laboratorial e cooperação internacional na área. O desenvolvimento deste trabalho terá a participação de todas as coordenações do CETEM, por intermédio de seus pesquisadores e bolsistas. Também contará com parcerias externas.

5.6 Políticas de apoio à inovação tecnológica

A inovação tecnológica é um dos principais requisitos para que as indústrias de diferentes setores, em particular da área de bens de capital, consigam se diferenciar e manter sua competitividade na atual economia globalizada. No Brasil, um dos maiores entraves para as empresas é a desinformação. Para o fomento das atividades de ciência e tecnologia, existem várias iniciativas, conforme descrito a seguir.

5.6.1 Leis de incentivo fiscal

Merecem destaque as Leis nº 11.196 de 21 de novembro de 2005, conhecida como Lei do Bem, e a nº 11.487, de 15 de junho de 2007, conhecida como Lei Rouanet de Pesquisa.

A Lei nº 11.196/2005 estabelece incentivos fiscais que as empresas podem usufruir de forma automática, desde que realizem ações em pesquisa básica, pesquisa aplicada, desenvolvimento tecnológico, desenvolvimento de protótipo e tecnologia industrial básica.

Por sua vez, a Lei nº 11.487/2007 estabelece incentivos fiscais que empresas podem usufruir para financiar projetos de pesquisa em instituições públicas de pesquisa.

5.6.2 Recursos não reembolsáveis e créditos subsidiados

Existem no País várias iniciativas para viabilizar o acesso a recursos não reembolsáveis e créditos subsidiados, tais como:

- Fundo Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT: instituído para dar apoio financeiro aos programas e projetos prioritários de desenvolvimento científico e tecnológicos nacionais;
- Subvenção econômica (FINEP/CNPq/FAPs): aplicação de recursos públicos diretamente em empresas, através de chamadas públicas da FINEP;
- Fundo Setorial Mineral (MCTI/MME/CT Mineral): apoio à geologia e mineração, através de encomendas e editais do CNPq e FINEP, tendo como recurso parcela disponibilizada no Orçamento Geral da União decorrente de parcela da CFEM;
- RHAE Pesquisador na empresa (MCTI/CNPq): executado por Editais do CNPq para a seleção de projetos de PDI que objetivam a integração de pesquisadores qualificados nas empresas;
- Sistema Brasileiro de Tecnologia – SIBRATEC (MCTI/FINEP): instituído com o objetivo de ser o principal instrumento de articulação da comunidade científica com as empresas;
- Associação Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial – EMBRAPI (MCTI/MEC): organização social supervisionada pelo MCTI constituída de um sistema de centros e laboratórios para atender à demanda empresarial por inovação;
- Programa Nacional de apoio a Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas – PNI (MCTI/FINEP): apoiar financeiramente projetos que objetivam estimular o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o País;
- Fundo Tecnológico – FUNTEC (BNDES): apoiar financeiramente projetos que objetivam estimular o desenvolvimento tecnológico e a inovação de interesse estratégico para o País;
- Crédito reembolsável com juros subsidiados (FINEP/BNDES): financia projetos de inovação em empresas. Crédito concedido a instituições que demonstram capacidade de pagamento e condições para desenvolver projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação;
- Programa de Incentivo à Inovação nas empresas brasileiras (FINEP): apoio aos Planos de Investimentos Estratégicos em Inovação das Empresas, em consonância com o Plano Brasil Maior. As linhas de ação são:
 - » Inovação pioneira; Inovação contínua; Inovação e competitividade; Tecnologias Críticas;

- » Pré-investimento;
 - » Tecnova;
 - » Inovacred;
 - » Ventures capital – Inovar;
 - » Inova Brasil.
- Inova Energia: o Plano de Ação Conjunta Inova Energia⁶⁷ é uma iniciativa destinada à coordenação das ações de fomento à inovação e ao aprimoramento da integração dos instrumentos de apoio disponibilizados pela FINEP, pelo BNDES e pela Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel, com as seguintes finalidades:
 - » apoiar o desenvolvimento e a difusão de dispositivos eletrônicos, microeletrônicos, sistemas, soluções integradas e padrões para implementação de redes elétricas inteligentes (Smart Grids) no Brasil;
 - » apoiar as empresas brasileiras no desenvolvimento e domínio tecnológico das cadeias produtivas das seguintes energias renováveis alternativas: solar fotovoltaica, termossolar e eólica para geração de energia elétrica;
 - » apoiar iniciativas que promovam o desenvolvimento de integradores e adensamento da cadeia de componentes na produção de veículos híbridos/elétricos, preferencialmente a etanol, e melhoria de eficiência energética de veículos automotores no País; e
 - » aumentar a coordenação das ações de fomento e aprimorar a integração dos instrumentos de apoio financeiro disponíveis.

As linhas do Inova Energia são:

- Linha 1: Redes Elétricas Inteligentes e Transmissão em Ultra-Alta Tensão;
- Linha 2: Geração de energia por meio de fontes alternativas;
- Linha 3: Veículos Híbridos e Eficiência Energética Veicular.

Podem participar do processo de seleção do Inova Energia empresas brasileiras, nas categorias Empresas Líderes ou Empresas Parceiras, e Instituições Científicas Tecnológicas – ICTs brasileiras que tenham interesse em empreender atividades de inovação aderentes às linhas temáticas, bem como em produzir e comercializar os produtos e serviços resultantes dessas atividades, conforme a seguir:

- Empresas Líderes: somente poderão apresentar propostas de Planos de Negócio empresas independentes ou pertencentes a grupo econômico que possuam receita operacional bruta igual ou superior a R\$ 16 milhões ou patrimônio líquido igual

67 Informação obtida no endereço eletrônico http://www.finep.gov.br/pagina.asp?pag=programas_inovenergia. Página acessada no dia 12 de fevereiro de 2014.

ou superior a R\$ 4 milhões no último exercício, podendo fazê-lo individualmente ou em parceria com empresas de qualquer porte ou ICTs;

- Exclusivamente na Linha Temática 1: Redes Elétricas Inteligentes (Smart Grids), empresas que possuam receita operacional bruta igual ou superior a R\$ 5 milhões e inferior a R\$ 16 milhões, e patrimônio líquido de qualquer valor, poderão apresentar propostas de Planos de Negócios, desde que apresentem também carta indicativa de interesse emitida por empresa concessionária do setor de energia elétrica;
- Empresas Parceiras: empresas brasileiras que não preencherem os requisitos financeiros estabelecidos no item anterior ou que não tenham interesse em participar de Plano de Negócio na condição de Empresa Líder poderão manifestar interesse em participar da seleção na condição de Empresa Parceira, mas sua participação no processo seletivo estará condicionada à oportuna formalização de parcerias com as Empresas Líderes;
- Instituições Científicas Tecnológicas: será admitido o cadastramento de ICTs interessadas na formalização de parcerias com as Empresas Líderes selecionadas.

5.7 Grupos de pesquisa e estudo

O Brasil conta com grupos de pesquisa de alto nível dedicados à questão dos bens minerais em muitas universidades e centros de pesquisa.

Muitas ações têm sido realizadas a partir da articulação desses grupos com as demandas e necessidades das políticas públicas para o aproveitamento dos bens minerais, ampliando e adensando a cadeia produtiva a partir dos bens minerais que o País possui e o desenvolvimento da cadeia de fornecedores de bens e serviços para a indústria de mineração e transformação.

Entre as instituições de destaque na área de minerais estratégicos e terras-raras, podem ser citados o CETEM, a Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, a Universidade Federal de Sergipe – UFS, a Universidade Estadual de Campinas – Unicamp, a Universidade de São Paulo – USP, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, a Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras – CERTI, o Instituto de Pesquisas Nucleares – IPEN, o Instituto de Energia Nuclear – IEN, o Centro de Desenvolvimento e Tecnologia Nuclear – CDTN, o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI e a FINEP.

5.8 Ações empresariais

Algumas empresas mineradoras, tendo visão e capacidade técnica e financeira, têm promovido o desenvolvimento tecnológico para o aproveitamento dos bens minerais que extrai ou pretende extrair. A seguir, são citadas algumas dessas empresas.

5.8.1 Vale S. A.

O Centro de Desenvolvimento Mineral – CDM da Vale desenvolve um dos maiores projetos de readequação da indústria de mineração: o Itabirito. Com investimentos de US\$ 5,5 bilhões na construção e adaptação de usinas de beneficiamento, vai ser possível reaproveitar o minério de ferro de baixo teor, que foi guardado em pilhas formadas ao longo dos anos, inaugurando uma terceira onda de produção nos complexos de Itabira e Vargem Grande.

O investimento nas tecnologias de processamento irá aumentar o atual volume de produção e estender a vida útil de quatro minas da região, entre elas a do Cauê, primeira operação de minério de ferro da empresa, inaugurada em 1942. O projeto deve estar concluído em 2015.

O Instituto Tecnológico Vale – ITV, criado em 2009, é uma instituição sem fins lucrativos, de pesquisa e ensino de pós-graduação. Seu objetivo é criar opções de futuro por meio da pesquisa científica e do desenvolvimento de tecnologias, expandindo o conhecimento e a fronteira dos negócios de maneira sustentável.

5.8.2 CBMM

A CBMM anunciou o desenvolvimento de uma tecnologia para a concentração de terras-raras presentes na monazita, mineral contido no minério utilizado pela Companhia em Araxá. O desenvolvimento foi todo feito localmente pela equipe de colaboradores do Centro de Tecnologia da CBMM. Em sua fábrica piloto, a empresa já produz dois concentrados refinados de terras-raras: sulfato duplo e hidróxido. A atual capacidade de produção é de cerca de 1.000 toneladas anuais, podendo ser elevada para 3 mil toneladas por ano a curto prazo.

A empresa deu um grande passo para colocar o Brasil entre os poucos países detentores da tecnologia de extração de terras-raras do mineral monazita. O grande diferencial nesse desenvolvimento é o fato de os terras-raras serem obtidos do resíduo do processo de produção de nióbio, sem a necessidade de mineração adicional.

A CBMM investiu cerca de R\$ 60 milhões no desenvolvimento dessa nova tecnologia. A Companhia parte agora para afunilar suas pesquisas visando à produção de um estudo de mercado e a possível produção de óxidos puros. Potenciais consumidores já

manifestaram interesse. A empresa é a única produtora de nióbio com presença em todos os segmentos de mercado. As atividades de mineração são feitas a céu aberto e sem explosivos. A unidade de concentração possui uma capacidade de produção instalada de 84 mil toneladas por ano. Os seguintes processos de produção são utilizados nesta unidade: moagem úmida, separação magnética, deslame e flutuação.

Para atingir as especificações exigidas pela indústria, o concentrado de pirocloro é refinado através de um processo pirometalúrgico, desenvolvido pela CBMM, que inclui pelotização e sinterização do concentrado flutuado, seguido de fusão redutora (desfosforação). Água é utilizada apenas para granular o concentrado e para lavar os gases na fase de sinterização. Operando desde o início de 2000, a nova planta pirometalúrgica resultou em maior eficiência, em redução de emissões e em melhor qualidade de produto. A nova unidade apresenta uma capacidade instalada que permite a produção de 84 mil toneladas por ano de concentrado refinado. O concentrado não é comercializado, sendo usado como matéria-prima dos produtos de nióbio fabricados pela CBMM.

A CBMM desenvolveu um processo para a obtenção de óxido de nióbio a partir do pirocloro. Esse processo é um dos mais importantes avanços tecnológicos já feitos na área, especialmente do ponto de vista econômico. A partir de 1980, início de operação da unidade de produção de óxido de nióbio, esta unidade foi objeto de um programa de melhorias que levaram a ganhos de produtividade e qualidade. Atualmente, a produção independe de matérias-primas importadas.

A unidade de produção de óxido de nióbio especial, estabelecida em junho de 1998, destina-se à produção de óxido de nióbio puríssimo, usado sobretudo em aplicações ópticas. A planta representa um esforço em pesquisa e desenvolvimento, e evidencia o empenho da CBMM em desenvolver compostos de nióbio de alta pureza.

A CBMM também produz ferro-nióbio padrão desde 1965. Em 1994, foi introduzida a aluminotermia em forno elétrico, em um processo semicontínuo. Conforme mencionado, a capacidade anual de produção é de 70 mil toneladas. Em uma planta auxiliar, é possível produzir 600 toneladas por mês de ferro-nióbio padrão pelo processo aluminotérmico convencional e com total proteção do meio ambiente. Esta planta está disponível para atender picos de demanda, especificações especiais, bem como eventuais restrições no fornecimento de eletricidade.

Existe, ainda, a unidade de produção de nióbio metálico. Para fabricar nióbio metálico puro e a liga nióbio-1% zircônio, a CBMM utiliza um forno de feixe de elétrons. A capacidade instalada do forno é de 210 toneladas por ano de lingotes cilíndricos, fabricados de acordo com os padrões ASTM B-391.

5.8.3 MBAC

A MBAC Fertilizer Corp. anunciou, em julho de 2011, a aquisição de uma opção de compra de 100% do Projeto Araxá, que compreende quatro áreas que cobrem 214 hectares no município de mesmo nome, localizado na região oeste do estado de Minas Gerais. Em setembro de 2011, a MBAC exerceu essa opção de compra.

Muitas atividades exploratórias na área do Projeto Araxá levaram à descoberta de importantes mineralizações de nióbio, fosfato e óxidos de terras-raras. As ocorrências de fosfato no carbonatito Barreiro foram descobertas pela primeira vez na década de 1950 e as áreas da MBAC foram exploradas, ao longo dos últimos 50 anos, pelo DNPM, Instituto de Pesquisas Radioativas – IPR, hoje Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN, Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM, Rhône-Poulenc e Extramil.

O carbonatito Barreiro, além de hospedar o Projeto Araxá, hospeda a grande mina de nióbio da CBMM, que supre cerca de 85% da demanda mundial dessa substância. A Figura 22⁶⁸ mostra a localização do Projeto Araxá entre duas operações de grande porte: Vale S.A. e CBMM.

Figura 22 Localização do Projeto Araxá.



Fonte: MBAC, 2011.

68 Disponível no sítio da internet http://www.cetem.gov.br/palestras/terras_raras/modulo-02/MBAC-carlos-braga-antenor.pptx, acessado em 25 de janeiro de 2012.

Os dados históricos de pesquisa mostram um depósito com um dos maiores teores do mundo, atingindo em alguns pontos teor de óxidos de terras-raras de 12%. A área central do depósito, que continha os maiores teores de óxidos de terras-raras, foi classificada como Área Zero. Trabalhos anteriores indicaram potencial de 2 a 4 milhões de toneladas com teores de 8 a 10% de óxidos de terras-raras. Os dados históricos também indicam recursos minerais de 112 milhões de toneladas com 10,2% de óxido de fósforo e 70 milhões de toneladas com 0,75% de óxido de nióbio.

O principal mineral encontrado é a monazita, com distribuição equilibrada nas frações granulométricas. A Tabela 33 mostra a composição de cada mineral.

Na monazita, encontra-se uma distribuição típica de terras-raras, embora o teor de európio seja anômalo em algumas amostras. A Tabela 34 mostra a distribuição em massa de óxidos de terras-raras na monazita.

A estimativa de recursos minerais inferidos do Projeto Araxá (MBAC NI 43-101, 2011), com dados recebidos até dezembro de 2011, baseia-se em 35 furos com broca de diamante de 3.485m de extensão, 68 pelo método do furo do trado de 381m e 43 cavas perfuradas com espaçamento de aproximadamente 40m por 40m. A MBAC continua realizando um programa de perfurações.

Tabela 33 Composição do mineral do Projeto Araxá.

Mineral	Composição (%)
Monazita	15
Pirocloro	2
Gorceixita-goiazita	31
Óxido/hidróxido de Ferro	8
Ilmenorutilo	2
Rutilo	1
Óxido de MnFeBa	1
Quartzo	39
Zircão ¹	0
Outros	0
Total	100

¹ Silicato de zircônio.

Fonte: MBAC, 2011.

A área de maior interesse mede 480m por 240m, onde foram feitas a maioria das perfurações com 40m de espaçamento. Outras perfurações com maior espaçamento não foram incluídas na estimativa por não assegurarem confiança geológica.

Em sua maioria, os dados da amostra foram finalizados em mineralizações entre 10m e 50m de profundidade, apesar de haver furos com broca de diamante com profundidade vertical acima de 40m. Todas as mineralizações são contidas em material saprolítico⁶⁹ e foram interpoladas como um único domínio horizontal mineralizado. As mineralizações de óxidos de terras-raras permanecem abertas em todas as direções.

Tabela 34 Distribuição em massa de óxidos de terras-raras na monazita.

Óxidos de terras-raras	Distribuição de massa (%)
Lantânio	29,46
Cério	48,64
Praseodímio e neodímio	18,06
Samário	1,59
Európio	0,33
Gadolínio	0,64
Disprósio	0,30
Itérbio	0,04
Ítrio	0,94

Fonte: MBAC, 2011.

Os dados históricos foram avaliados quanto a sua precisão e acurácia, quando possível. Somente as séries da Extramil de furos com diamante estavam disponíveis para reamostra, mas esses furos não tinham influência imediata sobre os atuais recursos inferidos da área.

A maioria das amostras apresentam certificados e foram analisadas por laboratórios respeitadas. Além disso, a MBAC realizou 36 avaliações pelo método do furo do trado que foram analisadas pelo Laboratório SGS Geosol. Os resultados dessas avaliações foram comparados com de furos anteriores de até 15m e moderada precisão foi encontrada. Esses resultados foram submetidos a dois padrões de óxidos de terras-raras do Geostats Pty Ltd. e obtida uma acurácia aceitável.

Os recursos minerais foram classificados pelo geólogo principal da Amazon Geoservices Ltda, de acordo com as exigências do NI 43-101, de 2 de dezembro de 2011. A

⁶⁹ Resultante de um processo natural de decomposição ou desintegração de rochas e solos, e seus minerais constituintes, por ação de efeitos químicos, físicos e biológicos que resultam de fatores ambientais.

estimativa de recursos minerais inferidos, conforme mostrado na Tabela 35, é de 2,7 milhões de toneladas com teor médio de óxidos de terras-raras de 8,39%, corte de 6%, teor médio de óxido de nióbio de 1,41% e teor médio de óxido de fósforo de 9,91%.

Tabela 35 Recursos minerais inferidos do Projeto Araxá.

Teor de corte (óxidos de terras-raras) (%)	Recursos inferidos ¹ (milhões de toneladas)	Óxidos de terras-raras (%)	Óxido de fósforo (%)	Óxido de nióbio (%)
0	8,0	5,90	9,75	1,00
2	8,0	5,90	9,75	1,00
4	6,9	6,25	9,70	1,05
6	2,7	8,39	9,91	1,41
8	1,0	10,90	11,78	1,95
10	0,5	13,03	13,01	2,25

¹ Recursos minerais inferidos não são reservas e não demonstram viabilidade econômica.

Fonte: MBAC, 2011.

Os graus mostrados na Tabela 35 colocam os depósitos de Araxá como um dos mais elevados do mundo. Os altos teores de terras-raras e nióbio tornam esses depósitos muito valiosos.

Com base nos últimos ensaios da MBAC, os óxidos mais pesados de terras-raras (Tb_2O_3 , Dy_2O_3 , Ho_2O_3 , Er_2O_3 , Tm_2O_3 , Eu_2O_3 , Gd_2O_3 e Lu_2O_3) representam 2,22% do total de óxidos de terras-raras.

Recursos totais inferidos atingem 8 milhões de toneladas com teor de óxidos de terras-raras de 5,9%. Adicionalmente, há um potencial geológico a ser determinado de 28 a 34 milhões de toneladas de recursos minerais com teor de óxidos de terras-raras de 4% a 6%.

O minério de nióbio e o minério de fosfato podem ser processados utilizando tecnologias conhecidas (MBAC, 2011). O minério de terras-raras é passível de ser lixiviado⁷⁰ por solução de ácido sulfúrico ou por fusão alcalina e isolado para produzir óxidos de alta pureza, por meio de extração por solvente ou processos de trocas iônicas⁷¹. Dessa forma, testes metalúrgicos estão em andamento.

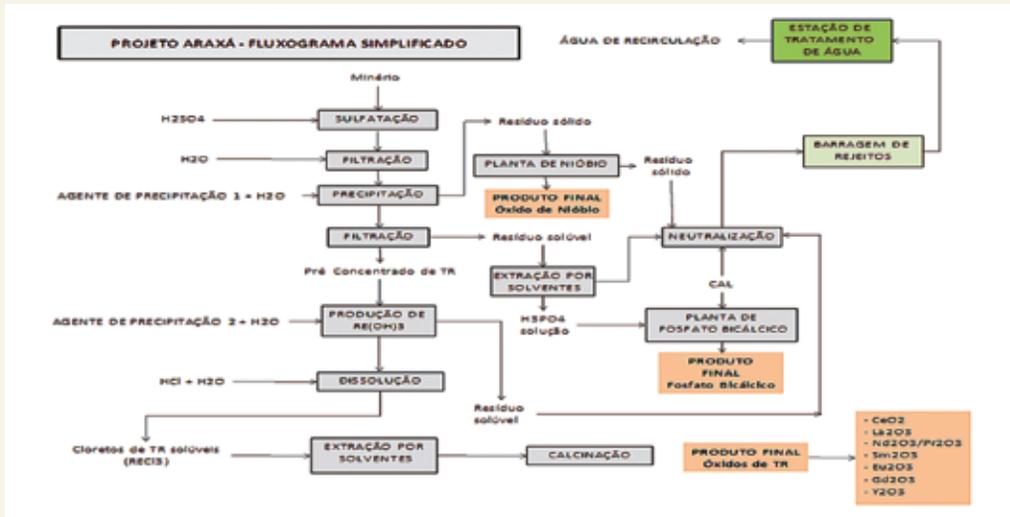
Uma planta piloto entrará em operação no segundo quadrimestre de 2012 e, no período de 6 a 8 meses, vai gerar os parâmetros técnico-operacionais do projeto. O fluxograma simplificado do tratamento do minério do Projeto Araxá é mostrado na Figura 23. O cronograma do Projeto Araxá está mostrado na Figura 24.

70 Lixiviação é o processo de extração de uma substância presente em componentes sólidos por meio de sua dissolução em um líquido.

71 Processo de remoção dos íons presentes em um meio aquoso, por meio de resinas catiônicas e aniônicas.

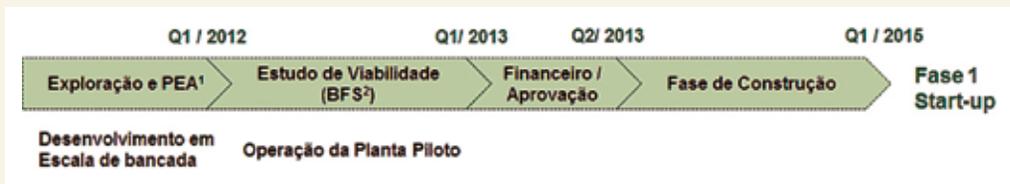
Conforme pode ser observado na Figura 23⁷², o Projeto Araxá apresenta os seguintes produtos finais: óxido de nióbio, fosfato bicálcio, óxido de cério, óxido de lantânio, óxido de neodímio, óxido de praseodímio, óxido de samário, óxido de európio, óxido de gadolínio e óxido de ítrio. Conforme mostrado na Figura 24⁷³, o Projeto Araxá deverá entrar em operação plena em 2015.

Figura 23 Fluxograma simplificado do tratamento do minério do Projeto Araxá



Fonte: MBAC, 2011.

Figura 24 Cronograma do Projeto Araxá



Fonte: MBAC, 2011.

No Programa Inova Energia, a MBAC consta como Empresa Líder, Linha 2, na lista dos planos de negócio aprovados divulgada no dia 7 de janeiro de 2014. Os parceiros da MBAC são Fundação CERTI, UFSC, Wind Power, Whirpool, WEG e Bosch. Paralelamente, a ABDI e a Confederação Nacional da Indústria – CNI encomendaram um estudo para implantação de um laboratório para produção de ímãs de alta potência à

72 Disponível no sítio da internet http://www.cetem.gov.br/palestras/terras_raras/modulo-02/MBAC-carlos-braga-antenor.pptx, acessado em 25 de janeiro de 2012.

73 Disponível no sítio da internet http://www.cetem.gov.br/palestras/terras_raras/modulo-02/MBAC-carlos-braga-antenor.pptx, acessado em 25 de janeiro de 2012.

Fundação CERTI, com a participação do Instituto Fraunhofer, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, do CETEM e da UFSC.

5.8.4 Minsur – Mineração Taboca

A mina de Pitinga, localizada na Província de Presidente Figueiredo (AM), no estado do Amazonas, é explorada desde 1982 pela Mineração Taboca S.A., sendo um dos maiores depósitos de cassiterita do mundo (Vieira e Lins, 1997). Individualmente, é a maior produtora brasileira de cassiterita.

A Mineração Taboca atua na mineração e metalurgia de estanho e outros minerais industriais. Em 1973, o grupo controlador da empresa incorporou a empresa Mamoré Mineração e Metalurgia e verticalizou a produção. Na planta localizada no estado de São Paulo, o concentrado de cassiterita proveniente de Pitinga é fundido para obtenção do estanho refinado com 99,9% de pureza. É uma das poucas empresas do mercado mundial de estanho a possuir mina própria, sendo a mina de Pitinga uma das mais ricas do mundo, com longevidade estimada em 100 anos.

A empresa também atua nos mercados de nióbio e tântalo, por meio de sua liga metálica ferro-nióbio-tântalo, produto obtido da fundição do minério de columbita⁷⁴ presente na mina de Pitinga.

A história da província de Pitinga teve início com a descoberta, por geólogos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM, de mineralizações estaníferas na região do rio Pitinga, bacia do rio Uatumã, no estado do Amazonas, durante a realização de projeto de mapeamento geológico básico (Veiga Jr. *et al.*, 1979).

Após as primeiras notícias dessas ocorrências, ainda em 1979, a mineradora Parana-papema S.A. iniciou trabalhos de pesquisa em áreas adquiridas da própria CPRM, abrangendo da margem direita do médio rio Pitinga até as cabeceiras do igarapé Queixada, e apresentou requerimento de pesquisa em outras áreas mais a oeste, até a divisa com a área indígena Waimiri-Atroari.

Em 1982, já eram conhecidas reservas aluvionares e iniciava-se o ciclo produtivo de estanho aluvionar. Ainda em 1982, trabalhos intensos culminaram com a descoberta das mineralizações aluvionares do igarapé Madeira, que drena a Serra do Madeira, que viria a se constituir mais tarde, na maior reserva de minério primário de estanho do Brasil e a maior reserva de tântalo do mundo, contendo também criolita⁷⁵ e outros minerais portadores de nióbio, ítrio, zircônio, rubídio, tório e urânio.

74 Mineral que consiste em niobato e tantalato de ferro e manganês, no qual o percentual de nióbio é maior que o de tântalo.

75 Fluoreto duplo natural de sódio e alumínio.

Diante das expectativas geradas pelas descobertas de jazimentos primários de grande monta, na Serra do Madeira, relacionados à mineralização disseminada de estanho em rocha granítica, a Paranapanema iniciou, em 1983, no rio Pitinga, a construção de uma usina hidrelétrica, e, em 1984, a construção da vila Pitinga e do acesso rodoviário até a BR-174.

Com o avanço das pesquisas geológicas, em 1988 foram descobertas as mineralizações de criolita associadas ao granito Madeira. Várias outras atividades foram implantadas a partir de então, como o início da lavra de minério primário intemperizado em 1989, e o início de operação em 1991 de planta de beneficiamento constituída por unidades de separação.

Em 1996, um grupo de fundos de pensão adquiriu o controle acionário da Mineração Taboca e da Mamoré Mineração e Metalurgia, adotando o nome Paranapanema para denominar o novo conglomerado de empresas voltadas para a produção de metais não ferrosos.

Em 2001, deu-se início à operação de lavra no granito Madeira. Em 2002, deu-se início à operação de planta metalúrgica com forno elétrico de redução e processo alumino-térmico para o aproveitamento de nióbio e tântalo contidos em columbita e niobatos associados à rocha sã.

O fato de esta área estar, desde o início de sua exploração, sob o controle de empresa privada, com acesso restrito e controlado, fez com que poucos trabalhos objetivando a geologia regional com enfoque mais científico fossem realizados ou divulgados, pois, a partir do início dos anos 80, os esforços se voltaram quase que exclusivamente para o conhecimento e detalhamento dos corpos graníticos relacionados às mineralizações de interesse (Ferron, 2006).

Nos anos 90, os poucos trabalhos realizados na região tiveram enfoque exclusivo nas mineralizações e ficaram basicamente centrados nos mesmos alvos: granitos Madeira e Água Boa e, com menos peso, o granito Europa, por serem esses granitos especializados, com maior afinidade geoquímica para a concentração de mineralizações de interesse.

As restrições que naturalmente eram impostas por parte da empresa, que se reservava o direito de manter sigilo sobre suas atividades prospectivas, aliado às limitações impostas pela Funai, impedindo o acesso para a pesquisa nas áreas indígenas Waimiri-Atroari e Trombetas-Mapuera circunvizinhas, fizeram com que aspectos da geologia regional permanecessem desconhecidos sob o ponto de vista de investigação direta em campo, não só por parte de empresas privadas, como também por parte de instituições governamentais.

No ano de 1998, foi criada a Reserva Biológica do Uatumã, tornando impeditivo o acesso às áreas ao sul da Província. Para completar o quadro restritivo, em 2001, foram ampliados os limites dessa reserva biológica para norte, em cerca de 10 km, e para leste-

-sudeste, por cerca de 100 km, fazendo com que áreas antes acessíveis se tornassem de acesso restrito.

Ainda segundo Ferron (2006), as limitações impostas durante cerca de 26 anos, provocadas, por um lado, pela empresa privada que detinha os direitos minerários e, por outro lado, por impedimentos legais de acesso, fizeram com que poucos pesquisadores tivessem trabalhos realizados e publicados sobre a geologia da área, sobretudo no que tange ao aspecto da geologia regional, seu entendimento e enquadramento no contexto geológico.

No entanto, no final dos anos 90, houve substancial mudança nos conceitos gerenciais, de forma a se permitir acesso e maior participação de entidades de pesquisa públicas ou privadas. Por meio do Convênio de Cooperação Técnica firmado entre o DNPM e a Agência para o Desenvolvimento da Indústria Mineral Brasileira – ADIMB, algumas universidades e a Mineração Taboca S.A., na época pertencente ao Grupo Paranapanema, foram realizados trabalhos que envolviam equipes multidisciplinares nas áreas de geologia de campo, geoquímica, geologia isotópica, inclusões fluidas, sensoriamento remoto e geologia estrutural.

No âmbito desse Convênio, foram estudados dez distritos mineiros na Amazônia Brasileira buscando-se definições de modelos genéticos e prospectivos com vistas a subsidiar a exploração em outras regiões da Amazônia. Na Província Pitinga foram desenvolvidos os projetos estanho e criolita, respectivamente orientados pelos Professores Roberto Dall'Agnol, da Universidade Federal do Pará, e Artur Bastos Neto, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Ensaio de concentração em escala piloto, efetuados pela Mineração Taboca, mostraram a possibilidade de se obter concentrados de xenotímio, com um teor de 20% de ítrio, como subproduto da produção de cassiterita (Vieira e Lins, 1997). Além de xenotímio, outros minerais também podem ser obtidos como subprodutos: zircão (40% Zr), niobatotalatos (40% Nb₂O₅ e 4% Ta₂O₅) e um misto contendo 90% de xenotímio e 10% de zircão (Torem e Scorzelli, 1995).

Um estudo de separação de xenotímio do zircão foi realizado por Torem e Scorzelli (1995). Vieira e Lins (1997) mencionam que os resultados de ensaios de microflotação permitiram concluir que na faixa de pH entre 2 e 3, os minerais em questão, tratados previamente com HCl ou com HNO₃, apresentavam alguma seletividade na presença de ácido oleico ou de um ácido graxo denominado comercialmente de DPI-6256; no entanto, os teores dos produtos obtidos não foram considerados satisfatórios.

Loureiro (2011) apresentou a composição química do concentrado de xenotímio da mina de Pitinga, conforme mostrado na Tabela 36, e a distribuição dos elementos terras-raras, conforme mostrado na Tabela 37.

Tabela 36 Composição química do concentrado de xenotímio da mina de Pitinga

Constituintes	Teor (% peso)
Óxidos de terras-raras	61,60
Óxido de zircônio	6,20
Óxido de silício	3,70
Óxido de tório	0,59
Óxido de urânio	0,07
Óxido de fósforo	27,60
Óxidos de ferro, alumínio, nióbio e estanho	0,24

Fonte: Loureiro, 2011.

Observa-se, na Tabela 36, que o teor de óxidos de terras-raras é bastante alto, correspondendo a 61,60%. Já a distribuição de terras-raras mostra a predominância dos elementos pesados, que totalizam 98,4%.

Em 2006, a Mineração Taboca iniciou o processo de substituição do aluvião pela extração da rocha primária, projeto denominado “Rocha-Sã”. A cassiterita e a columbita são concentradas em vários equipamentos, como espirais, mesas e separadores eletrotáticos e magnéticos.

Uma questão adicional em relação à mina de Pitinga é a contaminação radioativa na planta de redução aluminotérmica, onde é produzida a liga ferro-nióbio a partir do resíduo da planta de concentração da cassiterita, que acumula minerais desses elementos, provenientes do minério primário granítico. Como o granito matriz da jazida primária também contém urânio e tório, além da zirconita, essa parcela radioativa é segregada na escória da produção da liga Fe-Nb. A solução técnica do descarte da escória radioativa, enterrada e armazenada em trincheiras abertas no solo, foi definida pela CNEN, que fiscaliza o cumprimento da norma de proteção ambiental (Relatório Técnico 27, 2009).

Tabela 37 Distribuição dos elementos terras-raras

Elemento	(%)
Lantânio	---
Cério	0,07
Praseodímio	0,01
Neodímio	0,04
Promécio	---
Samário	0,25

Elemento	(%)
Európio	0,04
Gadolínio	1,20
Total de leves	1,61
Térbio	1,41
Disprósio	10,64
Hólmio	3,27
Érbio	14,27
Túlio	2,98
Itérbio	20,97
Lutécio	2,73
Ítrio	42,13
Total de pesados	98,40

Fonte: Loureiro, 2011.

A Mineração Taboca realiza a fundição do concentrado de cassiterita em sua filial, no interior do estado de São Paulo, para onde é enviada toda a produção de concentrado de cassiterita obtida no Complexo de Pitinga. A retirada do estanho é feita por meio de fornos elétricos de redução⁷⁶.

Em 2008, o grupo minerador peruano Minsur adquiriu da Paranapanema o controle acionário da Mineração Taboca e da Mamoré Mineração e Metalurgia. Ao assumir a mina, a Minsur resolveu reavaliar a rota técnica do projeto “Rocha Sã”, tendo como foco não somente o estanho, mas também a recuperação de outros minerais associados na jazida (Relatório Técnico 27, 2009).

Na área de terras-raras, a Mineração Taboca assinou, em 2009, um acordo de desenvolvimento com a Neo Material, que dava a esta empresa acesso à mina de Pitinga para avaliar se concentrados de terras-raras pesados podiam ser comercialmente produzidos⁷⁷. Esse acordo fez parte da estratégia da Neo Material de garantir o suprimento de matérias-primas fora da China.

Um ano e meio foram gastos para processamento dos “rejeitos” da mina de Pitinga, que foram acumulados durante 30 anos de mineração aluvial e de rocha primária. O processo para recuperar terras-raras pesados permitiu a recuperação de estanho, nióbio e tântalo.

⁷⁶ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.mtaboca.com.br/port/empresa/historico.asp>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

⁷⁷ Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.raremetalblog.com/2011/08/neo-material-technologies-pitinga-hree-project-still-a-work-in-progress.html#tp>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

Segundo a presidente da Neo Material, já que o concentrado de mineral pesado pode ser produzido economicamente, o foco deve ser a recuperação de xenotímio e terras-raras, tendo como coprodutos estanho, nióbio e tântalo. Dois laboratórios estão focados na recuperação de concentrados magnéticos dos resíduos. O trabalho continuaria, até o final de 2011, relativo ao processo de rocha primária, que poderia gerar mais xenotímio a ser isolado e processado.

Ela também fez referência ao fato de que a Neo Material, na área de terras-raras leves, está trabalhando com duas companhias que contam com recursos de atrativa mineralogia, grau, peso, distribuição de terras-raras e coprodutos.

Também é importante registrar que essa empresa tem um acordo com a Mitsubishi, no qual a empresa japonesa financiará custos associados com o desenvolvimento de terras-raras pesados relativos à mina de Pitinga.

Como parte desse acordo, a Neo Material compromete-se a usar seus melhores esforços para incluir a participação da Mitsubishi na fase comercial do projeto com a Mineração Taboca e para alocar parte dos concentrados de terras-raras produzidos a partir de Pitinga para uso próprio da Mitsubishi⁷⁸.

78 Informação obtida no endereço eletrônico <http://boards.fool.co.uk/neo-materials-technologies-12056427.aspx?sort=threaded>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

6. NECESSIDADE DE UMA VISÃO ESTRATÉGICA

O sucesso de um país em conceber e implementar políticas públicas que o leve a novos patamares de desenvolvimento social e econômico requer importantes capacidades estatais. Entre essas capacidades, podem ser destacadas as de cunho burocrático, relativas à viabilização das estratégias a serem colocadas em prática, e as de concepção e implementação de uma matriz produtiva por meio de políticas industriais associadas a processos de inovação tecnológica.

A disponibilidade de recursos naturais e de recursos humanos, além da atual “crise ambiental” gerada pelo agravamento do efeito estufa, representa uma oportunidade que pode ser aproveitada pelo Brasil. Nesse contexto, é essencial que se defina um projeto estratégico de nação comprometida com o desenvolvimento de tecnologias para um futuro sustentável.

A crise dos países centrais pode representar uma reacomodação estratégica nas relações de poder no sistema mundial. Diversas teorias econômicas e políticas se referem ao caráter cíclico do modo de produção capitalista, impulsionado pelo avanço tecnológico (Schumpeter, 1961). Os limites e fronteiras entre os países centrais e periféricos estão em mudança. Nesse cenário, países como Brasil têm grande potencial para alterar sua posição relativa.

A relativa hegemonia dos Estados Unidos e Europa pode estar se enfraquecendo, abrindo oportunidades para a atuação dos estados, especialmente no caso de países periféricos com grande potencial como o Brasil. China, Coreia e Taiwan são países que têm apresentado um grande crescimento nos últimos anos. Historicamente, esses países sempre contaram com grandes capacidades estatais. Desse modo, é fundamental que se analise o papel do Estado brasileiro e de suas capacidades institucionais.

Nos últimos 30 anos, a China tem crescido a uma média anual de 10% e tem se transformado em um centro tecnológico e industrial. O crescimento chinês apresenta as seguintes características: visão estratégica de longo prazo, alta taxa de investimento e alta taxa de poupança. Nesse período, foram grandes as mudanças institucionais ocorridas na China.

A China destaca-se pela forma em que desassocia capital e tecnologia, pela globalização da sua produção e pela busca da inovação tecnológica. Por tudo isso e pelo sucesso de seu processo de reformas, o país passou a representar um modelo de desenvolvimento em si próprio.

Entre as particularidades do modelo chinês, destaca-se a forma pela qual é realizado o processo de planejamento central, a formulação e execução de políticas setoriais e o processo decisório regional. O planejamento estratégico na China é associado a uma grande flexibilidade e descentralização de decisões e implementação das políticas públicas.

O controle de setores estratégicos por meio das grandes empresas estatais é associado a uma grande abertura para investimentos diretos externos que, em muitos casos, participam do processo de reformas dessas próprias empresas. Uma agressiva política de difusão e investimento em tecnologia é associada a políticas de proteção ao investimento e de estímulos ao setor privado, que representa mais de 60% da economia (Naughton, 2007).

O processo de abertura evoluiu gradualmente na direção da globalização da produção industrial que partiu de zonas abertas ao investimento externo e especializadas em exportação de bens tanto de baixo quanto de alto conteúdo tecnológico. Esse processo caracteriza-se por uma descentralização de decisões e de regimes, que faz com que a China tenha diversas zonas de produção, cada qual com seus mercados, seus modelos tecnológicos distintos e suas diferentes relações com a economia global.

A relação entre o estado e o mercado e o arcabouço institucional que rege essa relação vem se transformando com a expansão do mercado interno e com a globalização da economia. Os estímulos ao mercado e a dinâmica regulatória do Estado evoluem com cada exercício de planejamento.

O Estado controla e regula os setores que considera estratégicos para o crescimento e para o desenvolvimento tecnológico. A particularidade das reformas na China advém também da condução política do processo. As estratégias econômicas são implementadas por um Estado que se transforma e busca novos tipos de governança para uma sociedade cada vez mais complexa.

O governo tem como meta a reforma do Estado por meio da criação de um arcabouço jurídico-institucional que permita maior flexibilidade de respostas a demandas de governança. Ao mesmo tempo, busca-se a profissionalização dos seus quadros a fim de manter a centralidade nas funções de governo.

Dadas as condições históricas de seu desenvolvimento, o caso China dificilmente será um modelo de desenvolvimento para outros países. No entanto, o processo de reformas na China abre perspectivas de desenvolvimento de países emergentes como o Brasil. As soluções institucionais adotadas durante a reforma, assim como as antecipadas para o futuro, fazem da China um caso particularmente rico para o estudo de capacidades estatais e obriga o Brasil a repensar suas políticas econômicas, tendo como foco o desenvolvimento tecnológico.

O contexto atual é caracterizado por grandes oportunidades, típicas de momentos de crise e de novos paradigmas. Tudo indica que o atual cenário brasileiro demanda alterações no plano institucional, principalmente no setor mineral. Nesse contexto, é importante avaliar as estratégias de outros países emergentes que tentam obter vantagens no processo de globalização, concebendo e implementando estratégias próprias a partir de processos internos de fortalecimento das respectivas capacidades estatais.

Diferentes trajetórias e arcabouços institucionais configuram diferentes tipos de capitalismo nas quais o papel da coordenação estatal aparece com maior ou menor centralidade. No caso brasileiro, o Estado é um vetor decisivo para a ruptura com padrões ultrapassados e com círculos viciosos, de modo a se ter um novo padrão de desenvolvimento. Daí a importância de os entes estatais conceberem e implementarem estratégias para que o País alcance um novo patamar. É importante, ainda, analisar as estratégias em curso e alterá-las ou adaptá-las para se chegar a esse novo patamar.

A expansão dos mercados interno e externo por meio de políticas públicas e a formação de coalizões de apoio são questões fundamentais para o sucesso dessas estratégias, principalmente em termos das articulações entre as coalizões políticas e os agentes econômicos, buscando a conquista e o desenvolvimento de novos mercados.

O arcabouço institucional molda as relações, a forma de implementação de políticas públicas e a efetividade dessas políticas. A configuração política e institucional é essencial para se alterar a posição relativa do Brasil no contexto internacional. O fortalecimento da capacidade estatal se expressa tanto nas áreas estratégicas, como educação e formação técnica, investimento em ciência e tecnologia, capacidade de agenda internacional e política macroeconômica, quanto na capacidade de buscar consenso em torno de uma agenda desenvolvimentista.

A associação de capacidades estatais e o reforço da democracia (Tilly, 2007) favorecem a produção de resultados negociados e mais consensuais, além de gerar credibilidade no sistema internacional, com impacto sobre o patamar de investimento externo. Instituições democráticas podem aumentar custos de transação, mas reduzem incertezas quanto a decisões erráticas.

No caso do Brasil, é possível prevalecer a combinação mais virtuosa de Estado, mercado, sociedade civil e corporação que tende a se desgastar em alguns dos países centrais como a alternativa pós-crise do neoliberalismo. O grau de atuação do Estado em áreas estratégicas e a sua capacidade de articular as demandas dos atores relevantes levam a chamar a atenção para o conceito de governabilidade democrática.

A natureza das instituições políticas tem um forte impacto no desempenho econômico, na medida em que processos políticos transparentes e assegurados por regimes democráticos estáveis aumentam a credibilidade e a visão externa. A governabilidade, em suma, relaciona-se com a solução de conflitos; expressa a necessidade de se implementar políticas coerentes, eficientes e sustentáveis em um ambiente democrático, que requer a participação dos atores estratégicos na resolução dos problemas e nas políticas de desenvolvimento.

A disponibilidade de importantes recursos naturais, como os minerais, deve ser considerada na formulação das estratégias e esses recursos podem trazer grandes vantagens

comparativas que ainda não estão sendo aproveitadas. No caso dos elementos terras-raras, por exemplo, é grande a dependência de algumas cadeias produtivas do Brasil.

A Fábrica Carioca de Catalisadores – FCC, única fabricante no Brasil de catalisadores para o craqueamento do petróleo nas refinarias, sentiu os efeitos do cenário restritivo dos terras-raras imposto pela China. Segundo Menezes⁷⁹, houve risco de abastecimento. O óxido de lantânio, matéria-prima utilizada nas atividades da FCC, chegou a subir, em dois anos, de US\$ 5 por quilograma para US\$ 140 por quilograma.

A FCC consome uma média de 900 toneladas desse óxido por ano. Se não tiver catalisador, o Brasil não tem como produzir gasolina, afirmou Menezes. A FCC iniciou um projeto de construção de uma nova unidade para fabricar outro tipo de catalisador, que não depende dos terras-raras e é voltado para a produção de óleo diesel.

Além da cadeia do refino de petróleo, a metalurgia voltada para o setor automobilístico também está enfrentando dificuldades. A empresa Ligas Gerais, que produz ligas de terras-raras para empresas de fundição, que, por sua vez, abastecem as indústrias de autopeças, não tem conseguido comprar matéria-prima da China. De acordo com o diretor da empresa, a China está enviando para o Brasil o material já pronto, com valor agregado. Está em análise a interrupção da produção para só revender o produto chinês⁸⁰.

A WEG S.A., tradicional fabricante de motores elétricos, também pode enfrentar problemas. Segundo Nau (2011), em 2010, a empresa consumiu 1.175 quilogramas de ímãs ferrite e 2.366 quilogramas de ímãs NdFeB. Em 2011, o consumo de ímãs ferrites caiu para 997 quilogramas e o consumo de ímãs NdFeB aumentou para 2.863 quilogramas. Além disso, houve um aumento de 250% no preço desse ímã, que ainda não se estabilizou. Nesse cenário, é interessante que se pesquise tecnologias de motores que não dependam de terras-raras (Nau, 2011).

Esse cenário apenas ilustra a necessidade de uma visão estratégica no sentido de conceber e implementar uma política industrial com foco na construção de cadeias produtivas a partir de matérias-primas de valor estratégico, como os terras-raras, que são abundantes no Brasil e que precisam gerar políticas públicas transformadoras.

79 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.valor.com.br/arquivo/900737/falta-de-produto-coloca-em-risco-operacao-das-refinarias>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

80 Informação obtida no endereço eletrônico <http://www.valor.com.br/arquivo/900737/falta-de-produto-coloca-em-risco-operacao-das-refinarias>. Página acessada no dia 24 de janeiro de 2012.

7. VALOR ESTRATÉGICO

Neste trabalho, o valor estratégico de cada mineral foi determinado a partir dos seguintes critérios: criticalidade geológica, concentração da oferta, crescimento da demanda, receitas e margens de lucro e importância para o desenvolvimento sustentável.

Para analisar o valor estratégico de cada mineral, os minerais foram divididos em quatro classes: metálicos, terras-raras, não-metálicos e agrominerais. Para cada uma dessas classes foi construída uma matriz de valor estratégico, conforme mostrado nas Tabelas 38, 39, 40 e 41. Na determinação do valor estratégico, foram considerados cinco parâmetros:

- criticalidade geológica: presença em poucas localidades e que apresentam dificuldades de acesso;
- concentração da oferta: produção localizada em poucas localidades;
- crescimento de demanda: perspectiva de grande mercado consumidor;
- receitas ou lucros: importância econômica e para as receitas governamentais;
- importância para o desenvolvimento sustentável: importância para tecnologias em um novo contexto energético.

Na Tabela 38, que trata dos minerais metálicos, com exceção dos terras-raras, o cobre foi considerado o mineral mais estratégico, pois os cinco critérios receberam avaliação “alta”. Em seguida, destacam-se o cromo, o índio, o molibdênio, o nióbio e o paládio com quatro avaliações “alta”. Com três avaliações “alta” ficaram o ferro, o gálio, o manganês, o níquel, a platina, o tântalo, o titânio, o tungstênio e o vanádio. O alumínio e o lítio aparecem com duas avaliações “alta” e três avaliações “média”.

A Tabela 39 trata, especificamente, dos terras-raras. Nessa Tabela, merecem destaque o neodímio, o európio, o disprósio, o térbio e o ítrio, todos com cinco avaliações “alta”. Em seguida, tem-se o lantânio, o cério, o praseodímio com três avaliações “alta”. É importante ressaltar que no item concentração da oferta, todos os elementos terras-raras receberam avaliação “alta”.

A matriz de valor estratégico dos minerais não-metálicos é mostrada na Tabela 40. Nessa Tabela, destacam-se a grafita e o telúrio, com quatro avaliações “alta”, e o quartzo, com três avaliações “alta”.

No caso dos agrominerais, tanto o fósforo quanto o potássio ficaram com quatro avaliações “alta”, conforme mostrado na Tabela 41.

Tabela 38 Valor estratégico dos minerais metálicos

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concentração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimento sustentável
Alumínio	média	média	alta	alta	média
Chumbo	alta	média	alta	baixa	baixa
Cobalto	alta	alta	alta	baixa	alta
Cobre	alta	alta	alta	alta	alta
Cromo	alta	alta	alta	média	alta
Estanho	média	média	média	média	baixa
Ferro	média	alta	alta	alta	média
Fósforo	alta	alta	alta	baixa	média
Gálio	baixa	média	alta	baixa	alta
Índio	média	alta	alta	baixa	alta
Lítio	média	média	alta	média	alta
Manganês	média	média	alta	média	alta
Molibdênio	alta	alta	alta	média	alta
Nióbio	baixa	alta	alta	alta	média
Níquel	média	média	alta	alta	alta
Ouro	média	média	média	alta	média
Paládio	alta	alta	alta	média	média
Platina	alta	alta	alta	média	alta
Tântalo	alta	alta	alta	média	média
Titânio	média	alta	alta	média	média
Tungstênio	alta	alta	alta	baixa	média
Vanádio	alta	alta	alta	baixa	média
Zinco	baixa	baixa	média	alta	alta
Zircônio	média	baixa	média	baixa	média

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 39 Valor estratégico dos terras-raras

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concentração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimento sustentável
Cério	baixa	alta	alta	alta	média
Disprósio	alta	alta	alta	alta	alta
Érbio	média	alta	média	média	baixa
Escândio	baixa	alta	baixa	média	baixa
Európio	alta	alta	alta	alta	alta
Gadolínio	média	alta	média	baixa	média

Bem mineral	Critica- lidade geológica	Concen- tração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desen- volvimento sustentável
Hólmio	média	alta	baixa	baixa	baixa
Itérbio	média	alta	média	baixa	alta
Ítrio	alta	alta	alta	alta	alta
Lantânio	baixa	alta	alta	alta	média
Lutécio	média	alta	baixa	baixa	baixa
Neodímio	alta	alta	alta	alta	alta
Praseodímio	baixa	alta	alta	média	alta
Promécio	média	alta	média	baixa	baixa
Samário	média	alta	alta	média	média
Térbio	alta	alta	alta	alta	alta
Túlio	média	alta	alta	baixa	baixa

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 40 Valor estratégico dos minerais não-metálicos

Bem mineral	Critica- lidade geológica	Concen- tração da oferta	Crescimento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desen- volvimento sustentável
Carvão	baixa	baixa	alta	alta	baixa
Diamante	alta	média	média	média	baixa
Enxofre	baixa	baixa	baixa	média	média
Grafita	alta	alta	alta	baixa	alta
Quartzo	baixa	baixa	alta	baixa	alta
Telúrio	alta	alta	alta	baixa	alta

Fonte: elaboração do próprio autor.

Tabela 41 Valor estratégico dos agrominerais

Bem mineral	Criticalidade geológica	Concen- tração da oferta	Cresci- mento de demanda	Receitas ou lucros	Importância para o desenvolvimen- to sustentável
Calcário	Baixa	baixa	alta	média	alta
Fósforo	Média	alta	alta	alta	alta
Potássio	Média	alta	alta	alta	alta

Fonte: elaboração do próprio autor.

8. PROPOSTA DE UM NOVO ARCABOUÇO INSTITUCIONAL

A partir dos anos 1990, o arcabouço institucional de importantes setores da economia nacional passou por profundas transformações, cujas principais diretrizes foram:

- instituir agências reguladoras como novos instrumentos de controle para as atividades exclusivas, voltadas para a fiscalização, regulação, arrecadação e polícia;
- fomentar o surgimento de organizações sociais autônomas para os setores de atividades não exclusivas; privatizar setores de atividades ligadas à produção de bens e serviços que pudessem ser desenvolvidas pelo setor privado.

A principal meta foi substituir o Estado produtor por um moderno Estado regulador. Considerou-se necessário não somente reorganizar o aparelho estatal, mas substituir o modelo institucional vigente por outro mais dinâmico, onde a intervenção do Estado fosse mais efetiva no controle, fiscalização e solução de conflitos. As políticas gerais para cada segmento regulado seriam realizadas em Conselhos Nacionais onde se teria a participação governamental e de todos os segmentos públicos, privados e sociais interessados no assunto.

Nesse contexto, aprovaram-se diversas leis, alterando-se o aparato jurídico-institucional brasileiro. Essas mudanças legais reestruturaram importantes setores e deram origem a várias agências reguladoras e Conselhos Nacionais, entre as quais a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel; Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP; Agência Nacional de Telecomunicações – Anatel e o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE.

O setor mineral manteve-se sem grandes alterações legais ou institucionais, persistindo o Código de Mineração, de 1967, como fundamento das suas políticas e a autarquia DNPM atuando como uma espécie de cartório da mineração.

Em 1996, por meio da Lei nº 9.314 e outras normatizações, foram feitas alterações no Código de Mineração, no DNPM e na CPRM. Entre as mudanças no Código, pode-se destacar a introdução de um encargo incidente sobre as áreas com alvarás de pesquisa, a exclusão do limite de cinco alvarás de pesquisa por bem mineral e a dispensa da necessidade de registro específico para operar como empresa mineradora. No entanto, essas alterações foram tímidas quando comparadas com as modificações feitas no setor de petróleo e no setor elétrico. De fato, desde a metade da década de 1970, após o I PMD, a indústria de mineração brasileira ficou carente de um efetivo planejamento estratégico institucional.

Isso se torna mais evidente a partir dos anos 1990, quando novos paradigmas da ação do Estado foram estabelecidos para induzir a consecução de objetivos e metas, estabelecer diretrizes, ordenar e fomentar ações e programas públicos e privados para o setor, além de viabilizar os meios e os recursos necessários. O setor mineral ficou alijado dessa nova política administrativa e econômica, o que se agravou com a privatização da Companhia Vale do Rio Doce, das indústrias siderúrgicas e de fertilizantes que garantiram, ao longo dos anos, mesmo com as mudanças de governo, as ações e os investimentos setoriais.

Fica evidente a não priorização do setor mineral, ainda mais quando se considera a necessidade da ampliação e adensamento da cadeia produtiva dos bens minerais que o País possui e o desenvolvimento da cadeia de fornecedores de bens e serviços para a indústria de mineração e transformação.

Entre esses sinais, pode-se destacar a ausência de fomento e de gestão estratégica do setor mineral, considerando sua cadeia produtiva, por parte de qualquer órgão público. A definição das políticas para os materiais estratégicos de interesse nacional encontra-se dispersa em diferentes órgãos do governo federal.

Outro sinal visível da baixa prioridade do setor é o ainda insuficiente investimento em levantamentos geológicos pelo Serviço Geológico do Brasil. Ao deixar de produzir o adequado conhecimento geológico, que é fundamental para o Estado conhecer suas riquezas minerais e para a atração de investimentos privados, restará certamente ao Brasil arcar com quantidades crescentes de divisas para adquirir matérias-primas minerais, talvez existentes em nosso território.

Também é importante destacar que a CPRM não tem acesso nem conhecimento geológico das áreas concedidas. Esse tipo de restrição não existe no setor petrolífero. As informações geológicas das áreas contratadas são disponíveis e gerenciadas pela ANP, que acaba exercendo também o papel de serviço geológico no setor petrolífero.

Uma possível solução seria a nova agência reguladora do setor também dispor de uma espécie de “serviço geológico” com foco nas novas concessões minerais.

É importante ressaltar que um novo modelo para o setor mineral não deve ser o de simplesmente deixar para o mercado a tarefa de identificar oportunidades minerais. Nesse caso, caberia ao Estado tão-somente gerir com eficiência as autorizações de pesquisa e as concessões de lavra por meio de uma agência reguladora.

Esse não é o modelo aqui proposto. O que se propõe, neste trabalho, é uma completa reestruturação do setor mineral. O modelo implantado pelo governo australiano, por exemplo, pode fornecer alguns subsídios para o modelo brasileiro. A Austrália, como se sabe, é um importante país produtor e exportador de bens minerais, possuindo uma indústria mineral altamente sofisticada.

Quanto à geração de novos jazimentos minerais, o modelo implantado pelo governo australiano fornece alguns bons subsídios. Como o Brasil, a Austrália é grande produtora e exportadora de minério bruto, em especial de ferro e carvão, mas conseguiu articular com muita eficiência os diferentes segmentos do setor mineral.

Na Austrália, o setor mineral é formado por um Serviço Geológico Federal e sete serviços geológicos, um para cada província. Centros de pesquisa altamente sofisticados se encarregam de criar e aperfeiçoar técnicas de exploração mineral adequadas às condições do território australiano.

O Brasil já contou com um sistema estadual de mineração, com diversas empresas que foram responsáveis por importantes descobertas de jazidas minerais, tais como Metais de Minas Gerais S.A. – Metamig (MG), Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM (BA), Metais de Goiás S.A. – Metago (GO), Minerais do Paraná S.A. (PR) – MINEROPAR e Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro – DRM (RJ), dentre outras.

Ainda hoje, a CBPM, o DRM, que se autodenomina de Serviço Geológico do Rio de Janeiro, e a MINEROPAR têm excelentes estruturas e profissionais. Também em diversos estados existem Centros de Pesquisa vinculados aos governos estaduais, a universidades ou a centros de pesquisa nacionais que desenvolvem trabalhos relacionados à mineração.

Na Austrália, como no Brasil, as universidades trabalham em projetos de pesquisa de interesse dos serviços geológicos e das empresas de mineração. Os levantamentos geológicos e geofísicos são constantemente atualizados e realizados com investimentos governamentais, em estreita colaboração entre Serviço Geológico Federal, empresas estaduais, serviços geológico das províncias e universidades. No Brasil, os levantamentos geológicos básicos e aerogeofísicos também são realizados com investimento federal, havendo, em muitos casos, a contribuição dos estados, como ocorreu em Minas Gerais, Bahia e Goiás.

Se existem tantas semelhanças com a Austrália, o que falta, no Brasil, para se conseguir uma melhor articulação entre os diferentes segmentos responsáveis pelos estudos, pesquisas e levantamentos é a definição conjunta das prioridades nacionais.

Atualmente, as empresas de mineração, em especial as empresas juniores, são cada vez mais seletivas na aplicação dos seus investimentos. Não se trata apenas de oferecer garantias de estabilidade política e econômica para atrair investimentos no setor mineral; é preciso disponibilidade de conhecimento, em forma de mapas atualizados, de levantamentos geofísicos de alta resolução e de bancos de dados sempre atualizados e confiáveis.

As grandes empresas se dirigem para ambientes com alta potencialidade mineral e ali desenvolvem seus estudos geológicos, geoquímicos e geofísicos.

Ressalte-se, contudo, que não bastam os avanços nas tecnologias para pesquisa, extração e beneficiamento dos minérios, em relação aos quais as grandes empresas brasileiras encontram-se entre as melhores do mundo.

É importante destacar que renasce nos fóruns de discussão sobre tecnologia e inovação para a mineração que o Brasil deveria dedicar todo seu esforço em produzir mais e melhor os minérios que possui reservas conhecidas em quantidade, sem a preocupação de avançar para a transformação desses minérios, sob o argumento de que outros países já o fazem melhor.

Nesse sentido, os exemplos das políticas minerais e industriais chinesas apontam caminhos interessantes a serem avaliados pelos formuladores de políticas no Brasil, mesmo considerando as profundas diferenças políticas e econômicas entre os dois países.

Para avançar na pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas dos bens minerais, é preciso grande aporte de recursos financeiros. No caso do setor mineral, a presença de múltiplas cadeias exige a priorização das ações para alocar os investimentos públicos.

Como no setor mineral a outorga ainda é realizada por portaria, sem que haja contrato, fica a critério de cada mineradora investir ou não em pesquisa e desenvolvimento. Nesse contexto, é urgente a aprovação de um novo modelo institucional, acompanhando o que ocorre, por exemplo, no setor petrolífero e no setor elétrico.

Nesse modelo, seria fundamental a criação de um Conselho Nacional de Política Mineral, o fortalecimento do Serviço Geológico do Brasil e dos Serviços Geológicos Estaduais, o estabelecimento de novas atribuições para o CETEM, o fortalecimento de centros de pesquisa estaduais, a transformação do DNPM em uma moderna agência reguladora e a aproximação da FINEP e do BNDES de empresas menores que se disponham a investir em projetos inovadores.

Para os materiais estratégicos, recomenda-se a criação de uma Secretaria Especial de Minerais, Materiais e Tecnologias Estratégicas – SEME, diretamente vinculada à Presidência da República, com diálogo e articulação direta com o MME, MDIC, MCTI, Ministério da Fazenda e Ministério do Meio Ambiente, dentre outros, com vistas à formulação e implementação de uma efetiva política pública.

9. CONCLUSÕES

O Brasil é rico em minerais estratégicos e em terras-raras. No entanto, o aproveitamento desses bens minerais, quando é feito, gera poucos benefícios para a sociedade brasileira. Por exemplo, o Brasil ser um grande exportador de minério de ferro não significa que esse recurso natural esteja, de fato, sendo fundamental para o desenvolvimento do País.

Utilizando-se critérios geológicos, econômicos e de sustentabilidade para a produção de energia elétrica, organizou-se uma matriz de valoração estratégica que colocou em destaque quanto ao valor estratégico os seguintes bens minerais:

- metálicos: alumínio, cobre, cromo, índio, lítio, molibdênio, nióbio, paládio, ferro, gálio, manganês, níquel, platina, tântalo, titânio, tungstênio e vanádio;
- terras-raras: neodímio, európio, disprosio, térbio, ítrio, lantânio, cério e praseodímio;
- não-metálicos: grafita, telúrio e quartzo;
- agrominerais: fósforo e potássio.

As políticas públicas direcionadas para o setor mineral não têm conseguido superar o atraso na agregação de valor e conhecimento nas cadeias produtivas que possam levar o País a um novo patamar de desenvolvimento. Para chegar a esse novo patamar, é necessário um aumento significativo das receitas públicas aplicadas nesse setor, além da implementação de um novo arcabouço jurídico-institucional.

Considerando o expressivo aumento de preço de muitos minerais a partir do início do século, diversas empresas mineradoras têm obtido grandes lucros. Por exemplo, os lucros decorrentes da produção de minério de ferro geram receitas significativas para que o Brasil invista na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias estratégicas e no avanço em pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas para se agregar valor às matérias-primas minerais.

Mesmo considerando que continuaremos a exportar minério bruto, quando houver economicidade para isso, como faz o Canadá, a Austrália e todos os grandes produtores minerais, precisam ser desenvolvidas ações para agregação de valor e conhecimento dos materiais e de suas aplicações.

As políticas para mineração devem estar articuladas com uma política industrial compromissada em transformar a maior parcela possível dos recursos minerais em produtos de alto conteúdo tecnológico. Apesar de importantes iniciativas governamentais nos últimos anos, é clara a falta de um plano estratégico para a extração e utilização dos minerais. O Brasil continua não aproveitando, de fato, suas vantagens comparativas para a construção de cadeias produtivas.

Para implementar esse plano, é fundamental que se institua a cobrança de participação especial a ser paga pelos concessionários das minas de alta rentabilidade ou de grande volume de produção, a exemplo do que ocorre no setor petrolífero. Parcela dessas receitas deve ser destinada a programas tecnológicos na área mineral, de materiais e de tecnologias estratégicas.

A legislação deve exigir que as empresas apliquem um percentual de suas receitas brutas decorrentes de minas de alta rentabilidade em atividades de pesquisa e em programas de formação de pessoal em instituições científicas e tecnológicas.

Para que essas ações sejam realizadas com sucesso, os órgãos existentes deverão ser fortalecidos com recursos financeiros e humanos e ser concebido e implementado um novo arcabouço institucional. Dessa forma, devem ser fortalecidos o CETEM e os centros de pesquisas regionais; transformado o DNPM em moderna agência reguladora; fortalecidos a CPRM e os Serviços Geológicos Estaduais; criados o Conselho Nacional de Política Mineral e o Conselho Nacional de Política Industrial; criada uma Secretaria Especial de Minerais, Materiais e Tecnologias Estratégicas – SEME, vinculada à Presidência da República, que será a condutora das políticas nacionais para viabilizar a produção dos materiais e equipamentos estratégicos para o desenvolvimento sustentável do País.

Em suma, o Brasil tem um longo caminho a percorrer para alcançar um novo patamar de desenvolvimento, utilizando seus recursos minerais e humanos. No entanto, toda longa caminhada começa com os primeiros passos. Alguns deles já foram dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGERER, G., et al. ISI, Karlsruhe in cooperation with Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung IZT gGmbH. 15 de maio de 2010.

AVALON RARE METALS INC. Rare metals information. Endereço eletrônico http://avalonraremetals.com/rare_earth_metal/rare_earths. Acesso em 2010.

BASTOS NETO, A.C.; e PEREIRA, V.P. The world-class Sn, Nb, Ta, F (Y, REE, Li) deposit and the massive cryolite associated with the albite-enriched facies of the Madeira A-type granite, Pitinga mining district, Amazonas State, Brazil. The Canadian Mineralogist, v. 47, 2009,

BENECKI, W. What Rare Earths Crisis? Magnetics & Technology Magazine, Winter 2009.

BGS – BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. Rare Earth Elements. London 2011.

BURTON, M. 2011. China's rare earth oxide, metal shipments could drop 40%. Metal Bulletin, 15 August, 2011.

BYRON CAPITAL MARKETS. The Rare Earths. Pick your Spots carefully. Março de 2010.

CHIM, S. A China Centric Global Iron Ore Market. CIM Conference, Iron Ore Symposium, Montreal, 2011.

CONSTANIDES, S. Rare Earth Materials Update. Apresentação na Conferência "Spring 2011 Management Conference", em 10 de maio de 2011.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Sumário Mineral 2011.

_____. Sumário Mineral 2013.

DOE – UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. Critical Materials Strategy. 2010.

_____. Buildings Energy Data Book. 2009.

DUTRA, R. Energia Eólica – Princípio e Tecnologia. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica. 2008.

FAIRLEY, P. Windkraft ohne Umwelt, Technology Review. 20 de abril de 2010.

FERRON, J. M. T. M. Geologia regional, geoquímica e geocronologia Pb-Pb de rochas graníticas e vulcânicas paleoproterozóicas da província Pitinga, Craton Amazônico. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

FRAUNHOFER ISI. **Lithium für Zukunftstechnologien. Nachfrage und Angebot unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität.** Dezembro de 2009.

GAINES, L. e NELSON, P. **Lithium-Ion Batteries: Possible Material Demand Issues.** Argonne National Laboratory, 2009.

GLOBAL TRADE ALERT. **China: Neodymium rare earth export tariff increase in 2011.** 2011.

HARROP, P. & DAS, R. **Hybrid and pure electric cars 2009-2019.** Relatório de pesquisa de 2009.

HICKMAN, J. **Clean vehicles.** Renewable Energy Focus de março/abril de 2009.

HOCQUARD, C. **Les matières premières comme enjeu stratégique majeur : le cas des terres rares.** I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Rio de Janeiro, 2011.

HORADAM, D. **The Iron Ore Market.** 4th Annual Mining the Pilbara Conference, 2010.

HU, B. P. **China's Rare-Earth Permanent Magnet Industry.** Apresentação na ICRE 2010.

HUMPHRIES, M. **Rare Earth Elements: The Global Supply Chain.** Congressional Research Service, 2011.

HURST, C. **China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?** Institute for the Analysis of Global Security, March 2010.

_____. **The great metals boom: A perspective.** Resources Policy, v. 35, 2010.

HYKAWY, J.: **Report on the 6th International Rare Earths conference.** Endereço eletrônico <http://www.techmetalsresearch.com/2010/11/6th-international-rareearths-conference>. Acesso em 5 de dezembro de 2010.

IEA – International Energy Agency. **Technology Roadmap. Electric and plugin hybrid electric vehicles.** 2009.

_____. **World Energy Outlook.** 2010.

KOPERA, J. **Inside the Nickel Metal Hydride Battery.** Endereço eletrônico www.cobasys.com/pdf/tutorial/InsideNimhBattery/inside_nimh_battery_technology.html Acesso em 2004.

KORINEK, J. e KIM, J. **Export restrictions on strategical raw materials and their impact on trade.** OECD Publishing, 2010.

KPMG. **Quarterly Commodity Insights Bulletin.** August, 2011.

LIBRARY OF THE EUROPEAN PARLIAMENT. **China's export restrictions on rare earth elements.** 2013.

LINS, F. A. F. Grupo de Trabalho Interministerial MME-MCT Minerais Estratégicos. I Seminário Brasileiro de Terras-Raras, Rio de Janeiro, 2011.

LOUREIRO, F. E. V. L. **Terras-Raras – Tipos de Depósitos, Recursos Identificados e Alvos Prospectivos no Brasil**. I Seminário Brasileiro de Terras-Raras, Rio de Janeiro, 2011.

LYNAS CORPORATION LTD. **Rare earths: we touch them everyday**. Investor Presentation, May 2011.

MBAC FERTILIZER CORP. **Crescendo na área de maior desenvolvimento agrícola**. I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Rio de Janeiro, 2011.

_____. Reports NI 43-101. **Resource Estimate for World Class Araxá Rare Earth Oxide/Niobium/Phosphate Deposit**. 2011.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Resource revolution: meeting the world's energy, materials, food, and water needs**. November 2011.

MOLYCORP. **Molycorp, Daido Steel, and Mitsubishi Corporation Announce Joint Venture To Manufacture Sintered NdFeB Rare Earth Magnets**. 28 de novembro de 2011.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Transitions to Alternative Transportation Technologies – Plug-in Hybrid Electric Vehicles**. 2010.

NAU, S. L. **Technologies for Energy-Efficient Electric Motors**. I Seminário Brasileiro de Terras-Raras, Rio de Janeiro, 2011.

NAUGHTON, B. J. **The Chinese Economy: Transitions & Growth** (Cambridge, MA: MIT Press), Chapter 4, “Market Transition: Strategy and Process”. 2007.

NERY, M. **Indústria de Terras Raras no Brasil. Proposta de articulação empresarial para integração da cadeia produtiva**. II Seminário Brasileiro de Terras-Raras. 2013.

NIMS Japanese National Institute for Material Science. **High Coercivity Neodymium Magnet Without Using Heavy Rare Earth Element Dysprosium**. Agosto de 2010.

NREL National Renewable Energy Laboratory. **Silicon Materials and Devices R&D**. *PV Magazine*. 14 de outubro de 2011.

OAKDENE HOLLINS. Research & Consulting: **Lanthanide Resources and Alternatives**. Relatório para o Department for Transport and Department for Business, Innovation and Skills. Março de 2010.

RELATÓRIO TÉCNICO 27. **Perfil da Mineração do Estanho**. Ministério de Minas e Energia, 2009.

SCHNEIDER, C. A. **Planejamento para implantação de uma cadeia produtiva de produtos com elementos de terras raras.** Consórcio Tecnológico do Projeto ETR-BR. II Seminário Brasileiro de Terras Raras. 2013.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia.** Rio de Janeiro: Fundo de Cultura. 1961.

SOUZA, M. A. **Estratégias para redução e conservação de energia elétrica em iluminação.** Monografia submetida à Universidade Federal de Mato Grosso. 2010.

THIJSSSEN, J. **Solid Oxide Fuel Cells and Critical Materials: A Review of Implications.** 10 de maio de 2011.

TILLY, C. **Democracy.** Cambridge University Press, Cambridge. 2007.

TOREM, M.L. e SCORZELLI, I.B. **Influência do pré-tratamento com HF na flotabilidade de xenotima e zirconita.** Anais do XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia, Rio de Janeiro, 1995.

TOTH, P. **Chinese Iron ore Demand – “Stronger for Longer” An update on BHP Billiton’s Expansion Plans.** BHP Billiton, 2005.

TROEDSON, A. **Permanent Magnet Generators for Wind Turbines.** Apresentação na Conferência “Metals for Energy and Environment Conference”. Las Vegas, NV, 1 a 3 de junho de 2011.

TSE, P-K. **China’s Rare-Earth Industry.** USGS Open-File Report 2011-1042.

UNDP – UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. **Phasing-Out of Incandescent Lamps & Energy Saving Lamps Promotion (Pileslamp) Project, China.** 2008.

USGS – UNITED STATES GEOLICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries.** 2010

_____. **Mineral Commodity Summaries.** 2011.

_____. **Mineral Commodity Summaries.** 2012.

_____. **Mineral Commodity Summaries.** 2013.

VEIGA JR JP, MANDETTA P e OLIVEIRA JR. **Reconhecimento geológico ao longo do rio Pitinga, afluente do rio Uatumã.** CPRM/Manaus. 1974.

VIEIRA, E. V.; LINS, F. F. **Concentração de minérios Terras-raras: uma revisão.** Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ, 1997.

XUN, Z. **Mineral facts of China.** 2. ed. Beijing: Geological Publishing House, 2006.

**PROPOSIÇÃO
LEGISLATIVA**

PROJETO DE LEI N° , DE 2014

(Dos Srs. Membros do Centro de Estudos e Debates Estratégicos)

Altera a Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, para estimular investimentos em pesquisa e desenvolvimento e criar uma participação especial no setor mineral.

O Congresso Nacional decreta:

Art. 1º A Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, passa a vigorar acrescida do art. 2º-A, com a seguinte redação:

“**Art. 2º-A** Nos casos de grande volume de produção, ou de grande rentabilidade na exploração de recursos minerais, haverá o pagamento de uma participação especial pelo concessionário.

§ 1º A alíquota da participação especial de que trata o *caput* será de, no mínimo, vinte por cento e incidirá sobre a receita bruta da produção, deduzidos os investimentos na exploração, os custos operacionais, a depreciação e a compensação financeira de que trata o art. 6º da Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

§ 2º Os recursos da participação especial serão distribuídos na seguinte proporção:

I – dez por cento ao Ministério de Minas e Energia, sendo, no mínimo, setenta por cento para o financiamento de estudos e serviços de geologia e geofísica aplicados à prospecção mineral;

II – cinquenta por cento ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, sendo, no mínimo, sessenta por cento destinados ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, criado pela Lei nº 7.677, de 21 de outubro de 1988, para atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de mineração, transformação mineral, metalurgia, materiais e equipamentos de alto conteúdo tecnológico;

III – vinte por cento para os Estados e Distrito Federal, segundo critérios de rateio do Fundo de Participação dos Estados e do Distrito Federal – FPE, para, prioritariamente, atividades de pesquisa e desenvolvimento;

IV – vinte por cento para os Municípios, segundo critérios de rateio do Fundo de Participação dos Municípios – FPM, para, prioritariamente, atividades de pesquisa e desenvolvimento.”

Art. 2º As concessionárias de lavra de recursos minerais ficam obrigadas a aplicar, anualmente, em pesquisa e desenvolvimento nas áreas de mineração, transformação mineral, materiais e equipamentos de alto conteúdo tecnológico o montante de, no mínimo, cinco décimos por cento da receita bruta da produção de minas sujeitas ao pagamento

da participação especial de que trata o art. 1º, deduzidos os investimentos na exploração, os custos operacionais, a depreciação e a compensação financeira de que trata o art. 6º da Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

Art. 3º Esta lei entra em vigor após decorridos cento e oitenta dias de sua publicação.

JUSTIFICAÇÃO

O Brasil é rico em minerais estratégicos e em terras-raras. No entanto, ao contrário do que ocorre no setor petrolífero, esses minerais não geram atividades de pesquisa e desenvolvimento, tão importantes para o desenvolvimento tecnológico do País e para a agregação de valor aos recursos naturais.

O fato de o Brasil ser um grande exportador de minério de ferro, por exemplo, não significa que esse recurso esteja, de fato, contribuindo para um novo patamar de desenvolvimento sustentável do País.

No Brasil, merecem destaque os seguintes bens minerais:

- metálicos: alumínio, cobre, cromo, índio, lítio, molibdênio, nióbio, paládio, ferro, gálio, manganês, níquel, platina, tântalo, titânio, tungstênio e vanádio;
- terras-raras: neodímio, európio, disprósio, térbio, ítrio, lantânio, cério e praseodímio;
- não-metálicos: grafita, telúrio e quartzo; e
- agrominerais: fósforo e potássio.

Os elementos terras-raras são estratégicos para a fabricação, por exemplo, de ímãs de alto desempenho, que são usados em geradores eólicos e em motores para carros elétricos. O Brasil não produz terras-raras nem ímãs com esses elementos. Dada a importância estratégica desses bens minerais e desses ímãs, deveria ser concebida e implementada uma política pública com vistas à implantação de uma cadeia produtiva no Brasil. A matriz elétrica brasileira é limpa, o que pode facilitar a introdução dos carros elétricos no mercado brasileiro. O Brasil também conta com grande potencial para fabricação e instalação de turbinas eólicas.

As baterias são componentes fundamentais dos carros elétricos híbridos e puros, que precisam de baterias para estocar energia. Os carros híbridos atuais usam baterias níquel-hidreto metálico, enquanto as baterias de íons de lítio são geralmente usadas nos carros híbridos carregáveis e nos carros elétricos puros, que exigem maior capacidade de estocagem de energia e maiores potências.

A demanda por grafita deve aumentar substancialmente com o emprego em larga escala desses carros, em razão do uso das baterias de íons de lítio. Até os carros híbridos

não carregáveis, que usam baterias níquel-hidreto metálico, podem migrar para baterias de íons de lítio. Essas baterias que usam grafita como anodo são muito adequadas para aplicação em carros elétricos.

As reservas mundiais de grafita são relativamente pouco detalhadas, mas as informações oficiais totalizam 131,4 milhões de toneladas. Reservas de 59,5 milhões de toneladas estão localizadas no Brasil. A China e a Índia são os principais produtores mundiais, respondendo por 84,5% da produção mundial em 2010. Nesse ano, a produção brasileira foi de 88 mil toneladas, o que corresponde a 8% da produção mundial. Recomenda-se a concepção e a implementação de uma cadeia produtiva da grafita no Brasil.

O Brasil conta com reservas de quartzo de qualidade e já é produtor de silício grau metalúrgico, mas não produz silício grau solar. Para o grau solar, pode ser adotada uma rota metalúrgica, que consome menos energia e reduz a agressão ao meio ambiente. O investimento em pesquisas nessa rota pode permitir a entrada do país no mercado fotovoltaico. Esse mercado tem grande potencial de crescimento, principalmente em países com grande incidência de radiação solar como o Brasil.

O Brasil, em razão da qualidade de seus recursos naturais e humanos, pode, então, desenvolver cadeias produtivas de alto conteúdo tecnológico a exemplo do que ocorre na China. Um plano estratégico parece ter sido concebido e implementado nesse país ao longo das últimas décadas, com o objetivo de se construir uma cadeia produtiva integrada. O Brasil, ao contrário, não tem posto em prática políticas públicas que possam levar o País a um novo patamar de desenvolvimento. Esse novo patamar, por certo, exigirá um grande aumento nas receitas públicas, além da concepção e implementação de um novo arcabouço jurídico-institucional.

Com o significativo aumento de preço de muitos minerais, empresas, como a Vale S.A., têm obtido grandes lucros. Os lucros decorrentes da produção de minério de ferro, por exemplo, podem gerar receitas para que o Brasil invista na pesquisa mineral, no desenvolvimento de tecnologias estratégicas e na construção de uma cadeia produtiva para se agregar valor às matérias-primas minerais.

Mais importante que a atividade de mineração é uma política industrial para se transformar os recursos minerais em produtos de alto conteúdo tecnológico. Apesar de importantes iniciativas governamentais, é patente a falta de um plano estratégico para a utilização dos minerais como uma importante vantagem comparativa para o Brasil.

Para implementar esse plano, é fundamental que se institua a cobrança de uma participação especial a ser paga no caso de minas de alta rentabilidade ou de grande volume de produção, a exemplo do que ocorre no setor petrolífero. A cobrança dessa participação apenas no caso de jazidas de alta rentabilidade é muito mais racional que um simples aumento da alíquota de CFEM.

Nesse contexto, é essencial que grande parcela das receitas de participação especial seja destinada a programas de pesquisa, desenvolvimento e inovação na exploração e transformação mineral e na área de materiais e de tecnologias estratégicas.

É também importante que as empresas sejam obrigadas a aplicar um percentual da receita líquida das minas de alta rentabilidade em atividades de desenvolvimento tecnológico e em programas de formação de pessoal em instituições científicas e tecnológicas.

Para que essas ações sejam implementadas com sucesso, deverá ser criado um novo arcabouço institucional, a exemplo do que ocorreu no setor petrolífero. O CETEM poderia ser transformado em um grande coordenador, uma espécie de “Cenpes” da indústria mineral, metalúrgica e de materiais estratégicos.

É urgente implementar novas estratégias no setor mineral. É tempo de o Brasil repensar suas políticas econômicas, tendo como foco o desenvolvimento tecnológico e o aproveitamento inteligente de suas importantes riquezas minerais.

A proposição ora apresentada tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento tecnológico do País e para o aumento das receitas de Estados e Municípios, por meio de novos recursos decorrentes da lavra de minas de alta rentabilidade. Sempre é bom lembrar que os recursos minerais são bens da União e, por conseguinte, devem gerar benefícios para todos os brasileiros.

Diante do exposto, é fundamental o apoio dos nobres Pares desta Casa para a aprovação deste Projeto de Lei, que gerará recursos para uma verdadeira revolução tecnológica no Brasil nas áreas de mineração, transformação mineral, metalurgia, materiais e equipamentos de alto conteúdo tecnológico.

Sala das Sessões, em de de 2014.

Inocência Oliveira (PR/PE)

Presidente do Centro de Estudos e Debates Estratégicos

Colbert Martins (PMDB/BA)

Relator do Estudo

**CONTRIBUIÇÕES
ESPECIAIS**

CADEIAS PRODUTIVAS PARA TERRAS-RARAS NO BRASIL

Tássia de Melo Arraes

Coordenadora de Programas Mobilizadores

Cristina Ferreira Correia Silva

Coordenadora de Programas Mobilizadores Substituta

Alvaro Toubes Prata

*Secretário de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação – SETEC/MCTI*

CLASSIFICAÇÃO, OCORRÊNCIA E APLICAÇÕES

São denominados terras-raras o conjunto de 15 elementos químicos cujos números atômicos variam de 57 (lantânio) até 71 (lutécio), chamados de lantanídeos, acrescidos do ítrio e do escândio, de números atômicos 39 e 21, respectivamente, por possuírem propriedades químicas semelhantes e estarem intimamente associados, do ponto de vista mineralógico, com os lantanídeos.

Em geral, os elementos terras-raras de números atômicos inferiores aos do gadolínio são classificados como elementos terras-raras leves (ETRL) e os de números atômicos superiores aos do európio, pesados (ETRP). Os ETRP são mais escassos e difíceis de processar quando comparados aos ETRL, o que os torna proporcionalmente mais valiosos¹.

A designação “terras-raras” foi utilizada inicialmente porque seus óxidos solúveis tinham um aspecto terroso e eram considerados raros pelos especialistas que iniciaram seu estudo, no final do século XVIII. Entretanto, é consenso que esse termo foi aplicado de maneira imprópria, visto que, de maneira geral, os lantanídeos são mais abundantes do que muitos outros elementos conhecidos. Os elementos túlio (0,5 ppm) e lutécio (0,8 ppm), por exemplo, que são os terras-raras menos abundantes na crosta terrestre, são mais abundantes que a prata (0,07 ppm) e o bismuto (0,008 ppm)².

A maior parte da produção de óxidos de terras-raras (OTR) provém de 3 grupos minerais: bastnasita (Ce, La)CO₃F; monazita (Ce, La, Nd, Th, Y)PO₄; xenotima YPO₄; além das

1 Disponível em <http://www.techmetalsresearch.com/2011/10/is-this-the-site-of-molycorps-new-heavy-rare-earth-prospect/>.

2 Martins, T. S. & Isolani, P. C. 2005. Terras-raras: Aplicações Industriais e Biológicas. Química Nova, vol. 28, n. 01, p. 111-117.

argilas iônicas portadoras de terras-raras e apatitas. A bastnasita e a monazita são as principais fontes de ETRL enquanto que a xenotima é dominada pela presença de ETRP. Porém, outros minerais são também considerados importantes pelo seu conteúdo de terras-raras e/ou por sua frequência nas rochas, como a loparita, o pirocloro, a alanita, etc³.

A industrialização das terras-raras teve início com a fabricação de camisas para lâmpões a gás, ainda no final século XIX. Carl Auer Welsbach verificou que uma mistura de 99% de óxido de tório e 1% de óxido de cério intensificava o brilho da chama quando aquecida (Martins & Isolani, 2005, p. 111-117).

Logo depois, o *mischmetal* surgiu como subproduto de material de terras-raras, ampliando as aplicações desses elementos até o início do século XX. O *mischmetal* é uma liga obtida fazendo-se a eletrólise do cloreto da mistura de terras-raras a aproximadamente 850°C, utilizada em pedras de isqueiro e também na metalurgia.

Com o passar do tempo, as propriedades singulares das terras-raras passaram a ganhar novos usos e, atualmente, o leque de aplicações é bastante vasto, sendo utilizadas em aplicações nucleares, químicas, eletrônicas, ópticas, magnéticas e também para a indústria de catalisadores. Muitas de suas aplicações são caracterizadas pela alta especificidade e elevado valor unitário, a exemplo das telas de cristal líquido usadas em monitores de computador que utilizam európio (Eu), sem possuir substituto com desempenho semelhante⁴.

Na área de defesa, destacam-se as aplicações de terras-raras em caças, sistemas de controle de mísseis, defesa antimísseis e sistemas de comunicação e satélites. Nessa área, é importante registrar o uso das terras-raras em dois materiais para ímãs permanentes: samário-cobalto (SmCo) e neodímio-ferro-boro (NdFeB). Os ímãs NdFeB são considerados os ímãs permanentes mais fortes do mundo e são essenciais para muitos armamentos militares. Já os ímãs SmCo retêm sua resistência magnética em elevadas temperaturas e são ideais para tecnologias militares, como mísseis guiados de precisão, bombas inteligentes e aeronaves.

Além disso, os magnetos de terras-raras são leves, pequenos e de alta potência, permitindo a miniaturização de componentes elétricos e eletrônicos usados, por exemplo, em equipamentos de vídeo e áudio, computadores, automóveis e sistemas de comunicação.

O cério, o mais abundante e barato elemento terra-rara, possui dezenas de aplicações, algumas extremamente específicas, como polimento de vidros. A ação polidora do CeO₂ está relacionada tanto com suas propriedades físicas quanto químicas, sendo que

3 DNPM, 2012. Disponível em https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7409

4 Haxel, G. B.; Hedrick, J. B.; Orris, G. J. 2002. Rare Earth Elements – Critical Resources for High Technology, USGS Fact Sheet, v. 87, p. 02.

praticamente todos os produtos de vidro polido, desde espelhos comuns e óculos, até lentes de elevada precisão, são acabados com CeO_2 .

Até os anos 80, uma das maiores aplicações de terras-raras era na catálise, onde esses elementos são usados geralmente na forma de óxidos. O óxido de cério é aplicado, por exemplo, no tratamento de emissões automotivas e outros elementos terras-raras na forma de óxidos ou cloretos são adicionadas as zeólitas para craqueamento de frações do petróleo. A aplicação de organolantanídeos como catalisadores na polimerização de olefinas é uma das aplicações mais recentes das terras-raras como catalisadores.

Fósforos são materiais luminescentes constituídos basicamente por uma rede cristalina hospedeira e um centro luminescente, que funciona como ativador. As principais características dos fósforos são o tempo de vida longo da luminescência, eficiência luminosa, reatividade, estabilidade e morfologia do pó, que apresenta melhores resultados quanto mais homogêneo. Existe uma quantidade muito grande de fósforos de terras-raras, sendo inúmeras as suas aplicações, como em tubos de televisores coloridos, fibras ópticas, lâmpadas fluorescentes, LEDs, tintas, vernizes, marcadores ópticos luminescentes, telas de computadores, etc.

Outras aplicações de terras-raras que merecem destaque são a fabricação de lasers, onde os íons de terras-raras constituem o meio ativo responsável pela luz laser, e a investigação de propriedades e funções de sistemas bioquímicos, bem como sua utilização na determinação de substâncias biologicamente ativas (traçadores biológicos, marcadores em imunologia e agentes de contraste em diagnóstico não invasivo de patologias em tecidos por imagens de ressonância magnética nuclear).

Uma próxima aplicação de terras-raras de alta tecnologia a alcançar maturidade pode ser a refrigeração magnética. Os seis íons de terras-raras de Gd^{3+} a Tm^{3+} possuem momentos magnéticos grandes, devido aos seus muitos elétrons não pareados. Uma liga recentemente desenvolvida de $\text{Gd}_5(\text{Si}_2\text{Ge}_2)$, com um efeito magneto-calórico gigante próximo à temperatura ambiente, pode permitir que a refrigeração magnética se torne competitiva com a refrigeração convencional por compressão mecânica de vapor⁵.

ASPECTOS ECONÔMICOS

A análise dos preços de elementos minerais é baseada no consumo, produção, e eventos industriais reportados por uma variedade de fontes. A produção mundial de terras-raras

5 Lozano, J. A.; Engelbrencht, K.; Bahl, C. R. H.; Nielsen, K. K.; Eriksen, D.; Olsen, U. L.; Barbosa Jr., J. R.; Smith, A.; Prata, A. T.; Pryds, N. 2013. Performance analysis of a rotary active magnetic refrigerator. *Applied Energy*, v. 111, p. 669-680.

é de 124.000 toneladas por ano (t/ano) e a demanda atual já ultrapassa 135.000 t/ano, com previsão de atingir 210.000 t/ano em 2014⁶.

Em relação ao aspecto econômico dos elementos terras-raras, a China tem o domínio de aproximadamente 86% da produção⁷, 37% das reservas mundiais e abastece 90% da demanda mundial⁸. O valor do mercado mundial de terras-raras é da ordem de US\$ 5 bilhões/ano⁹.

Devido à grande produção e com o domínio absoluto do mercado, a China criou uma taxa de exportação sob a alegação de proteger o meio ambiente e seus recursos naturais. Sendo esses elementos importantes componentes em diversos produtos de alta tecnologia e com restrição à exportação, houve aumento em torno de 31% dos preços das matérias-primas de terras-raras nos últimos quatro anos (Tabela 1).

Tabela 1 Histórico dos preços dos elementos terras-raras.

Óxidos de Terras-raras	2009 (US\$/kg)	2010 (US\$/kg)	2011 (US\$/kg)	2012 (US\$/kg)	29/04/2013 (US\$/kg)
Lântanio	4,88	22,4	104,1	13,92	9,3
Cério	3,88	21,6	102	15,31	9,3
Neodímio	19,12	49,5	234,4	87,46	70
Praseodímio	18,03	48	197,3	88,46	75
Samário	3,4	14,4	103,4	34,85	20
Disprósio	115,67	231,6	1.449,80	716,15	600
Európio	492,92	559,8	2.842,90	1.853,08	1.250,00
Térbio	361,67	557,8	2.334,20	1.446,15	1.100,00

Fonte: Lynas Corporation, 2013¹⁰.

Cabe destacar que essa atitude chinesa deflagrou uma disputa via Organização Mundial do Comércio (OMC) contra a China, encabeçada pela União Europeia, Estados Unidos e Japão quanto à decisão de restrição das exportações de terras-raras. Esses países alegam a restrição de exportação de terras-raras, sendo esses elementos essenciais para produtos de alta tecnologia, produtos ambientais e telecomunicações¹¹. Essa estratégia política de restrição tem induzido as empresas que dependem desses insumos a se instalarem em

6 Rocio, M. A. R.; Silva, M. M da; Carvalho, P. S. L de; Cardoso, J. G. da Rocha. 2012. Terras-raras: situação atual e perspectivas. BNDES Setorial 35, p. 369-420.

7 USGS, 2013. Disponível em: http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earth/mcs-2013-ree.pdf

8 Disponível em: <http://br.china-embassy.org/por/szxw/t1028067.htm>

9 Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/destaques/brasil-pode-ser-dono-de-uma-das-maiores-reservas-de-terras-raras-do-planeta>

10 Disponível em: <http://www.lynascorp.com/Pages/what-are-their-prices.aspx>

11 Disponível em: <http://www.jornaldaciencia.org.br/Detalhe.jsp?id=81550>

solo chinês, onde o acesso a esses elementos sofre menos embaraço por parte do governo, estruturando naquele país toda a cadeia produtiva para o segmento de terras-raras¹².

Ao observar o histórico da produção de elementos terras-raras, vê-se um aumento durante o período de 1991 a 2007¹³. Esse crescimento ocorreu como resposta ao aumento do consumo de produtos demandantes desses insumos¹⁴. Contudo, diferentemente da maioria dos outros metais, o preço das terras-raras teve queda. Isso porque, uma vez que a China despontava como o maior produtor mundial de terras-raras, a matéria-prima produzida em solo chinês era de baixo custo. Entretanto, a partir de 2007, o preço desses elementos aumentou significativamente, devido ao crescente aumento do consumo chinês e à promulgação de controles de exportação por parte da China.

Os preços dos elementos terras-raras são negociados no mercado privado. A venda do produto é feita sob a forma de óxido ou de liga, com teores de 99%. O grau de pureza determina as aplicações e o preço desses elementos. No geral, os elementos mais pesados são mais escassos e de preços mais elevados.

Sob o temor de os chineses, em breve, restringirem mais severamente ou até mesmo sustarem a exportação desses insumos e em resposta ao aumento do preço, alguns países retomaram os estudos e estão em processo de reativação de minas ou na busca de novas jazidas. Os projetos de exploração atualmente em desenvolvimento estão concentrados principalmente na China, EUA, CEI e Canadá. Contudo, entre todos os projetos em processo de reativação, apenas a Mina de Mountain Pass (EUA) já se encontra em operação. Com o retorno dessas minerações, estima-se uma sobreoferta com aporte desses novos produtos já em 2015. Esse incremento de insumo no mercado internacional poderá gerar maior instabilidade nos preços desses elementos.

Embora novas minas em produção possam suprir a crescente demanda mundial para a maioria das terras-raras leves, tais como cério, lantânio e praseodímio, várias previsões mostram que provavelmente haverá falhas de outras terras-raras leves (ETRL) e de vários elementos terras-raras pesados (ETRP), tais como, disprósio, térbio, neodímio, európio e érbio. De acordo com o trabalho desenvolvido pelo BNDES, os teores dos elementos das principais reservas mundiais são apresentados na Tabela 2:

12 Disponível em: <http://www.inovacao.unicamp.br/destaques/ue-japao-e-eua-vaio-a-omc-contra-a-china-por-monopolio-de-terras-raras>

13 Papp, J. F.; Bray, E. L.; Edelstein, D. L.; Fenton, M. D.; Guberman, D. E.; Hedrick, J. B.; Jorgenson, J.D.; Kuck, P. H.; Shedd, K. B.; Tolcin, A. C. 2008. Factors that influence the price of Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Rare Earth Elements, and Zn. USGS, p.1-65.

14 Humphries, M. 2012. Rare Earth Elements: The Global Supply Chain. *Congressional Research Service*, p. 1-27.

Tabela 2 Estimativa das principais reservas mundiais de terras-raras.

País	Projeto	Reserva	Teor (% de óxido de ETR)
China	Mongólia Interior	300.000.000	1,5
China	Gansu	17.000.000	3
Austrália	Mount Weld	12.200.000 ^e	9,7
Austrália	Nolans	30.300.000 ^e	2,8
Austrália	Dubbo Zirconia	73.200.000 ^e	0,75
Canadá	Hoidas Lake	1.400.000 ^e	2,56
Canadá	Thor Lake	64.200.000 ^e	1,79
Estados Unidos	Moutain Pass	50.000.000 ^p	8,6
		20.000.000 ^p	9,4
Estados Unidos	Deep Sands	120.000.000 ^e	0,14-0,80
Estados Unidos	Bear Lodge	8.900.000 ^{id}	4,1
Dinamarca	Kvanefjeld	457.000.000 ^{id/ff}	1,07
África do Sul	Steenkampskraal	249.500	16,74
África do Sul	Zandkopsdrift	31.500.000 ^e	3,6

^e: reserva estimada; ^p: reserva provada; ^{id}: reserva indicada; ^{ff}: reserva inferida.

Fonte: compilação de BNDES, 2012.

Outra fonte significativa de terras-raras que tem sido considerada é a reciclagem de lixo eletrônico e de outros equipamentos que contenham componentes produzidos com terras-raras.

Quanto ao aspecto tecnológico, EUA, China, Índia, França, Japão e Áustria são os principais países produtores e detentores de tecnologia. Os três primeiros possuem reservas minerais, além da tecnologia, enquanto os três últimos são dependentes de matéria-prima, que suprem mediante aquisição de minerais e/ou concentrados, ou mediante associação com empresas que possuem reservas minerais em vários países¹⁵. Em relação ao número de patentes, destacam-se, em ordem crescente, China, Japão e França¹⁶.

CADEIA PRODUTIVA DE TERRAS-RARAS NO BRASIL

O Brasil possui um enorme potencial para se tornar grande produtor de terras-raras, principalmente de terras-raras leves (ETRL). Dados do DNPM de 2012 mostram que o País possui, atualmente, reservas medidas da ordem de 40.000 Mt, localizadas nos estados de Minas

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

16 Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Usos e Aplicações de Terras-raras no Brasil: 2012-2030. No prelo.

Gerais (Poços de Caldas, São Gonçalo do Sapucaí, Pouso Alegre, dentre outros) e Rio de Janeiro (São Francisco do Itabapoana). Outras reservas potenciais que ainda não possuem a aprovação deste órgão também incluem as Províncias de Pitinga (AM) e Catalão (GO).

Mas ainda é necessário conhecer melhor essas ocorrências de terras-raras no País e, para tanto, o Governo Federal, por meio do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), está executando desde 2011, em todo território nacional, o projeto “Avaliação do Potencial dos Minerais Estratégicos do Brasil”¹⁷, que prevê pesquisas para a identificação de novas áreas potenciais para ocorrência de terras-raras, o que pode fazer com que o Brasil ocupe importante posição no mercado mundial.

Para que o País não seja mero exportador de minerais de terras-raras, é necessário desenvolver a cadeia produtiva completa desses elementos. É sabido que a tecnologia para produção de terras-raras no Brasil já foi parcialmente dominada no passado e dados do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) demonstram que atualmente ainda possuímos alguma capacidade científica vinculada principalmente às universidades e centros de pesquisa. Nesse sentido, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) tem investido na formação de recursos humanos, capacitação de infraestrutura laboratorial e desenvolvimento tecnológico nessa área.

Ao todo foram identificados 491 especialistas, 49 instituições e 112 grupos de pesquisa com atuação em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em temas relacionados às terras-raras. Observou-se também que os grupos de pesquisa concentram-se principalmente nas regiões Sudeste (60%) e Nordeste (25%), seguidos pelas regiões Sul (9%), Centro-Oeste (5%) e Norte (1%).

A cadeia produtiva dos elementos terras-raras não difere muito da cadeia produtiva dos demais minerais, conforme pode ser visto na Figura 1. As atuais competências brasileiras nos processos produtivos associados às etapas iniciais dessa cadeia estão destacadas na Figura 2, onde na parte superior são apresentadas etapas iniciais da cadeia produtiva, desde a ocorrência das jazidas até a separação e purificação do bem mineral, e na parte inferior o estágio de competência em que o Brasil se encontra nessas etapas. São considerados na figura os estágios: experimental (escala laboratorial), piloto (escala pré-industrial), inovação (introdução do produto no mercado), produção (escala industrial) e comercialização propriamente dita.

De maneira geral, observa-se que o Brasil se encontra hoje em posição favorável nos estágios experimental e piloto em todas as quatro etapas iniciais da cadeia. Já no que se refere ao estágio de inovação, entendido como a introdução do produto no mercado até a comercialização propriamente dita, predomina o domínio parcial ou incipiente, uma

17 Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inoid=1472&sid=48>

vez que, no momento, o País não desenvolve nenhum produto baseado em terras-raras nas escalas industrial e comercial.

Figura 1 Diagrama geral da cadeia produtiva de terras-raras, com indicação dos principais usos industriais.



Fonte: Modificado de CGEE (no prelo).

No estudo conduzido pelo CGEE foram destacadas também cinco aplicações dos elementos terras-raras que deveriam ser priorizadas no Brasil, a saber: i) catalisadores, ii) ímãs permanentes, iii) ligas metálicas contendo terras-raras, iv) fósforos e v) pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. Chama atenção o fato de que a fase inicial das cadeias produtivas de todas as aplicações supramencionadas é semelhante até a etapa de separação e purificação, apresentando particularidades nas etapas subsequentes.

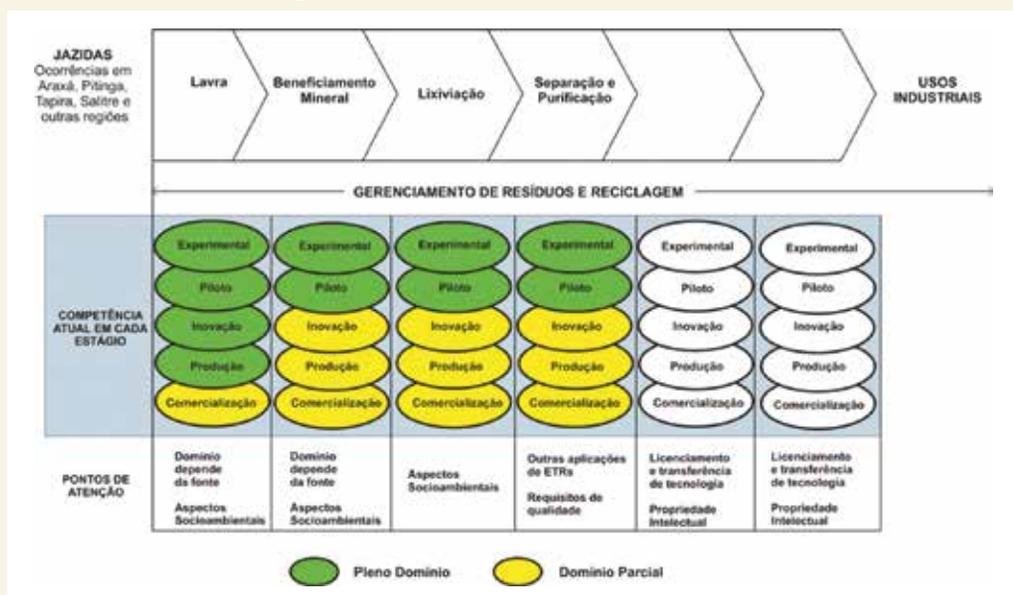
Para as duas etapas finais, onde há maior agregação de valor, no geral, o Brasil possui domínio parcial nos diversos estágios da cadeia. Exceção faz-se para a cadeia produtiva de catalisadores, onde o País possui pleno domínio, principalmente pelas pesquisas desenvolvidas pela Petrobras; por outro lado, nas cadeias de ímãs permanentes e fósforos, a competência brasileira é ainda muito incipiente.

Atualmente, já existem duas empresas de mineração: a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) e a MbAC Fertilizantes, que estão investindo na produção respectivamente de sulfato e hidróxido de terras-raras e óxidos de terras-raras em escala piloto. Segundo a Brasil Mineral Online, a capacidade inicial de produção dos óxidos na MbAC estaria em torno de 8.750 toneladas, podendo alcançar 17.500 toneladas¹⁸. Na CBMM esse valor tem sido de 1.000 toneladas de concentrado, com expectativa de chegar a 3.000 toneladas¹⁹. A intenção dessas empresas é evoluir na cadeia produtiva.

18 Disponível em: <http://www.brasilmineral.com.br/BM/default.asp?numero=588>

19 Disponível em: <http://www.aguiarconsulting.com.br/GA08/sessao.asp?cod=100¬=3&data=230512>

Figura 2 Competência atual nos estágios das etapas iniciais da cadeia produtiva de terras-raras no Brasil.



Fonte: Modificado de CGEE.

É importante frisar, no entanto, que o mercado de terras-raras mostra-se atraente para empresas de menor porte, visto que esses elementos são utilizados em volumes muito baixos pela indústria e as empresas de grande porte geralmente atuam em larga escala.

Outro aspecto importante é que, durante o I Seminário Brasileiro de Terras-raras, ocorrido em 07 de dezembro de 2011, no Rio de Janeiro²⁰, algumas empresas privadas como a Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. (FCC), Weg, Embraco, Siemens e Bosch, demandantes de produtos que contêm terras-raras, demonstraram interesse que projetos de exploração de terras-raras sejam desenvolvidos no Brasil, estimuladas principalmente pelos riscos de suprimento desses materiais no mercado internacional.

Nesse sentido, destaca-se que uma análise feita pelo BNDES em um estudo setorial de 2012 chama atenção para o fato de que o estímulo à mineração de terras-raras e à fabricação de produtos com base nesses insumos no Brasil, onde a demanda é baixa, deveria ser feito por meio de parcerias ou consórcios entre empresas mineradoras e consumidoras, que teria o objetivo de diminuir a falta de abastecimento e a volatilidade, além de permitir uma margem adequada para as mineradoras, viabilizando assim investimentos nesse setor.

20 | Seminário Brasileiro de Terras-raras. Rio de Janeiro, 07 de dezembro de 2011. Comunicação Oral.

CONCLUSÃO

O presente artigo mostrou a importância dos elementos terras-raras para a indústria devido as suas diversas aplicações, como em telas de cristal líquido, ímãs permanentes, refrigeração magnética, dentre outras. Pelas funções específicas desempenhadas nesses produtos, o mercado de terras-raras tem demonstrado sua importância muito mais pela relação estratégica que esses elementos apresentam, ao comporem produtos de alta tecnologia, do que pelos recursos financeiros gerados com sua comercialização. Como consequência, nota-se atualmente que empresas de menor porte apresentam maior interesse em entrar nesse mercado do que as grandes empresas do setor.

Um dos principais indicadores de que haverá efetivamente o desenvolvimento da exploração das terras-raras em todo o mundo é a reação da retomada da produção por parte dos principais países consumidores frente à recente estratégia chinesa de imposição de barreiras à exportação. Essa iniciativa visa principalmente à garantia de suprimento estável, mesmo que o custo relativo de produção seja elevado e os preços desses insumos no mercado internacional sejam voláteis.

Nesse contexto, é importante ressaltar que o Brasil pode vir a se tornar um importante produtor de terras-raras no mercado mundial, visto que possui significativas ocorrências de terras-raras em seu território e um esforço grande tem sido empreendido pelos órgãos federais competentes no sentido de melhorar o conhecimento das mesmas.

Além disso, observa-se internamente um contexto favorável, onde o Governo Federal tem apoiado o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva e empresas exploradoras já avançaram na cadeia ao produzirem sulfatos e óxidos de terras-raras em escala piloto, enquanto empresas consumidoras mostram interesse de que esse mercado se estabeleça no País.

Segundo dados do Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), o Brasil deve priorizar as cadeias de catalisadores, ímãs permanentes, ligas metálicas contendo terras-raras, fósforos, e pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. De maneira geral, observa-se que o País possui pleno domínio ou domínio parcial nas etapas iniciais das cadeias desses produtos e domínio apenas parcial nas etapas finais, sendo necessário, portanto, intensificar os investimentos em PD&I nessa área para alcançarmos pleno domínio de toda a cadeia.

BIBLIOGRAFIA

Martins, T. S. & Isolani, P. C. 2005. Terras-raras: Aplicações Industriais e Biológicas. *Química Nova*, vol. 28, n. 01, p. 111-117.

DNPM, 2012. https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7409

Haxel, G. B.; Hedrick, J. B.; Orris, G. J. 2002. Rare Earth Elements – Critical Resources for High Technology, *USGS Fact Sheet*, v. 87, p. 02.

Lozano, J. A.; Engelbrencht, K.; Bahl, C. R. H.; Nielsen, K. K.; Eriksen, D.; Olsen, U. L.; Barbosa Jr., J. R.; Smith, A.; Prata, A. T.; Pryds, N. 2013. Performance analysis of a rotary active magnetic refrigerator. *Applied Energy*, v. 111, p. 669-680.

Rocio, M. A. R; Silva, M. M da; Carvalho, P. S. L de; Cardoso, J. G. da Rocha. 2012. Terras-raras: situação atual e perspectivas. *BNDES Setorial* 35, p. 369-420.

USGS, 2013. [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/mcs-2013-
rare.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/rare_earths/mcs-2013-rare.pdf)

Papp, J. F.; Bray, E. L.; Edelstein, D. L.; Fenton, M. D.; Guberman, D. E.; Hedrick, J. B.; Jorgenson, J.D.; Kuck, P. H.; Shedd, K. B.; Tolcin, A. C. 2008. Factors that influence the price of Al, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Rare Earth Elements, and Zn. USGS, p.1-65.

Humphries, M. 2012. Rare Earth Elements: The Global Supply Chain. *Congressional Research Service*, p. 1-27.

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

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Usos e Aplicações de Terras-raras no Brasil: 2012-2030. No prelo.

I Seminário Brasileiro de Terras-raras. Rio de Janeiro, 07 de dezembro de 2011. Comunicação Oral.

MINERAIS ESTRATÉGICOS & ELEMENTOS TERRAS-RARAS

José Eduardo Alves Martinez

Servidor Público Federal, Geólogo do DNPM, formado pela Universidade de Brasília (1984), Assessor da Diretoria-Geral do DNPM. Foi Coordenador-Geral de Mineração e de Geologia e Produção Mineral do Ministério de Minas e Energia, Chefe Interino do então 3º Distrito do DNPM em Minas Gerais. Atuação nas áreas de geologia, gestão, controle e fiscalização de atividades minerais, meio ambiente, legislações mineral e ambiental, Pós-Graduado em Gestão Organizacional (UnB – Depto. de Administração – Brasília, DF, 1997), Meio Ambiente e Segurança na Mineração (Ecole des Mines d’Alès – Alès, França, 1992) e em Patrimônio Geológico & Geoconservação (Dpto. de Ciências da Terra – Escola de Ciências – Universidade do Minho – Braga, Portugal, 2008).

&

Romualdo Homobono Paes de Andrade

Servidor Público Federal, Especialista em Recursos Minerais do DNPM, Geólogo formado pela Universidade de São Paulo (1968), Sumarista de Tema Terras-Raras do DNPM, Atuação nas áreas de geologia e economia mineral, Profissional em geologia de engenharia, geologia do petróleo, gerenciamento de obras; Pós-graduação em perfilagens de poços de petróleo (IFP, Paris, 1974); Controle de qualidade (UFMG, 1993); Economia e Política Mineral (UFRJ, 2008);

RESUMO

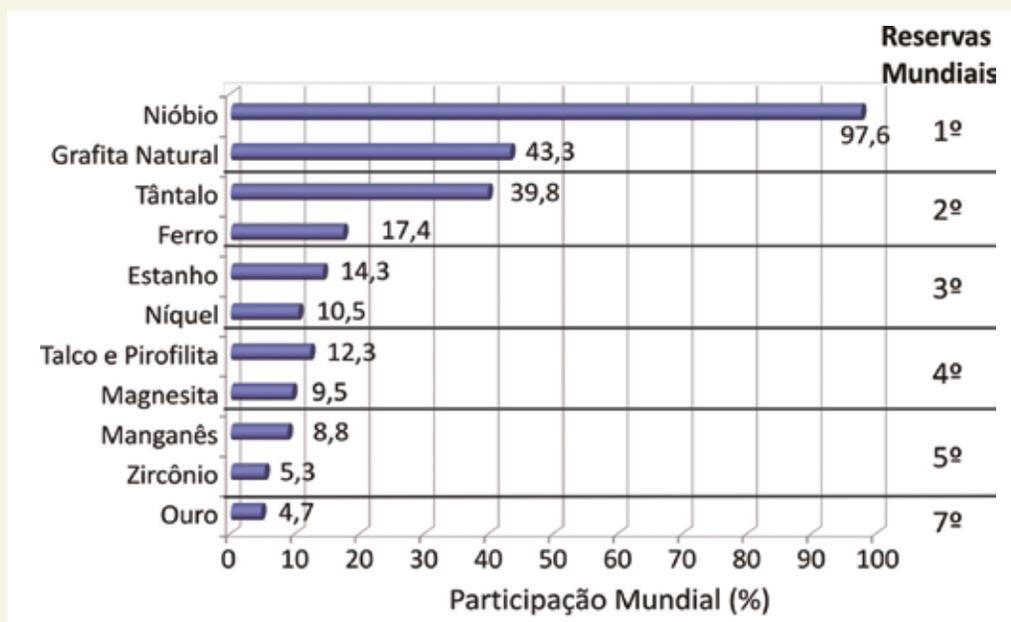
Os minerais estratégicos podem ser vistos de vários ângulos ou momentos da história. Na época da Guerra Fria (1945-1963), boa parte dos metais e os elementos nucleares estavam entre os considerados estratégicos. Com a globalização, a maioria destes minerais, portadores de metais em especial, viraram *commodities*, sendo seus preços regulados nos mercados transoceânicos. Hoje, no caso brasileiro, dois grupos de minerais se tornaram destaques: os portadores de fertilizantes (potássio e fosfato), em que o Brasil apresenta um déficit comercial de cerca de 3,5 bilhões de dólares americanos, em especial no caso do potássio, que importamos 90% de nossas necessidades anuais na agricultura. No outro grupo, pelas aplicações em tecnologia de ponta estão os minerais portadores de Elementos de Terras-Raras – ETR e os portadores de Lítio, essenciais nestas aplicações, com mercado crescente a cada ano. Em um futuro próximo, com a expansão das grandes cidades e a criação de Unidades de Conservação próximas, áreas de lazer e cinturões verdes, a tendência é que os “minerais” denominados agregados

(areia, cascalho e brita), aplicados na construção civil e em muitas obras públicas, como vias e saneamento básico, se tornarão estratégicos e deveremos pensar em planejar o futuro que desejamos para os grandes centros urbanos. Hoje, estes agregados, em volume, já ultrapassam, com sobra, o minério de ferro, nossa principal *commodity*.

1. A PRODUÇÃO BRASILEIRA DE BENS MINERAIS – DESTAQUES

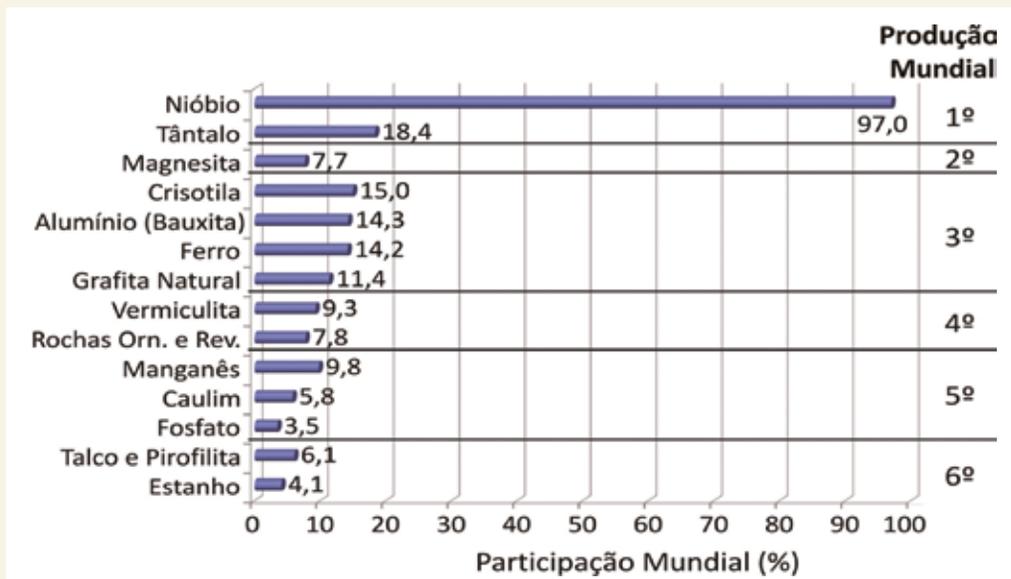
O Brasil produz 80 bens minerais cujo valor da produção mineral foi de US\$ 42 bilhões em 2012, e as exportações do setor foram de US\$ 34,1 bilhões. Dentre os minerais onde há vantagem comparativa e liderança do Brasil estão: minério de ferro, com a produção de 370 Mt, 3ª posição no *ranking* mundial e exportação de 327 Mt, equivalente a US\$ 31 bilhões, e o nióbio, cuja produção de ferro-nióbio, em 2011, foi de 81,3 kt, estimado em US\$ 2,1 bilhões e as exportação de liga ferro-nióbio com 71 kt, equivalente a US\$ 1,8 bilhão (gráficos 1 e 2). Já entre os minerais de que o país depende e importa destacam-se o potássio, com 4,23 Mt, o que representa US\$ 3,5 bilhões (valores referentes a 2011 e 2012) e o carvão metalúrgico, com 18,4 Mt, representando déficit de US\$ 3,6 bilhões, em 2012. Dentre os minerais onde a demanda deverá expandir, embora ainda de consumo global relativamente baixo, destacamos o lítio, com 37 mil toneladas de Li_2O , totalizando US\$ 166,3 milhões e as Terras-Raras, com 109,4 mil toneladas, com valor de US\$ 1,5 bilhão.

Gráfico 1 Reservas minerais e participação do Brasil



Fonte: DNPM/DIPLAM, USGS.

Gráfico 2 Produção dos principais minerais



Fonte: DNPM/DIPLAM, USGS.

As políticas do MME para os minerais estratégicos e Terras-Raras estão no Plano Nacional de Mineração 2030 – PNM 2030, onde destacamos a ampliação do mapeamento geológico e na busca de agregação de valor ao minério extraído.

Ressalta-se ainda o Grupo de Trabalho criado pelos Ministérios de Minas e Energia e da Ciência, Tecnologia e Inovação – MME/MCTI, para a elaboração de propostas de integração, coordenação e aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para minerais estratégicos, com destaque para as Terras-Raras e o Lítio.

“Outros estudos que vêm sendo conduzidos sobre a temática são: Grupo de Trabalho de Coordenação no âmbito dos Ministérios MME/MCTI/MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Estudo Prospectivo – MCTI, ABDI e Centro de Estudos e Debates Estratégicos da Câmara dos Deputados; Levantamento Geológico (MME/CPRM/Empresas); Programas de PD&I – ICT’s e empresas, MCTI/CETEM/ENCTI; Integração em Projetos Inovadores, MCTI/MDIC/MME & Empresas; Articulações Público-Privadas, MCTI/MDIC/MME & Empresas”.

Fonte: MME

2. MINERAIS ESTRATÉGICOS CONSIDERADOS PRIORITÁRIOS NO MOMENTO

Hoje, face às demandas crescentes, escassez de recursos ou produção insuficiente para o mercado interno, custos de produção, domínio tecnológico e a balança comercial, se destacam os fertilizantes à base de potássio (K) e fósforo (P), o lítio e as Terras-Raras.

2.1 Fertilizantes

O Brasil pratica o modelo de fertilizantes solúveis na adubação de seu solo, cuja cadeia produtiva é o NPK (nitrogênio, fosfato e potássio). Os produtos são MAP, DAP, Superfosfato Simples e Triplo, Cloreto de Potássio, Ureia, Sulfato e Nitrato de Amônio, e as matérias-primas são enxofre (ácido sulfúrico), rocha fosfática, mineral de potássio e gás natural e nafta.

Entre as matérias-primas, o país possui reservas suficientes de rocha fosfática, oriundos de rochas alcalino-carbonatíticas, cujos teores são menores do que os depósitos sedimentares, o que ocasiona um maior custo de produção do fertilizante fosfatado. As principais jazidas situam-se na região do Triângulo Mineiro (Tapira-MG, Araxá-MG) e Catalão-GO e as principais empresas produtoras são Vale e Anglo American/Copebras. Após a extração ocorre a concentração (de cerca de 10% de P_2O_5 para 35% de P_2O_5) seguido de ataque por ácido sulfúrico para se produzir ácido fosfórico, base para a produção do MAP, DAP e Superfosfato Triplo. No Brasil as empresas que extraem a rocha são verticalizadas e têm de importar o enxofre para produzir ácido sulfúrico. Em 2012 os gastos com a importação de enxofre somaram US\$ 450 milhões e o concentrado de rocha fosfática, US\$ 205 milhões.

Com relação ao potássio a situação é mais delicada, tendo em vista que apenas uma mina está em produção (Taquari-Vassouras, em Sergipe) e atende menos de 10% da demanda interna. Esta mina é operada pela empresa Vale e encontra-se próxima à exaustão. O principal projeto em andamento é o da Carnalita, localizado próximo à jazida atual, também operado pela Vale, que, quando entrar em operação, deverá diminuir para cerca de 75% nossa dependência externa para esse insumo. O Brasil possui ainda reservas de potássio no Estado do Amazonas, no município de Nova Olinda do Norte e Itaquiara. No entanto, a sua operacionalização encontra obstáculos, tendo em vista a profundidade dos depósitos, o fato da operação por dissolução gerar grandes quantidades de rejeito de salmoura, além dos sensíveis ecossistemas da Amazônia Ocidental. No caso dos depósitos em Sergipe, esta salmoura é transportada para o mar, em face da proximidade da região, menos de 100 quilômetros. Em 2011 e 2012 foram gastos US\$ 3,5 bilhões com a importação de potássio.

Tabela 1 Reservas e produção mundial de potássio

Discriminação	Reservas (10 ³ t K ₂ O)	Produção ^(e) (10 ³ t K ₂ O)		
		Países	2011 ^(r)	2012 ^(p)
Brasil	14.925⁽¹⁾	395	346	1,0
Canadá	4.400.000	11.000	9.000	26,2
Rússia	3.300.000	6.500	6.500	19,0
Bielorússia	750.000	5.500	5.650	16,4
China	210.000	3.700	3.900	11,3
Alemanha	140.000	3.010	3.000	8,7
Outros Países	452.000 ⁽²⁾	6.167	5.955	17,3
Total	9.266.925	36.272	34.351	100

Fontes: DNPM/DIPLAM e USGS: Mineral Commodity Summaries – 2013.

Nota: Usa-se convencionalmente a unidade K₂O equivalente para expressar o potássio contido, embora essa unidade não corresponda à composição química da substância; (1) referente à reserva lavrável da mina de Taquari/Vassouras/Sergipe; (2) Inclui o total da reserva do Mar Morto, que é equitativamente dividido entre Israel e Jordânia; (r) revisado; (p) preliminar.

Quanto à amônia e ureia, a Petrobras tem desenvolvido duas unidades de fertilizantes nitrogenados em Laranjeiras – Sergipe, uma em Três Lagoas – MS e uma planta de amônia em Uberaba – MG, que prometem reduzir drasticamente a importação desses insumos. No entanto, enquanto esses projetos ainda estão em fase de desenvolvimento, o Brasil tem importado, além dos produtos já referidos, vários produtos intermediários, que somaram US\$ 2,6 bilhões em 2012. Desta forma, sem considerar amônia e ureia, os dispêndios com importação de fertilizantes chegaram em 2012 aos US\$ 7 bilhões. Como alternativa, principalmente para o caso do potássio, há a rochagem, técnica de remineralização do solo utilizando o pó de rocha, com vários projetos pelo país, onde se destacam as ocorrências de rochas (fonolitos) da região de Poços de Caldas – MG.

2.2 O Lítio

As aplicações dos compostos de lítio (hidróxidos e carbonatos) são para a indústria metalúrgica (refratários), cerâmica (pisos e revestimentos), compostos químicos (graxas e lubrificantes), nucleares (selante de reatores) e baterias especiais.

Os principais depósitos do mundo estão no carbonato de lítio (amblygonita) e ocorrem em salinas, onde destacamos os países da América do Sul (Argentina, Bolívia, Chile), Estados Unidos e China.

As reservas mundiais de lítio para 2011 são mostradas na tabela 2. No entanto, nesta tabela, não estão computados os valores da Bolívia, maior detentora de reservas de lítio

mundiais, uma vez que essas informações não foram publicadas pelo *United States Geological Survey*. Além disso, na figura 1 estão localizadas as principais reservas com produção ativa, potenciais recursos e países exportadores, importadores e autossuficientes na produção de lítio.

Tabela 2 Reservas mundiais de lítio em toneladas

Países	Reservas ⁽¹⁾	%	Demonstrativo
Chile	7.500.000	57,95%	
China	3.500.000	27,04%	
Austrália	970.000	7,49%	
Argentina	850.000	6,57%	
Brasil	52.261	0,40%	
EUA	38.000	0,29%	
Zimbábue	23.000	0,18%	
Portugal	10.000	0,08%	
Total	12.943.261	100,00%	

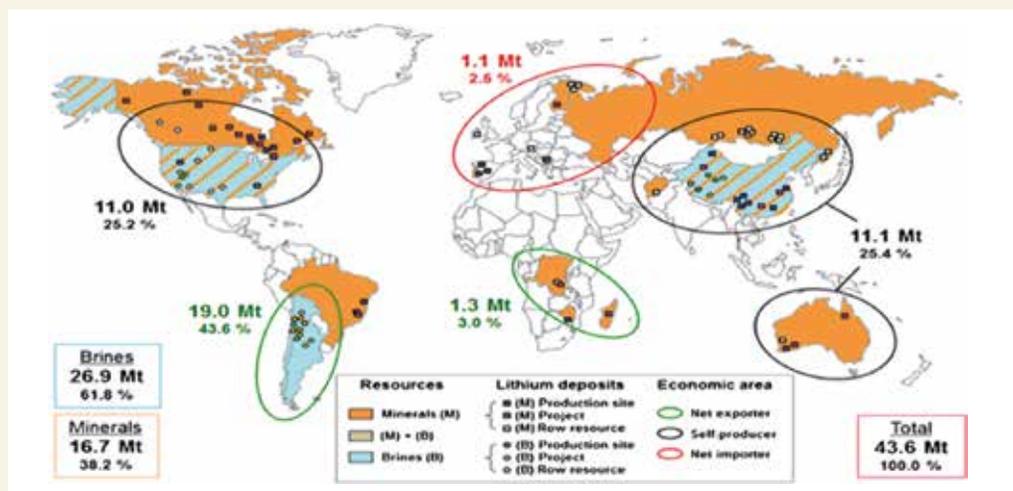
Fonte: Mineral Commodity Summaries 2012 – United States Geological Survey.

(1): Reservas economicamente lavráveis, de acordo com a nova metodologia utilizada pelo USGS, exceto Brasil, onde foram utilizadas as reservas medidas + indicadas.

A demanda mundial de lítio vem aumentando gradativamente no tempo, com destaque para as utilizações, sobretudo em baterias. Apesar deste crescimento do uso de compostos químicos, dados oficiais do Brasil indicam que este fato ainda não suscitou um crescimento da lavra e beneficiamento associados à produção dos concentrados e compostos de lítio. Nota-se leve alta de 2010 para 2011, de 615 t para 633 t, mas o consumo interno aparente dos compostos não ultrapassa as 800 t desde 2007.

Recentemente, a empresa Companhia Brasileira do Lítio (CBL), única produtora nacional de compostos, começou a realizar, em escala laboratorial, pesquisas para atender eventual demanda futura por compostos de lítio com grau eletroquímico no mercado interno. O Brasil, além de não ser produtor de baterias de lítio, não se insere entre os maiores exportadores de compostos para os países que as fabricam, China e Japão.

Figura 1 Mapa da disponibilidade de recursos de lítio.



Fonte: Grosjean, Miranda, Perrin, Poggi, 2011.

Mineral: Pegmatitos; Brines: Salares; Row Resources: recursos sem reservas provadas.

As reservas brasileiras somam 52.261 toneladas de Li_2O contido, utilizando a metodologia de reservas medidas e indicadas, conforme tabela 3 abaixo. Estas reservas estão localizadas em Minas Gerais, nos municípios de Araçuaí e Itinga, sendo as empresas detentoras a CBL e a Arqueana de Minérios e Metais Ltda., únicas empresas que declaram produzir minério de lítio no país. Outras regiões que apresentam potenciais são o Ceará (Solonópole e Quixeramobim), Rio Grande do Norte e Paraíba (Borborema).

Nestes depósitos em Minas Gerais, a produção ainda é feita de forma rudimentar e esporádica, muito em função da diversidade e preços dos minerais explorados, sua distribuição errática e a dificuldade de mensuração destes corpos pegmatíticos. Em geral nestes tipos de depósitos há várias associações minerais, sendo alguns de grande interesse econômico, como: tantalita, berílio, feldspato, plagioclásios, minerais micáceos, quartzo, dentre outros, o que podem agregar valor a estes tipos de depósitos.

Tabela 3 Reservas brasileiras de lítio em toneladas – 2011

	Medida		Indicada		Total	
	Minério	Contido	Minério	Contido	Minério	Contido
Petalita	258.588	10.860	393.390	16.521	651.978	27.381
Espodumênio	238.843	4.456	1.102.266	20.424	1.341.109	24.880
Total	497.431	15.316	1.495.656	36.945	1.993.087	52.261

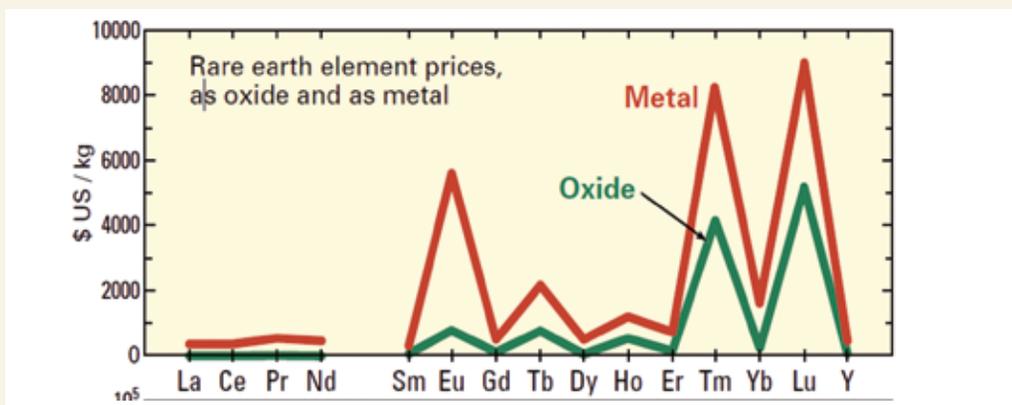
Fonte: DNPM/DIPLAM.

Cabe destaque que tanto o Canadá como a Austrália, que são produtores mundiais de lítio, não possuem salares e toda a produção de lítio é realizada a partir de depósitos pegmatíticos (espodumênio, petalita e lepidolita).

2.3 As Terras-Raras

Os elementos terras-raras são os 15 elementos químicos da Série dos Lantanídeos da Tabela Periódica: Lantânio; Neodímio; Cério; Praseodímio; Promécio; Samário; Európio; Gadolínio; Térbio; Disprósio; Hólmio; Érbio; Túlio; Itérbio; Lutécio, acrescidos dos elementos Escândio e Ítrio.

Gráfico 3 Estimativas de preços dos óxidos e metais de Terras-Raras



Fonte: José Affonso Brod – UFG, Referência: ano de 2011.

Os Principais minerais portadores de Terras-Raras são: Grupo da bastnaesita (Ce, La, Y)CO₃F – fluorcarbonato; Monazita (Ce, La, Th, Nb, Y)PO₄ & Xenotima: YPO₄ – fosfatos e Argilas iônicas.

Tabela 4 Tabela periódica, elementos químicos, com destaque para as Terras-Raras

Fonte: imagens Google

Tabela 5 Reservas e produção mundial de Terras-Raras – dados 2012¹

Discriminação	Reservas (10 ⁴ t)	Produção (t)		
		2011 ⁽¹⁾	2012 ⁽²⁾	%
Países	2012⁽³⁾			
Brasil	11.000 ⁽²⁾	290	205 ⁽³⁾	0,2
China	55.000	105.000	95.000	86,9
Estados Unidos da América	13.000	-	7.000	6,4
Austrália	1.600	2.200	4.000	3,7
Índia	3.100	2.800	2.800	2,6
Malásia	30	280	350	0,3
Outros países	41.000 ⁽²⁾	nd	nd	nd
TOTAL	124.730	110.570	109.355	100,1

Fonte: DNPM/DIPLAM; USGS – *Mineral Commodity Summaries* – 2013.

(1) Reserva lavrável (RAL 2013);

(2) Inclusive Comunidades dos Estados Independentes (Rússia) e outras repúblicas da ex-União Soviética;

(3) Refere-se à produção de monazita no município de São Francisco do Itabapoana – RJ;

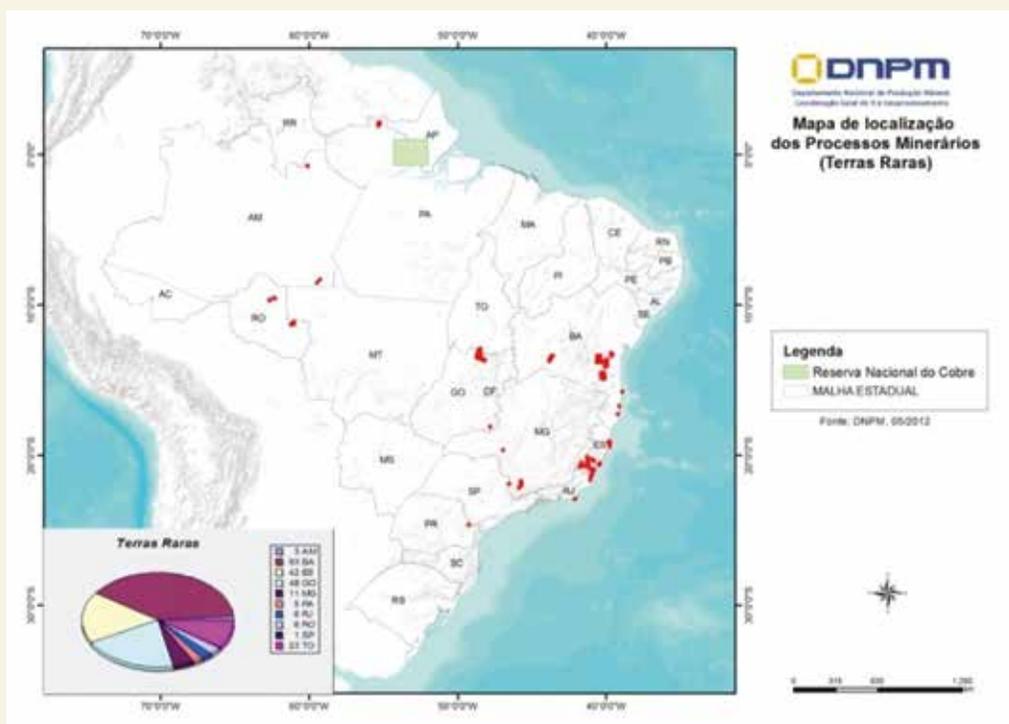
(-) dado nulo; (nd) não disponível ou desconsiderado; (r) revisado; (p) dado preliminar.

1 Nota: no final de 2012 ocorreu um acréscimo substancial das reservas brasileiras em óxidos de terras raras (OTR), principalmente devido às reservas aprovadas pelo DNPM na região de Araxá. Foram cerca de 22 milhões de toneladas que elevaram o Brasil ao segundo lugar mundial como detentor de reservas de OTR (a China detém o primeiro lugar, como pode ser visto na Tabela 5). Entretanto, a publicação destas reservas no Sumário Mineral 2013 do DNPM só ocorreu em novembro de 2013, oito meses após a realização do Seminário objeto do presente artigo, quando os dados parciais indicavam 11 milhões de toneladas de OTR.

2.3.1 Aplicações dos compostos de Terras-Raras

São inúmeras as aplicações das Terras-Raras, onde destacamos: na composição e polimento de vidros e lentes especiais; catalisadores de automóveis e refino de petróleo (catalisadores para o craqueamento de petróleo, catalisadores para a produção de estireno); fósforo para tubos catódicos de televisor em cores; ressonância magnética nuclear; cristais geradores de laser; supercondutores; ímãs permanentes para motores miniaturizados – ímãs que transformam energia elétrica em energia mecânica; absorvedores de hidrogênio; sabões metálicos, utilizados como secantes em tintas; componentes de vidros óticos especiais, pó para polimentos finos; produtos High Tech (celulares, iPods, fibras óticas, painéis solares, telas LCD); áreas militar e médica; veículos elétricos (VLT), trens TGV, veículos elétricos e híbridos; geração eólica, outras aplicações em computadores (componentes básicos), celulares, superímãs, telas de *tablets*, painéis solares; processos de produção de gasolina, capacitores eletrônicos miniaturizados, dispositivos semicondutores e do laser, aparelhos de CD e DVD, máquinas fotográficas digitais, etc. (anexo I).

Mapa 1 Localização das principais áreas com ocorrências, processos e potenciais.



Fonte: DNPM – 2013

Tabela 6 Terras-Raras e afins: quantitativos de processos em tramitação no DNPM por unidade da federação e fase em que os processos se encontram

UF	FASE	Quantidade 2013
AM	Autorização de Pesquisa	2
BA	Requerimento de Pesquisa	11
	Autorização de Pesquisa	20
	Disponibilidade	8
	Concessão de Lavra	1
ES	Requerimento de Pesquisa	5
	Autorização de Pesquisa	23
	Requerimento de Lavra	5
	Concessão de Lavra	3
	Disponibilidade	5
GO	Requerimento de Pesquisa	18
	Autorização de Pesquisa	48
	Requerimento de Lavra	1
MT	Requerimento de Pesquisa	3
MG	Requerimento de Pesquisa	8
	Concessão de Lavra	11
PA	Requerimento de Pesquisa	5
PB	Requerimento de Pesquisa	2
RJ	Requerimento de Pesquisa	1
	Autorização de Pesquisa	6
	Concessão de Lavra	1
RO	Requerimento de Pesquisa	6
	Autorização de Pesquisa	4
SP	Autorização de Pesquisa	1
TO	Requerimento de Pesquisa	13
	Autorização de Pesquisa	16

Fonte: DNPM-2013

2.3.2 Mercado de Terras-Raras

O Brasil ocupa a terceira posição em reservas, conforme o Sumário Mineral 2013 (preliminar), considerando as reservas constantes em dois Relatórios Finais de Pesquisa da CBMM e da CODEMIG em Araxá (MG), aprovados no final de 2012 pelo DNPM.

O mercado mundial movimenta algo em torno de 120 mil toneladas com amplo domínio da China, seguido pelos Estados Unidos da América, Austrália e Índia.

Imagens Ilustrativas



Fonte: CBMM & imagens Google

A empresa Molycorp dos EUA, que já produziu uma grande diversidade de compostos de Terras-Raras (Mina de Mountain Pass, na Califórnia), antes do *boom* da China, voltou a produzir 7 mil toneladas no ano passado. Outra grande empresa, a Lynas, da Austrália, vai produzir, já em 2013, grande quantidade de TR, em uma planta da Malásia, mas a partir de uma mina australiana (Mount Weld).

Dados no Sumário Mineral de Terras-Raras do DNPM – Economia Mineral/Sumário Mineral www.dnpm.gov.br.

No Brasil, a CBMM está iniciando, em Araxá, uma produção pequena, em escala de laboratórios, de hidróxido e sulfato duplo de terras raras, etapas anteriores à produção de OTR. A empresa Mbac, em Araxá, também está produzindo em muito pequena escala compostos de Terras-Raras e prospectando eventuais clientes. A empresa Serra Verde Mineração assinou carta de intenções com o governo de Goiás para investimentos em projetos de Terras-Raras nos próximos anos. Das três empresas, somente a CBMM teve aprovado, pelo DNPM, até agora, os Relatórios Finais de Pesquisa relativos às terras raras.

2.3.3 Recentes ações do DNPM

Desde 2011 o DNPM instituiu metas para a fiscalização de minerais estratégicos (Potássio, Fosfato, Terras-Raras e Lítio).

Para as Terras-Raras, existem antigas concessões de lavra (São Gonçalo do Sapucaí, com jazidas muito pequenas), INB em São Francisco do Itabapoana, RJ (jazida de monazita praticamente esgotada) e manifesto de mina (Poços de Caldas, atualmente em fase de reavaliação de reservas). Há também áreas recentemente aditadas para Terras-Raras (caso da CBMM em Araxá e da Vale em Tapira-MG).

Em 2012 a Coordenação de Fiscalização do Aproveitamento Mineral da Diretoria de Fiscalização intensificou as metas e organizou em etapas: identificação das áreas com concessão ou potencial; estabelecimento de metas de fiscalização para minerais estratégicos (PPA); planejamento básico; Execução e Relatório conclusivo por projeto/processo de direito minerário.

Das áreas levantadas, destacam: Amazonas – Complexo polimetálico de Pitinga e Morro dos Seis e exigências à Mineração Taboca, Presidente Figueiredo (AM). No Espírito Santo, a renúncia dos títulos da INB, areias monazíticas em áreas litorâneas e de grande aproveitamento turístico, como o caso de Guarapari; em Goiás, vistoria nas regiões de Minaçu; Catalão e Ouvidor (empresas: Cooperbrás, Ultrafertil, Anglo América e Goiás Vermiculita); em Minas Gerais, vistoria nas regiões de Araxá, Tapira e Poços de Caldas, além das ocorrências das concessões da Vale na região de São Gonçalo do Sapucaí (paralisadas por fatores ambientais). As empresas vistoriadas foram a VALE; CBMM; Mineração Terras-Raras e Mbac; no Rio de Janeiro, a antiga mina da INB, Buena Sul, no município de São Francisco de Itabapoana, onde foram vendidas 2.700 toneladas de concentrado de monazita rebeneficiada e há um estoque remanescente de 5.845,54 toneladas.

3. CONCLUSÃO

No momento os principais focos de prioridades das políticas públicas para minerais estratégicos estão direcionados para os fertilizantes potássio e fosfato, bem como as Terras-Raras e o lítio.

Dentre os principais gargalos, em especial para as Terras-Raras, não é a obtenção de mais reservas ou recursos, uma vez que o País se posiciona relativamente bem neste quesito, mas sim obter o pleno domínio de todas as etapas e rotas tecnológicas para a cadeia produtiva (anexo II), desde as pesquisas geológicas exploratórias até a confecção de compostos e óxidos de Terras-Raras e produtos acabados como ímãs e outros condutores. Como desafio, chegar à integração de todos esses segmentos fragmentados em vários atores/empresas e ramos de atuações, seja na mineração, na separação dos diversos tipos de depósitos associados e das próprias Terras-Raras, os cuidados com as complexas

questões ambientais, que ainda envolvem minerais radioativos como urânio e tório em geral associados às Terras-Raras e outros minerais estratégicos.

Devemos ter em mente o tamanho do mercado mundial e interno de Terras-Raras e buscar a agregação de valor, seja na produção de óxidos e metais, sempre atentos às nossas necessidades internas como prioridade e procurando manter a estabilidade no mercado mundial de forma competitiva.

A intensificação nos acompanhamentos dos projetos em curso e nos novos dará nova dinâmica ao segmento, uma vez que são crescentes as novas demandas para os minerais estratégicos no país, segundo dados da Diretoria de Gestão e Títulos Minerários do DNPM.

Espera-se também que com as políticas públicas e a reformulação do setor, com a transformação do DNPM em Agência Reguladora e o novo Marco Regulatório, tenhamos um melhor aparato para a gestão dos recursos minerais, em especial destas substâncias cada vez mais demandadas e com aplicações diversas aqui e no mundo.

4. BIBLIOGRAFIA

BEMBARON, Elsa. Les chinois veulent garder leur terres rares. *Le Figaro*, Paris, 04 sept. 2010.

DNPM – **Sumário Mineral**, Edições 2011 e 2012.

_____. **Economia Mineral do Brasil**, Edição 2009.

HEDRICK, James B. – Rare Earths in Selected U. S. Defense Applications. In: 40th Forum on the Geology of Industrial Minerals, May 2-7, Bloomington, Indiana: USGS, 2004. 12 p.

MME. **Plano Nacional de Mineração – PNM 2030**. Brasília: MME/SGM, 2011.

ROSENTAL, Simon. Terras-Raras. In: CETEM (Org.). *Rochas e Minerais Industriais*. Rio de Janeiro: 2005 p. 629-653.

REUNIÃO GTI-ME, Apresentações. **Perspectivas sobre Terras-Raras**, julho 2010.

SANTANA, L. G.; RICCOMINI, Ç.; VALARELLI, J. V. Ocorrência de fosfato de Terras-Raras na Formação Resende, paleógeno do rift continental do Sudeste do Brasil. *Revista do Instituto Geológico, IG São Paulo*, 20 (1/2), 37-47, jan./dez. 1999.

VIEIRA, Elbert V. Concentração de minérios de terras-raras: uma revisão – Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997. 53p. – (Série Tecnologia Mineral, 73)

Websites:

Ímãs com Terras-Raras – www.magnet4less.com

Journal of Rare Earths – <http://www.re-journal.com/en/>

U.S. Geological Survey. Mineral Commodity Summaries 2013, Potassium.

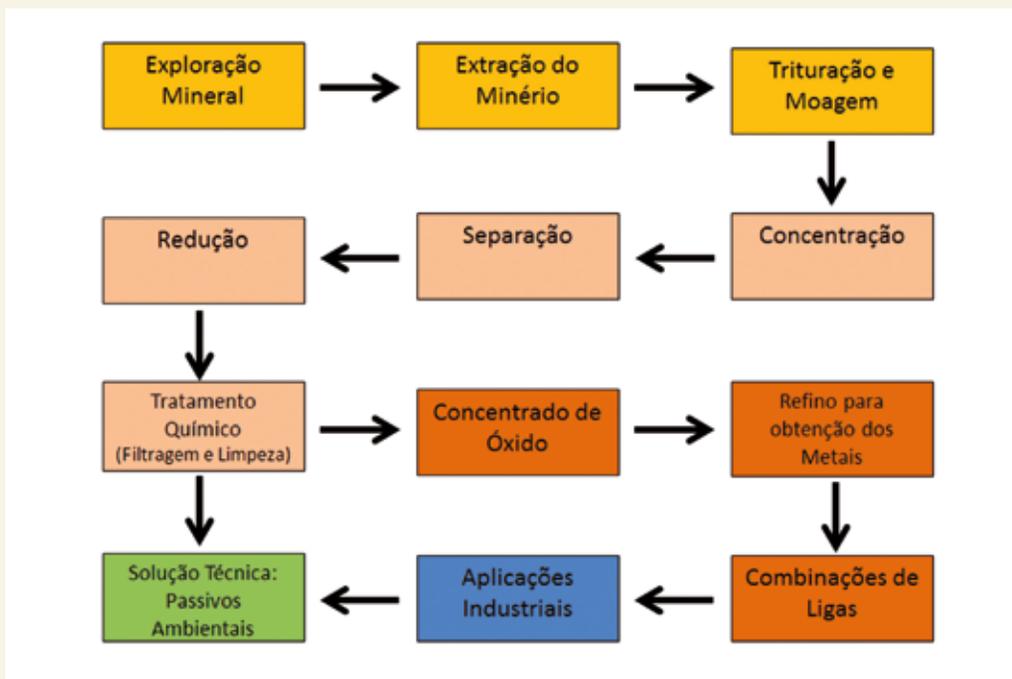
5. ANEXOS

Anexo I

	Catalisadores	Cerâmica	Indústria do vidro	Metalurgia, exceto baterias	Ímãs com neodímio	Ligas para baterias recarregáveis	Revestimentos eletroluminescentes	Outros	Total (%)
Cério	8.820	840	18.620	5.980	---	4.040	990	2.930	42.200 (33)
Disprósio	---	---	---	---	1.310	---	---	---	1.310 (1,02)
Európio	---	---	---	---	---	---	441	---	441 (0,34)
Gadolínio	---	---	---	---	525	---	162	75	762 (0,59)
Lantânio	18.180	1.190	8.050	2.990	---	6.050	765	1.430	38.700 (30)
Neodímio	228	840	360	1.900	18.200	1.210	---	1.130	23.900 (18,5)
Praseodímio	152	420	694	633	6.140	399	---	300	8.740 (6,8)
Samário	---	---	---	---	---	399	---	150	549 (0,43)
Térbio	---	---	---	---	53	---	414	---	467 (0,36)
Ítrio	---	3.710	240	---	---	---	6230	1.430	11.600 (9)
Outros	---	---	480	---	---	---	---	75	555 (0,43)
Total	27.400	7.000	28.400	11.500	26.300	12.100	9.000	7.500	129.000

Principais usos das Terras-Raras (em toneladas de OTR) – 2010.

Anexo II – Cadeia produtiva: Elementos Terras-Raras



UMA VISÃO COMENTADA SOBRE MINERAIS ESTRATÉGICOS E TERRAS-RARAS

Marcelo Ribeiro Tunes – mrtunes@ibram.org.br

Diretor de Assuntos Minerários do Instituto Brasileiro de Mineração – IBRAM

1. INTRODUÇÃO

No presente texto, a utilização do termo “minerais estratégicos” estará associada ao conceito de minerais escassos, essenciais ou críticos para o País, bem como para aqueles que apresentam vantagens comparativas para a economia pela geração de divisas de forma continuada desde o passado recente, passando pelo presente e ainda sendo relevantes no futuro de médio e longo prazo.

O entendimento de mineral estratégico no âmbito do Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM-2030) da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas Energia (SGM/MME) está associado a três condições de referência, a saber:

- a) bem mineral do qual o Brasil depende de importação em alto percentual para o suprimento de setores vitais de sua economia;
- b) minerais que deverão crescer em importância nas próximas décadas por sua aplicação em produtos de alta tecnologia, e
- c) determinados recursos minerais em que o País apresenta vantagens comparativas essenciais para sua economia pela geração de divisas.

Quanto ao primeiro tópico acima, além da insuficiente ou não ocorrência do bem mineral, as externalidades de mercado internacional, próprias do mundo globalizado atual, acarretam transtornos ao funcionamento normal da economia.

No tocante ao segundo item, os países desprovidos desses recursos minerais os importam na forma bruta para processamento de produtos de alta tecnologia ou importam os produtos beneficiados por outros países.

Para o terceiro tópico, o destaque vai para as vantagens comparativas dos recursos minerais que um país tem como essenciais para geração de divisas em sua economia.

O Brasil ocupa um lugar de destaque no setor mineral mundial (figura 1), fato este proporcionado pela sua vasta extensão territorial, plataforma continental e a zona eco-

nômica exclusiva. Tal situação é consequência dos diferentes territórios e formações geológicas que consolidam uma grande diversidade de minérios, que gera uma produção em torno de 72 substâncias minerais, das quais 23 são metálicas, 45 não metálicas e 04 energéticas. Diante deste quadro, importante se faz ressaltar que, ao se falar em minerais estratégicos, não se pode deixar de falar da necessidade urgente de estratégias políticas, econômicas, sociais e ambientais que visem solidificar novos rumos para as indústrias de mineração e transformação mineral do país.

2. UMA ANÁLISE DAS PERSPECTIVAS DOS MINERAIS ESTRATÉGICOS

Figura 1 Situação do Brasil no setor mineral mundial



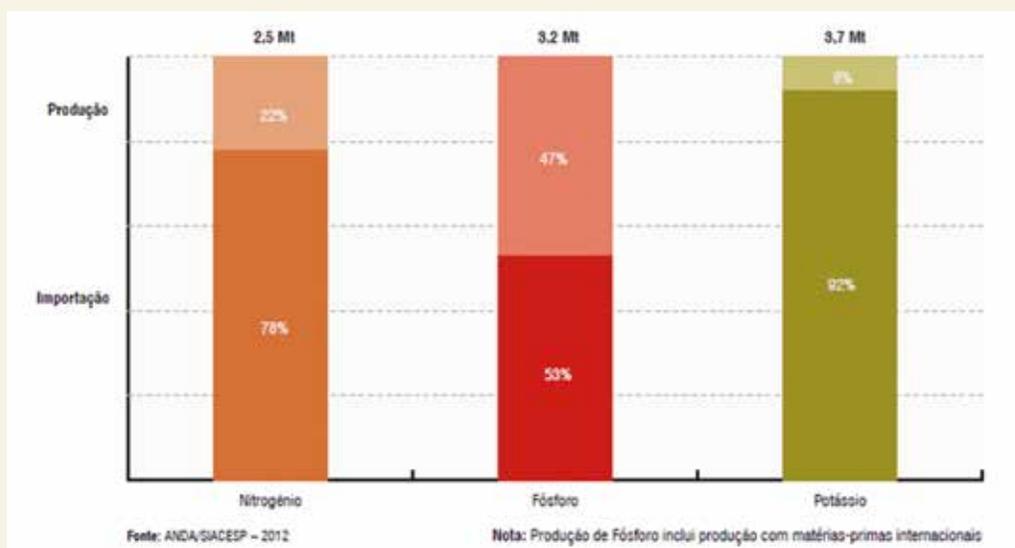
Fonte: IBRAM, 2013.

2.1 Fertilizantes

A importância geopolítica da alimentação requer que o mundo não passe por uma era de insegurança alimentar permanente e os recursos minerais utilizados na fabricação de fertilizantes possuem um papel determinante para evitar tal situação. O país não pode perder a oportunidade de aumentar a sua produção agropecuária para consolidar sua liderança mundial. E para tal, necessita considerar que os insumos minerais básicos à confecção de fertilizantes precisam de políticas estruturantes diferenciadas em vários aspectos. O solo brasileiro precisa de nutrientes em grandes quantidades para manter a produtividade do setor agrícola, principalmente.

A dependência externa do Brasil é da ordem de 90%, 70% e 50%, respectivamente, de potássio, nitrogênio e fósforo (figura 2), o que acarreta forte impacto na balança comercial. Para uma oferta adequada de fertilizantes nitrogenados, há também uma dependência setorial da disponibilidade de gás natural, que deverá ser atendida adequadamente nos próximos anos, segundo a expansão da capacidade produtiva anunciada recentemente pela Petrobras. Um esforço especial do Governo em conjunto com a iniciativa privada será a premissa para o desenvolvimento das produções de rochas fosfáticas e potássicas em território nacional. Os fertilizantes promovem o aumento da produtividade agrícola, protegendo e preservando milhares de hectares de florestas e matas nativas e assim o viés da sustentabilidade une a agroindústria e a cadeia produtiva da mineração.

Figura 2 Consumo brasileiro – 2011 (em milhões de toneladas de nutrientes)



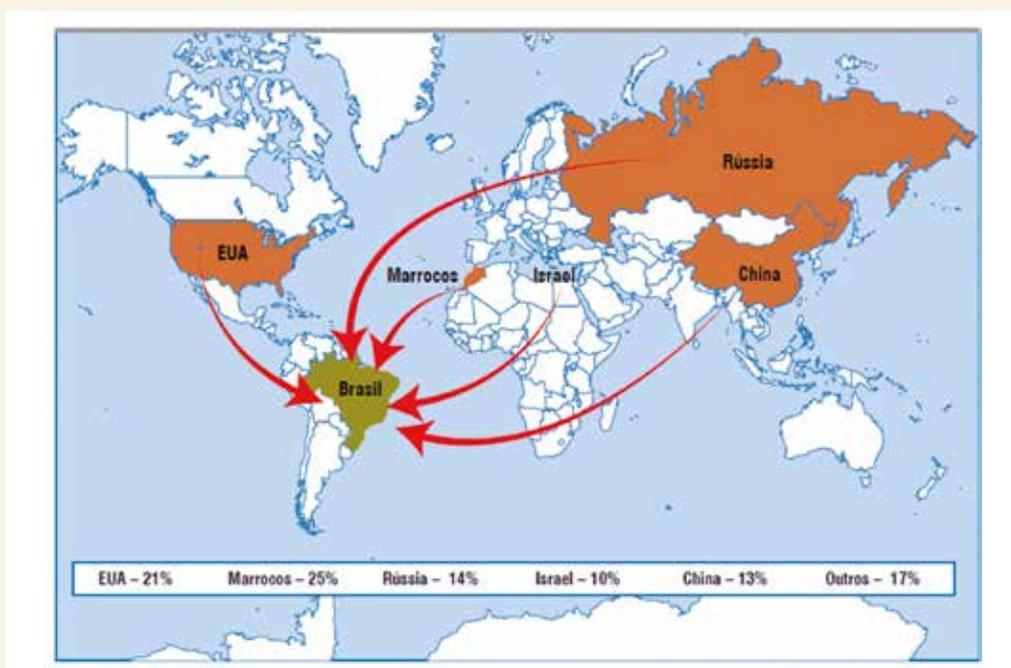
Fonte: ANDA/SIACESP, 2012.

Importante se faz ressaltar que os minérios fosfatados brasileiros são predominantemente de origem ígnea e metamórfica e possuem estruturação geológica complexa, que faz com os custos de extração sejam relativamente elevados em comparação com os produtos de origem sedimentar provenientes da África, Oriente Médio e Estados Unidos da América. Contudo, os minérios fosfatados, quando associados a complexos de carbonatitos, são fontes potenciais de subprodutos minerais estratégicos como ETR, F, U, Sr, Sc e Ga, o que faz dessa condição associativa uma janela de oportunidades de agregação transversal de valor econômico e possível minimização de custos operacionais.

Para o caso dos minérios potássicos, as características geológicas dos terrenos brasileiros impõem ao País uma fragilidade geoeconômica muito grande para a produção, em larga escala, de quantidades volumétricas condizentes com a crescente demanda promo-

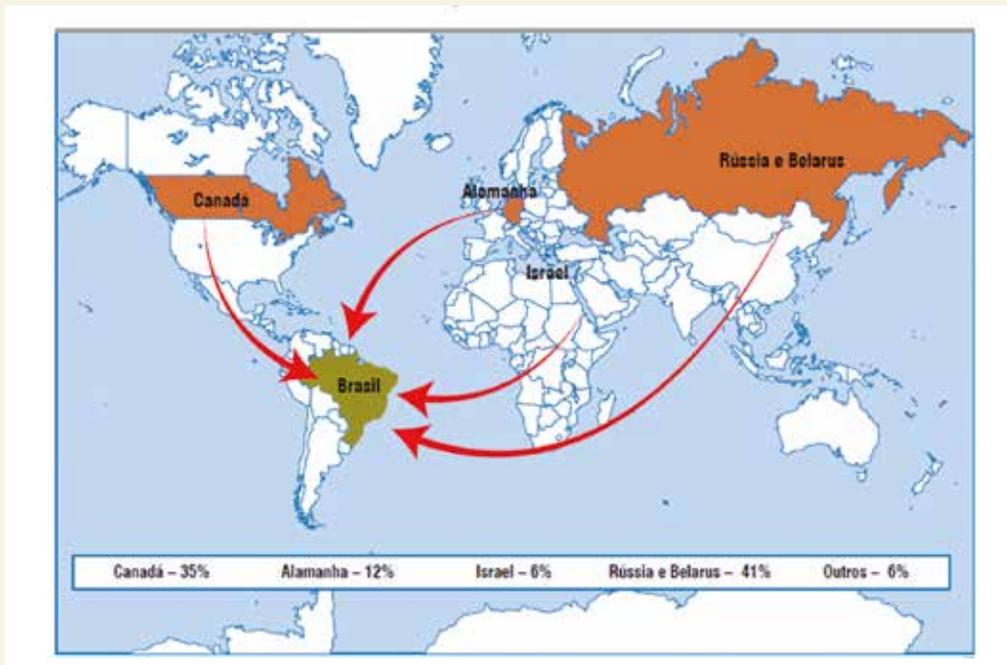
vida pelo agronegócio. Os crescentes volumes de importações provenientes de poucos países criam uma situação preocupante para o Brasil (figuras 3 e 4) e a busca por novos depósitos e fontes alternativas para sais de potássio e/ou termofosfatos potássicos se impõem como definidores do futuro em todos os seus prazos. Aliada a essa questão deve ser considerada a desoneração tributária da produção de fertilizantes, em especial, para os à base de potássio, pois, na atualidade, as importações de fertilizantes são isentas da tributação do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

Figura 3 Origem das importações brasileiras de fosfatados



Fonte: SECEX/MDIC/DNPM, 2012.

Figura 4 Origem das importações brasileiras de potássio



Fonte: Adaptado de IFA 2008 e Anda, 2012.

2.2 Carvão Metalúrgico

O carvão metalúrgico para fabricação de coque, de função térmica e redutora para a siderurgia integrada, é outro exemplo em que por sua vez o Brasil depende praticamente 100% de importação. O País importa carvão para uso siderúrgico, principalmente da Austrália, Estados Unidos, Rússia, Canadá, Colômbia, Venezuela, Indonésia e África do Sul, visto que o carvão nacional produzido não possui as propriedades adequadas para este uso com as tecnologias atualmente em operação.

O carvão mineral, coqueificável ou não-coqueificável, é um redutor/combustível primordial na produção de aço. Isso significa que, para produzir aço, o Brasil necessita de carvão mineral e continuará importando essa matéria-prima, com uma tendência de custo cada vez maior. O carvão nacional conhecido e já caracterizado, não apresenta propriedades químicas adequadas para que seja totalmente utilizado na maioria dos processos siderúrgicos. A exceção é a utilização no processo de redução direta, que já foi comprovada em nível industrial.

A crise mundial de 2008, com seus desdobramentos, o aumento dos estoques de aço e a queda do preço devido à importação pelo Brasil de aço chinês mais barato postergaram os investimentos previstos para implantação de novas usinas siderúrgicas e de novos altos-fornos. Apesar disso, a hegemonia dos grandes altos-fornos a coque na siderurgia bra-

sileira permanecerá nas próximas décadas. Isso demandará um consumo crescente de coque produzido com carvões importados de alta qualidade, cada vez mais escassos e caros.

Até 1991, as usinas eram obrigadas a consumir carvão metalúrgico coqueificável da camada geológica Barro Branco (SC), que era misturado aos carvões metalúrgicos importados. Apesar do seu alto custo, alto teor de cinzas (17-18%) e de enxofre (1,8%), o seu uso nas misturas era tecnicamente importante devido a sua alta fluidez. Com a não obrigatoriedade da aquisição pelas usinas nacionais, a partir de 1991, esse carvão não foi mais consumido e a fração metalúrgica para uso siderúrgico não foi mais produzida.

Devido à alta dos preços dos carvões para a siderurgia, as usinas siderúrgicas brasileiras já têm mostrado interesse em novamente utilizar esse carvão a um preço compatível com o importado.

Para oferecer um carvão metalúrgico ao mercado, é necessário prospectar novas áreas, abrir novas minas e implantar sistemas de beneficiamento mais eficientes para redução das cinzas e enxofre. Atualmente, a retomada das atividades da exploração do carvão encontra dois grandes obstáculos: a obtenção das licenças ambientais e a deficiência na logística de transporte para as usinas siderúrgicas.

Algumas alternativas são possíveis para o incremento da produção do carvão nacional para uso siderúrgico, como por exemplo, as misturas de biomassas, que podem ser aplicadas em diferentes etapas do processo siderúrgico, tais como: processo de coqueificação, injeção pelas ventaneiras dos altos-fornos, pelotização e briquetes autorredutores para processos alternativos de produção de ferro primário. Em todos esses processos deve-se estudar o tipo de biomassa mais adequado, a necessidade de pré-tratamento da biomassa e o tipo de tratamento físico e químico mais apropriado, considerando as particularidades de cada etapa do processo siderúrgico. A grande vantagem da mistura com a biomassa é a obtenção de teores de cinzas e enxofre adequados ao uso siderúrgico, visto que as biomassas apresentam teores muito baixos desses elementos.

Um dos principais gargalos técnicos para a produção de um carvão nacional com características aceitáveis para uso siderúrgico é a baixa eficiência do beneficiamento dos carvões. Deve-se salientar que a produção de carvão nacional beneficiado do tipo metalúrgico vai gerar uma fração de alto teor de cinzas que deve ser utilizado para a geração de energia elétrica. Assim, torna-se necessário que estudos de viabilidade econômica sejam feitos levando em consideração a escala de produção da mina, o uso da fração térmica gerada no beneficiamento, os investimentos necessários para revitalizar a infraestrutura de portos e ferrovias e, finalmente, os custos dos carvões produzidos em comparação com os carvões similares importados.

2.3 Terras-raras e outros

As Terras-raras, o Lítio, o Cobalto, o Tântalo, o Tálcio, o Vanádio, entre outros, são minerais que deverão crescer em importância nas próximas décadas por sua aplicação em produtos de alta tecnologia. A produção mundial desses minerais se dá em quantidades da ordem de dezenas de milhares de toneladas, com alto valor unitário. A estratégia para estes insumos não deve se limitar à descoberta e produção destes bens minerais no Brasil, mas sim, ao desenvolvimento de processos e produtos em cadeias produtivas de alto valor agregado. A coordenação entre governo e setor privado em programas específicos para nichos especializados de competitividade deve nortear o avanço das discussões.

Dentro desse contexto, ressalta-se que os importantes recursos aqui identificados de Elementos Terras-raras (ETRs) no País, com teores e reservas elevados, devem merecer uma atenção muito especial. No Brasil, a história remonta ao final do século 19, quando foram descobertos depósitos de areias ricas em terras-raras entre o norte do Rio de Janeiro e o sul da Bahia. Primeiro, saíam como lastro de navio (material pesado acomodado no porão das embarcações para dar-lhes estabilidade). Depois, passaram a ser vendidas para a Europa como matéria-prima das mantas incandescentes dos lampiões a gás. Eram as terras-raras que conferiam às mantas a valiosa capacidade de não se queimarem em contato com o fogo. Cabe salientar que o país já produziu terras-raras a partir de Monazita, que era processada quimicamente para a produção de óxidos de terras-raras. Em meados do século passado, quando as terras-raras ainda não tinham tantas aplicações, o Brasil era líder mundial no setor. Nos anos 50, as terras-raras extraídas daquelas mesmas jazidas foram exportadas para os EUA e empregadas no USS Nautilus, o primeiro submarino de propulsão nuclear da história e as mesmas controlavam a absorção de nêutrons do reator atômico do Nautilus.

Hoje, a extração de terras-raras no País é feita de forma industrial em São Francisco do Itabapoana, no Estado do Rio de Janeiro, com aproximadamente 300 toneladas. Experimentalmente, a Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), que retira nióbio (metal que eleva a qualidade do aço) de minas localizadas em Araxá (MG), passou a fazer a separação de quatro terras-raras (cério, lantânio, neodímio e praseodímio) que estão misturadas ao nióbio dessas minas. Dado o alto potencial geológico de Araxá, a multinacional MBAC Fertilizantes anunciou que construirá na cidade uma fábrica de processamento de terras-raras.

As mineradoras se dizem interessadas na exploração de terras-raras, mas cobram uma atuação mais decisiva do governo. Para o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o que há são projetos esparsos, sem comunicação entre si, de institutos de pesquisa e empresas. O IBRAM defende que o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), que é vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), assumia a tarefa de

coordenar as iniciativas e apontar-lhes um rumo. O CETEM atuaria como os grupos executivos criados por Juscelino Kubitschek para alavancar a economia do país na virada dos anos 50 para os 60. O mais famoso exemplo foi o grupo executivo da indústria automobilística, que articulou o setor e obteve resultados fantásticos.

As terras-raras são cada vez mais aplicadas nas indústrias de alta tecnologia, como é o caso da energia verde (turbinas eólicas e células fotovoltaicas), carros híbridos elétricos, ímãs permanentes de alto rendimento, supercondutores, luminóforos e na comunicação à distância. Elementos de terras-raras (ETRs) são uma mistura de vários elementos essenciais para o desenvolvimento de novas tecnologias, como smartphones, televisores de tela plana, motores para carros elétricos, entre outros. Por serem maleáveis e bons condutores, eles são considerados estratégicos para países como Japão, Coreia do Sul, China e Estados Unidos, os maiores fabricantes de tecnologias que consomem o produto. Atualmente a China é a maior produtora de terras-raras do mundo, respondendo por 97% da produção mundial de 17 metais provenientes de terras-raras.

Notadamente, deve-se destacar o aumento mundial das prospecções e pesquisas minerais de elementos de terras-raras, como o caso de uma equipe de geólogos japoneses da Universidade de Tóquio, que encontrou recentemente um depósito de terras-raras, na região de Minami-Torishima, que se estende do leito marinho até alguns metros de profundidade no Oceano Pacífico. Os minerais identificados até agora são ricos em ETRs, sobretudo em ítrio, com concentrações de até 6.600 ppm (partes por milhão) diluídas em uma espécie de lama. A consistência dessa lama deverá facilitar o bombeamento do minério para purificação em unidades flutuantes, similares às plataformas para a exploração de petróleo e gás natural *offshore*. Os pesquisadores estimam que sejam necessários mais dois anos de pesquisas geológicas aprofundadas, antes que a mineração possa começar. Essa nova descoberta de potencial jazida de terras-raras no litoral do país poderá significar a diminuição da dependência japonesa, que, atualmente, importa da China 80% das terras-raras que consome.

A descoberta das jazidas em águas internacionais deverá acelerar as negociações para o estabelecimento de critérios sobre a partilha dos *royalties* de exploração em todo o mundo e a imensidão geográfica da nossa Plataforma Continental e Zona Econômica Exclusiva no Oceano Atlântico deve ser entendida como mais uma das fronteiras para pesquisa de ETRs a ser conquistada.

2.3.1 Lítio

Os principais depósitos mundiais de lítio são as salmouras, com significativas ocorrências se localizando no denominado “Triângulo do Lítio”, região nas fronteiras da Argentina, do Chile e da Bolívia. Cerca de 60% da produção mundial de lítio é proveniente

dessa região, mais especificamente dos salares de Atacama no Chile, Hombre Muerto na Argentina e Uyuni na Bolívia. Como os outros metais alcalinos de seu grupo (sódio, potássio, rubídio e céσιο), o lítio é quimicamente muito ativo e nunca ocorre como um elemento puro na natureza. As diferentes possibilidades de ocorrência permitem a este elemento químico uma grande diversidade de aplicações, podendo ser usado diretamente na forma de concentrado mineral, metal ou de diversos produtos químicos como carbonato ou hidróxido.

A produção mundial de lítio destina-se a diversos usos industriais, com destaque para a indústria da cerâmica e do vidro e um consumo crescente no setor de baterias. Tal crescimento é induzido pela também crescente evolução dos veículos elétricos no mercado mundial, o que torna, em médio e longo prazo, o fornecimento deste mineral-minério um ponto estratégico para uma economia automobilística sustentável.

Um destaque deve ser feito para as ocorrências dos pegmatitos litiníferos, comuns no Brasil e na Austrália, principalmente. Tais mineralizações encontram-se, comumente, associadas a filões de gemas coradas, de quartzo e depósitos de feldspatos. A Província Pegmatítica Oriental Brasileira, localizada entre os estados da Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo, devido ao grau de conhecimento geológico de suas características, é apontada como uma reserva promissora de lítio a ser explorada. Devendo-se salientar que, em geral, a produção de quartzo resultante do desmonte de pegmatitos graníticos apresenta matéria-prima de valiosa qualidade eletrônica e os feldspatos também associados são muito recomendados para cerâmicas especiais.

2.3.2 Cobalto, Tântalo, Tálío e Vanádio

O cobalto é um metal utilizado para a produção de superligas em turbinas de gás de aviões, ligas resistentes à corrosão, aços rápidos, carbetos, ferramentas de diamante e o radioisótopo é usado como fonte de radiação gama em radioterapia e esterilização de alimentos. O metal não é encontrado em estado nativo, mas em diversos minerais, razão pela qual é extraído normalmente junto com outros produtos, especialmente como subproduto do níquel e do cobre.

O tântalo é um metal resistente à corrosão por ácidos e um bom condutor de calor e eletricidade. O maior produtor de tântalo é a Austrália e outros grandes produtores são o Brasil, o Canadá (como subproduto da mineração de nióbio), a Tailândia e a Malásia (como subproduto da mineração de cassiterita), a China, a Etiópia e Moçambique. O tântalo quase sempre é encontrado em minerais associados ao nióbio e isto faz com que diversas etapas complicadas de beneficiamento estejam envolvidas na separação destes dois elementos. O principal uso do tântalo é como material dielétrico para a produção de componentes eletrônicos, principalmente capacitores. Por causa disto os principais

usos para os capacitores de tântalo incluem telefones, pagers, computadores pessoais e eletrônicos automotivos. Também é usado para produzir uma série de ligas que possuem altos pontos de fusão, alta resistência e boa ductilidade. O tântalo em superligas é usado para produzir componentes de motores de jatos, equipamentos para processos químicos, peças de mísseis, reatores nucleares e os seus filamentos são usados para a evaporação de outros metais como o alumínio.

O tálio é um metal muito raro, e só existem três jazidas deste mineral no mundo, incluindo o Brasil, no município baiano de Barreiras, na China e no Cazaquistão. Pesquisas com o tálio estão sendo realizadas para desenvolver materiais supercondutores em elevadas temperaturas para aplicações como imagem de ressonância magnética, armazenamento da energia magnética, propulsão magnética, geração de energia elétrica e transmissão.

A maior parte das reservas mundiais de vanádio encontra-se na Rússia, China e África do Sul. No Brasil, foi descoberta uma jazida do minério no município baiano de Maracás e cuja mina começará a funcionar em fins de 2013, projetando a autossuficiência brasileira. Esta mineração vai colocar o País no mapa mundial da produção de vanádio, e o empreendimento prevê para breve a verticalização para a produção de ferro-liga do minério. O mesmo é utilizado em ligas metálicas de alta resistência, sendo também insumo essencial na construção civil, nas indústrias aeroespacial e aeronáutica, gás e óleo, superestruturas de pontes, túneis, ferrovias e em instrumentos cirúrgicos, entre outros, propiciando resistência e leveza.

2.4 Ferro

O minério de ferro pode ser considerado como essencial para o País, por sua importância nas exportações e também pelo potencial que apresenta para catalisar o desenvolvimento local/regional e da indústria do país a partir da transformação mineral.

As reservas medidas e indicadas de minério de ferro no Brasil alcançam 29 bilhões de toneladas, situando o País em terceiro lugar em relação às reservas mundiais, de 180 bilhões de toneladas. Entretanto, considerando-se as reservas em termos de ferro contido no minério, o Brasil assume lugar de destaque no cenário internacional. Esse fato ocorre devido ao alto teor encontrado nos minérios hematita (60% de ferro) e itabirito (50% de ferro).

O mercado mundial tende a manter dependência das exportações de minério de ferro australianas e brasileiras pelo menos até final de 2015. Estes dois países possuem um *market share* de 70-72%. Além disso, há uma contribuição acentuada de novos projetos no médio prazo, o que irá influenciar a curva de oferta e de demanda do minério entregue principalmente à China. No médio prazo, os desafios mais proeminentes são

os logísticos, uma vez que somente a qualidade do minério não será suficiente para o enfrentamento das concorrências internacionais.

2.5 Nióbio

Outro exemplo importante em que o Brasil apresenta vantagens comparativas é o nióbio, cujas reservas e produção representam mais de 90% das mundiais. Além do aspecto da potencialidade das reservas brasileiras, destaca-se o desenvolvimento tecnológico e de mercado promovido pela CBMM para o uso desse metal. O Brasil é o maior produtor mundial de nióbio, com aproximadamente 58 mil toneladas de ferro-nióbio (FeNb) em 2011, ou 92,06% do total mundial. A produção nacional vem crescendo devido ao aquecimento no mercado de ferroligas, provocado pela elevada expansão do PIB dos países asiáticos e pelo aumento da produção mundial de aço bruto.

O Brasil detém as maiores reservas mundiais de nióbio, seguido pelo Canadá e Austrália. As reservas medidas contabilizadas totalizaram 842.400.000 toneladas, com teor médio de 0,73% de Nb₂O₅ e estão concentradas nos estados de Minas Gerais (75,08%), em Araxá e Tapira; Amazonas (21,34%), em São Gabriel da Cachoeira e Presidente Figueiredo e em Goiás (3,58%), em Catalão e Ovidor.

O Brasil utiliza 100 gramas de nióbio para cada tonelada de aço e a grande oportunidade para ampliar negócios é com a China, que, apesar de ser a maior compradora de nióbio do mundo, ainda possui baixo índice de uso desse minério na fabricação de aço, de 25 gramas por tonelada. A demanda pelo Nióbio é maior em países mais desenvolvidos tecnologicamente, onde são usadas de 80 a 100 gramas desse minério para cada tonelada de aço. O aumento mais significativo de nióbio ainda está por vir, especialmente, devido à preocupação com a sustentabilidade. O ferro-nióbio pode, por exemplo, ajudar a produzir carros mais leves, que consomem menos combustíveis ou em obras grandes de infraestrutura, é possível, usar um aço mais resistente e construir a mesma estrutura 60% mais leve.

2.6 Considerações Finais

O crescimento da demanda por matérias-primas mais eficientes está colocando os chamados “minerais raros” ou “estratégicos” em evidência. O conceito de temporalidade aliado à política econômica é marcante no diagnóstico de uma estratégia setorial para produtos e serviços a serem desenvolvidos como alvos de desenvolvimento a ser alcançado. Para a área de mineração, a temporalidade tem que aliar uma visão muito particular sobre a exploração de recursos naturais não renováveis ao longo do tempo, pois a maturação de projetos mineiros demanda muitos anos e fases encadeadas de prospecção, pesquisa, lavra com ou sem beneficiamento e fechamento de minas.

Assim, os minerais ditos estratégicos numa época podem não ser em outra, ou ainda, os minerais que possuem extração e uso convencionais num certo contexto podem ser estratégicos em outro contexto. De forma que na atualidade, o termo mineral estratégico tem sido utilizado como sinônimo de recurso mineral escasso, essencial ou crítico para um país, podendo ou não estar associado a objetivos políticos ou mesmo com a formação de estoques ditos estratégicos, que regulam os mercados da economia mundial globalizada.

2.7 Referências Bibliográficas

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS. *Roadmap* tecnológico para produção, uso limpo e eficiente do carvão mineral nacional: 2012 a 2035. Brasília, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira. 7ª Edição. Brasília, 2012.

LOUREIRO, F.E.V.L.; MELAMED, R.; NETO, J.F. Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. CETEM/MCTI, Rio de Janeiro, 2009.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Plano Nacional de Mineração 2030. Brasília, 2010.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE TERRAS-RARAS NO BRASIL

Lucy Takehara

*Doutora em Geociências, pesquisadora em geociências
no Serviço Geológico do Brasil/CPRM.*

Francisco Valdir Silveira

*Doutor em Geociências, pesquisador em geociências
no Serviço Geológico do Brasil/CPRM.*

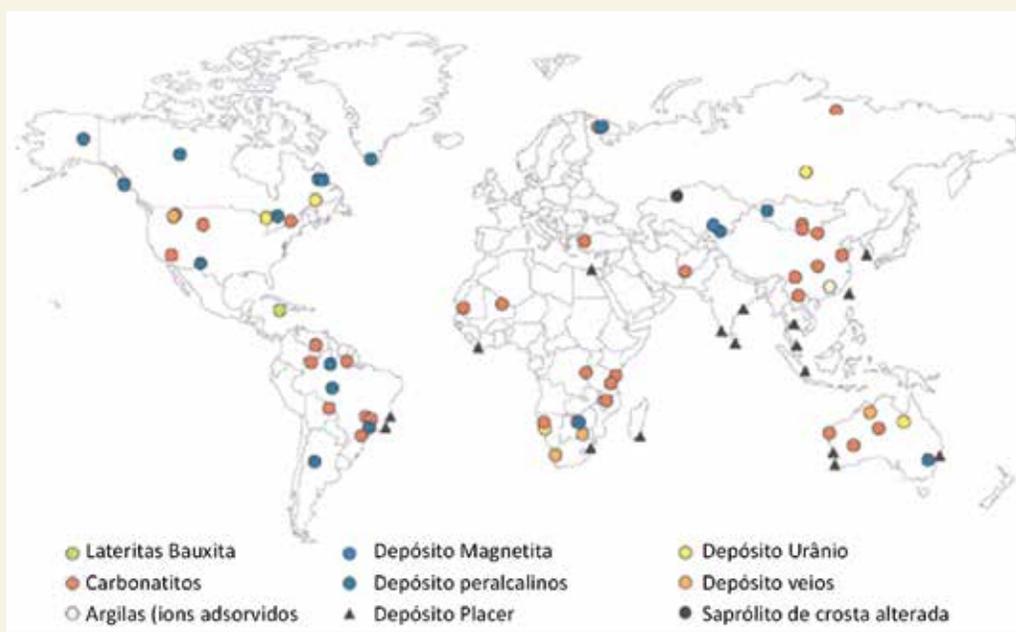
Os Elementos Terras-Raras, divididos em leves (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm e Eu) e pesados (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), ocorrem associados a diversos tipos de depósitos minerais no mundo como mineralização primária, secundária ou como subproduto de outros depósitos (Figura 1). O Brasil atualmente detém menos de 1% do total das reservas mundiais de ETR (Elementos Terras-Raras), cujas reservas (medidas mais indicadas), que estão somente localizadas em Minas Gerais e Rio de Janeiro, somam 40 mil toneladas (DNPM, 2012, p.01). No entanto, já são conhecidos diferentes tipos de jazimentos e ocorrências em várias partes do território nacional, que demandam estudos exploratórios para serem avaliados e viabilizados como depósito mineral (Figura 2). Pelo tipo de associação de rochas e informações do Banco de Dados Geoquímico da CPRM sobre o subsolo brasileiro, pode-se, sem sombra de dúvidas, afirmar que o Brasil deve, caso faça os estudos exploratórios corretos, tornar-se um dos países com as maiores reservas destes elementos, considerados estratégicos para nossa sociedade moderna.

Em muitos dos jazimentos conhecidos já foram desenvolvidos estudos sobre os processos de concentração e em alguns sobre os processos de extração de ETR. A exemplo de: (i) os depósitos de monazita de Buena (RJ), onde no INB (Instituto Nuclear do Brasil) já foram extraídos óxidos e carbonatos de ETR (CUNHA, 2011; TAVARES, 2011); (ii) estudo de concentração e extração de ETR da monazita de carbonatitos de Catalão (GO) feito pelo CDTN (Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear) com extração de európio, disprósio, térbio, etc. (MORAIS, 2011); (iii) estudos de concentração da xenotima de Pitinga (AM) (ABRAÃO, 1994) e extração de óxidos de terras-raras (SERRA, 2011).

A demanda mundial por ETR e o crescimento econômico e tecnológico do Brasil são situações pontuais que farão com que a produção de ETR no País ocorra de forma mais rápida do que o previsto. Dentro deste universo, as políticas públicas do Brasil para a mineração e tecnologia deverão fomentar a Cadeia Produtiva de ETR e a Exploração-Lavra-Produção-Transformação, visto que são necessários pequenos ajustes

da cadeia produtiva de ETR já existente. Esta cadeia foi em grande parte desenvolvida durante as décadas de 70 e 80, mas foi paralisada na década de 90 devido aos baixos preços dos óxidos de ETR praticados na época, além da falta de visão de futuro do Estado e da própria iniciativa privada. Conforme exposto, a integração de esforços dos diferentes setores envolvidos nesta cadeia produtiva fará com que a produção de ETR brasileira cubra a demanda interna rapidamente, e, em curto prazo, poderá tornar o país um exportador desta matéria-prima e seus produtos derivados (ou transformados). O elo entre o desenvolvimento pleno da Cadeia Produtiva de ETR e os investimentos aplicados em inovação tecnológica, na medida em que estes elementos são estratégicos para o desenvolvimento tecnológico presente e futuro, incentivará aumento substancial na escala de produção e ganhos financeiros nos setores de alta tecnologia do Brasil.

Figura 1 Principais ocorrências de depósitos de Elementos Terras-Raras no mundo



Fonte: LENZ & MARIANO, 2010.

HISTÓRICO

A demanda por minerais estratégicos fez com que o Ministério de Minas e Energia – MME e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, em esforço conjunto, instituíssem um Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos – GTI-ME, Portaria Interministerial nº 614, de 30 de Junho de 2010. O GTI-ME tem como finalidade a elaboração de propostas de integração, coordenação e aprimoramen-

to das políticas, diretrizes e ações voltadas para minerais estratégicos. Os minerais considerados estratégicos são os minérios e minerais contendo elementos terras-raras (ETR), lítio e agrominerais (minerais aplicados na agricultura).

Em 29 de julho de 2010 foi realizada uma reunião GTI-ME MME/MCT prospectiva sobre minerais terras-raras que teve como objetivos: (i) levantar as competências técnico-científicas e empresarial existentes no País na área de ETR; (ii) apresentar as áreas temáticas sobre o tema e suas linhas de pesquisa prioritárias e as respectivas ações, metas e fontes de financiamento estimadas para seu alcance.

Além dos ministérios das Minas e Energia e da Ciência e Tecnologia, o Centro de Estudos e Debates Estratégicos da Câmara dos Deputados também tem discutido sobre os minerais estratégicos e ETR. Em 09 de novembro de 2011, o engenheiro Leonam dos Santos Guimarães fez uma palestra versando sobre o assunto, e uma de suas conclusões foi:

“O Brasil começa a despertar para o assunto, até porque domina as tecnologias para mineração e processamento. Mais do que isso, dispõe de apreciáveis reservas e, no passado (década de 90), demonstrou competência tanto na pesquisa quanto em experimentos de caráter laboratorial, a ponto de haver criado uma empresa para produzir superímãs, lamentavelmente logo fechada em face de dumping chinês.”

A CPRM, empresa autárquica do Ministério de Minas e Energia, já vem executando desde 2010, como demanda do PAC II, na Ação de Recursos Minerais, Empreendimento de Minerais Estratégicos, trabalhos de pesquisa e avaliação em todo território nacional. O projeto de Avaliação do Potencial de Terras-Raras no Brasil está inserido dentro deste empreendimento. E vem ao encontro da recomendação do Plano Nacional de Mineração 2030 da SGM/MME e do relatório do Grupo de Trabalho Interministerial MME/MCT para Minerais Estratégicos [GTI-ME] – Portaria Interministerial N° 614, de 30 de junho de 2010, que diz: “Implementação e/ou fortalecimento de programa de levantamento geológico detalhado, conjugado com o apoio à exploração mineral pelo setor privado”. O projeto prevê pesquisas para a identificação de novas áreas potenciais para ocorrência de ETR, com o objetivo de ampliar as reservas e a capacidade produtiva desses minerais no Brasil.

INTRODUÇÃO

Os ETR são considerados estratégicos e fazem parte do programa do Governo Federal, com investimentos efetivos e de longo prazo. O governo brasileiro vem reunindo os diferentes órgãos estatais e também a iniciativa privada para realizarem, em conjunto, estudos de desenvolvimento desta cadeia produtiva. Assim, o Brasil deverá buscar fontes seguras de suprimento dessas *commodities* antecipando futuras demandas da indústria

brasileira. A reativação e o aprimoramento da cadeia produtiva de ETR poderão conduzir a novos desenvolvimentos tecnológicos e impulsionar a economia brasileira. O alinhamento dos órgãos públicos de pesquisas e as universidades, em torno da cadeia produtiva dos ETR, são necessários para o desenvolvimento de novas tecnologias de concentração e extração dos óxidos de TR.

A maioria dos depósitos de ETR conhecidos do subsolo brasileiro já foi caracterizada do ponto de vista de ocorrência mineral e já teve métodos de concentração do minério desenvolvidos (VIEIRA & LINS, 1997). Algumas empresas também já desenvolveram pesquisas de extração de ETR em monazita aluvionar e carbonatítica, bastnaesita e xenotima, como por exemplo:

- Extração de ETR de monazita realizada pelo Instituto Nuclear do Brasil (INB) e Instituto de Energia Nuclear (IEN) do depósito de Buena, com produção de carbonatos de lantânio, samário e neodímio com 99% de pureza; óxido de samário com pureza acima de 99,9 %, entre outros produtos (CUNHA, 2011; TAVARES, 2011);
- Extração de ETR de monazita de carbonatitos de Catalão (GO) feito pelo CDTN (Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear) com extração de európio, disprósio, térbio, etc. (MORAIS, 2011); e
- Extração de ETR das xenotimas de Pitinga, com geração de patente do processo (SERRA, 2011).

O projeto “Avaliação do Potencial dos Minerais Estratégicos do Brasil” em realização pela CPRM vem ao encontro da necessidade de se produzir um diagnóstico do potencial brasileiro para esses minerais estratégicos, entre os quais os ETR. Estes minerais são considerados da “terceira onda” e vêm dar suporte à formulação e execução de políticas públicas para seu aproveitamento no desenvolvimento da indústria brasileira.

A importância dos ETR na indústria moderna deve-se às suas inúmeras aplicações na metalurgia, energia eólica e nuclear, indústria petrolífera, agricultura, entre outras. Estas aplicações são de alta tecnologia que agregam valor aos produtos já fornecidos ao mercado interno e externo, como por exemplo: (1) liga de Nd, Bo e Fe para produzir os superímãs de ampla aplicação em carros elétricos, energia e trens de alta velocidade; (2) Európio (Eu) nas telas de computadores e televisão; dentre outros. Muitas indústrias nacionais já utilizam esta tecnologia em seus produtos, tais como a WEG, EMBRACO, e já demandam por compostos de ETR nos seus produtos, que hoje são importados.

Atualmente o Brasil importa 1% (US\$ 7 milhões) do mercado mundial de compostos de ETR, cujos maiores dependentes desta matéria-prima são França, Japão e Áustria.

E os principais produtores e/ou detentores de tecnologia com uso de ETR são EUA, China, Índia, França, Japão e Áustria.

Os principais minerais, como fontes econômicas de ETR, são bastnaesita, monazita, xenotima e apatita; as argilas com íons de ETR adsorvidos também são fontes importantes de ETRP (ETR pesados). As rochas ígneas alcalinas e carbonatitos são as que apresentam as concentrações econômicas mais significativas desses minerais portadores de ETR. Sistemas hidrotermais podem apresentar estes minerais, que comumente se localizam em veios de quartzo, filões de fluorita e/ou brechas de preenchimento. Eles também podem ocorrer em *skarns*, pegmatitos e concentrados em *placer*, lateritos e jazidas de argilas (Figura 1). As concentrações econômicas dos minerais de ETR ocorrem em diferentes configurações geológicas, que podem ser uma combinação desses tipos de rochas associadas a vários eventos mineralizantes.

As maiores reservas mundiais de elementos terras-raras encontram-se na China, seguida pela comunidade de estados independentes (CEI), Estados Unidos, Austrália e Índia. Na China e nos Estados Unidos as terras-raras estão contidas em bastnaesita e representam as maiores reservas mundiais, enquanto que no Brasil, Malásia, Sri Lanka, Índia, África do Sul e Tailândia as areias monazíticas constituem-se em fontes secundárias importantes.

Figura 2 Áreas de ocorrências de terras-raras no território nacional.



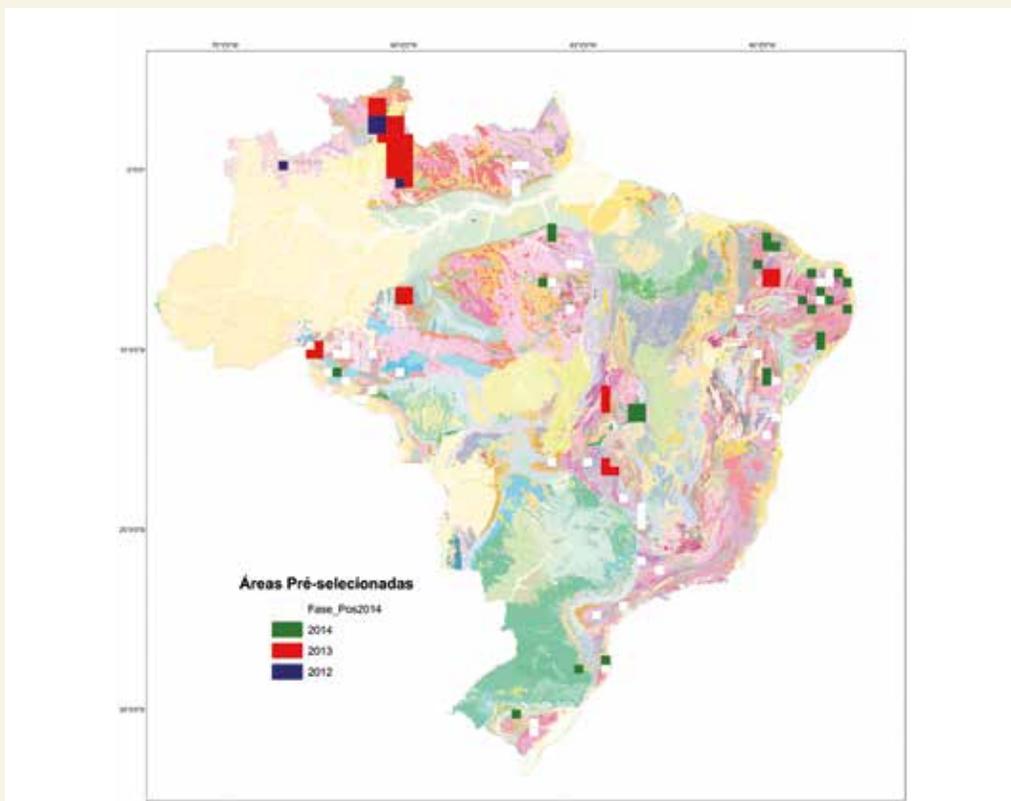
Fonte: modificado de LAPIDO LOUREIRO, 1994, p. 185.

Em 1886, o Brasil começou a exportar elementos terras-raras, com exploração das areias monazíticas das praias de Cumuruxatiba-Bahia, para atender a demanda de mantas incandescentes de lâmpões a gás. A partir de 1915 dividiu com a Índia a liderança da produção até a década de 50. A produção brasileira de concentrados de terras-raras foi encerrada em 1995 (chegou a produzir 110 toneladas desse produto), e atualmente não há usina de produção em operação no território nacional. No Brasil as reservas medidas e indicadas de monazita somam 43.305 t e 570 t respectivamente (DNPM, 2012, p. 01).

O PROJETO TERRAS-RARAS NO SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL/CPRM

O projeto abrange todo o território nacional com várias áreas de interesse conforme pode ser observado na Figura 3, encontra-se dividido em três etapas de desenvolvimento principais, onde as áreas de estudo estão em diferentes fases de execução (Figura 4).

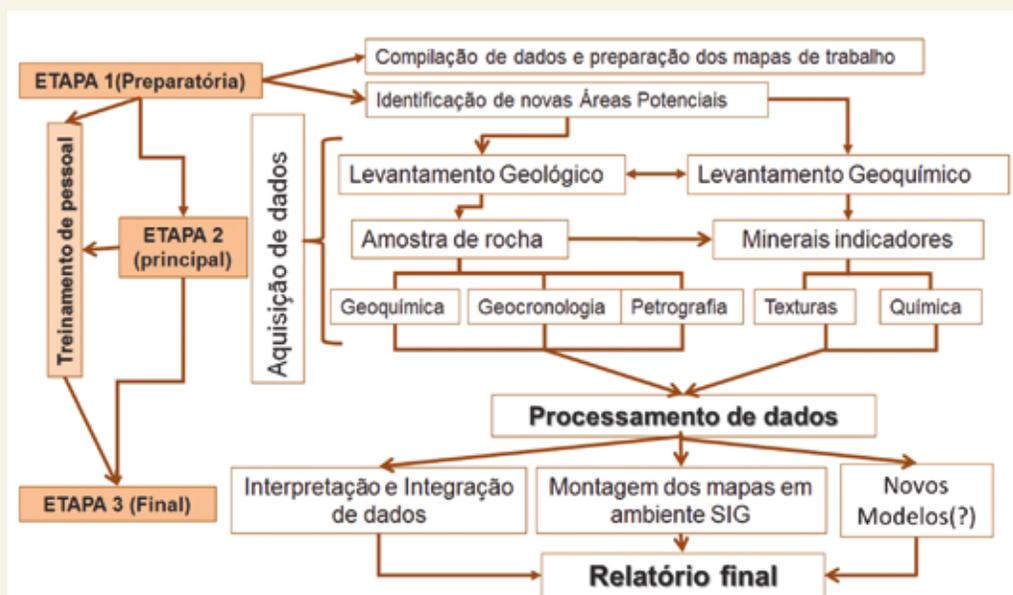
Figura 3 Mapa geológico do Brasil, com a localização das áreas de interesse e as fases de execução do Projeto Avaliação do Potencial de Terras-Raras no Brasil. (ti – terras indígenas).



Fonte: CPRM.

A etapa preparatória refere-se aos trabalhos iniciais que abrange compilação e análise do acervo disponível, incluindo o levantamento, refinamento de dados pretéritos, formação de equipe e planejamento das fases de campo. Os alvos da fase inicial são os que tiveram anomalias identificadas na base de dados geoquímicos (GEOBANK) das folhas 1:100.000 que irão ser pré-selecionadas para serem trabalhadas em 2014. Salienta-se que os alvos identificados poderão ou não ser trabalhados, como também poderão ser escolhidos alvos de outras folhas após o refinamento e discussão dos dados existentes.

Figura 4 Fluxograma das etapas dos levantamentos dos recursos minerais da CPRM.



Fonte: CPRM.

A etapa principal visa à aquisição, processamento, interpretação, integração, síntese e avaliação final dos dados, incluindo montagem dos mapas temáticos em ambiente SIG, a base de dados e os relatórios parciais e final (Figura 4). A prospecção das jazidas de minerais baseia-se principalmente em métodos de levantamento geológico, prospecção geoquímica e geofísica das áreas alvos para determinação e delimitação de locais anômalos em elementos terras-raras. A prospecção geoquímica obedece alguns critérios de amostragem, de forma a padronizar a obtenção de amostras representativas das áreas potenciais para conter mineralizações, onde a escolha do método de amostragem depende do tipo de material que se quer amostrar. O levantamento geológico é feito com reconhecimento geológico da região acompanhado de descrição e coleta de rochas presentes na área estudada. Também é realizada a coleta de amostras de sedimento de corrente e concentrado de peneira/bateia para obtenção de minerais pesados de forma sistemática sobre área mapeada. Após análise dos resultados analíticos é feita a identificação de regiões anômalas, passando-se ao adensamento da amostragem com prospecção geoquímica seguindo uma malha de amostragem, onde são realizados *follow up* que permitem identificar os possíveis alvos responsáveis pela anomalia. O reconhecimento destes alvos anômalos é seguido por uma fase de prospecção geoquímica de detalhe, com realização de perfis e malhas de coleta de amostras de solo.

Nesta fase de trabalho estão os alvos que foram selecionados para serem estudados em 2012, e correspondem aos projetos históricos da CPRM: Seis Lagos (AM) e Repartimento

(RR) (Figura 3). Os testemunhos de sondagens do Projeto Seis Lagos foram descritos novamente e novos intervalos de amostragens foram feitos. Enquanto que alíquotas existentes das amostras do projeto Repartimento (RR) e as amostras superficiais do Projeto Seis Lagos e dos testemunhos de sondagens do Projeto Uaupés (AM) foram selecionados e enviados para novas análises. Nesta fase, também serão executados os estudos orientativos para exploração mineral de terras-raras nos diferentes tipos de mineralizações.

A etapa final consiste na interpretação e integração dos resultados, que serão apresentados na forma de relatório parcial do projeto, que servirá de subsídio para o relatório final do projeto a ser apresentado no início de 2015, quando finaliza a primeira parte do projeto. Ao final de 2013, será apresentado o relatório referente aos estudos realizados para as mineralizações das áreas Seis Lagos (AM) e Serra do Repartimento (RR). O relatório final do projeto apresentará o detalhamento geológico das diferentes áreas e ocorrências conhecidas, bem como os resultados dos estudos orientativos nos diferentes tipos de mineralizações de terras-raras estudados.

O projeto está sendo executado de quatro formas principais: (1) Reanálise das amostras de projetos históricos da CPRM; (2) Levantamento geológico e geoquímico prospectivo regional com amostragem sistemática em folhas de 1:100.000; (3) Prospecção geoquímica de detalhe em alvos anômalos de interesse; e (4) estudo orientativo de depósitos conhecidos para aprimorar o modelo de pesquisa em terras-raras.

As reanálises das amostras do acervo da CPRM, coletadas durante os projetos de pesquisa própria, também foram avaliadas para outros bens minerais, assim as amostras serão reanalisadas com métodos modernos, com integração e interpretação dos dados voltados também para terras-raras.

O levantamento geológico e geoquímico prospectivo será realizado em ambientes geológicos de interesse do empreendimento minerais estratégicos. O objetivo desses levantamentos é a identificação e a delimitação de áreas potenciais para exploração de minerais estratégicos. Assim, os resultados obtidos também serão trabalhados com enfoque em mineralizações de ETRs.

A prospecção geoquímica de detalhe será realizada a partir dos resultados geoquímicos disponíveis no GEOBANK, dos quais áreas serão selecionadas e os dados analíticos tratados de forma a fazer uma delimitação aproximada do objeto geológico de interesse.

Para ambos os tipos de amostragem geoquímica, sobre alvos considerados anômalos, serão aplicados processamentos e interpretações geofísicas com enfoque em ETRs. Todas as áreas envolvidas pelo projeto terão os levantamentos aerogeofísicos processados e interpretados para tal finalidade, onde será delimitado melhor o objeto geológico a ser estudado. Após esta delimitação prévia do objeto anômalo, será realizada a etapa de

campo para realização de perfis de amostragem de solo, e também coleta de amostras de sedimento de corrente e concentrado de minerais pesados.

O estudo orientativo está sendo realizado em áreas com depósitos de mineralizações primárias conhecidas, que ocorrem em latitudes e em ambientes geomorfológicos diferentes. Este estudo permitirá definir procedimentos de amostragem e métodos analíticos apropriados para pesquisa em terras-raras.

AQUISIÇÃO DE DADOS

A análise geomorfológica e geológica da região a ser estudada é fundamental para uma melhor definição dos objetos geológicos de interesse, onde o conhecimento prévio das regiões com mineralizações de ETRs acelera o processo de detalhamento da área anômala. Isto sendo feito por meio de procedimento de amostragem sistemática de solos, sedimentos de corrente e concentrados de peneira/bateia e de rochas (Figura 5). Em casos mais avançados serão realizados *follow up* (estudos de maior detalhe com adensamento de amostragem = delimitação do objeto geológico) nessas áreas.

O procedimento de coleta de amostra padrão a ser realizado pelo projeto consiste em:

- Perfis sistemáticos de coleta de solos;
- Sedimento de corrente e concentrado de peneira/bateia nas bacias que contenham a área anômala;
- Amostras de rochas que não foram analisadas no(s) projeto(s) anterior(es) e que possam ser usadas para auxiliar no entendimento da mineralização.

Os perfis de solo são posicionados em perfis perpendiculares à direção principal do corpo anômalo, com vistas à delimitação preliminar das áreas com maior potencial de mineralização.

As amostras de sedimento de corrente são coletadas em trechos retilíneos no leito ativo do rio, de forma composta, em 5 a 10 porções dentro de um raio máximo de cerca de 50 metros (Figura 5). As amostras de concentrados de minerais pesados obtidos de aluvião foram coletadas de forma pontual, logo abaixo do ponto de coleta da amostra de sedimento de corrente, porém, se leva em conta os trechos da drenagem com concentradores naturais propícios à acumulação de pesados (curvas, corredeiras, cachoeiras, marmitas). Os concentrados de minerais pesados são produzidos no campo por concentração gravimétrica manual em meio úmido usando um conjunto de peneiras com malhas adequadas (4#, 8#, 16#, 28# e bateia). O concentrado de pesados que compõe a amostra é formado por toda fração < 1 mm (peneira e bateia). As frações > 1 mm são descartadas após verificação visual no próprio local da amostragem.

Figura 5 Principais tipos de coleta de amostra que são realizados pelo projeto



a) Concentrado de Peneira



b) Concentrado de bateia



c) Sedimento de corrente



d) Solo

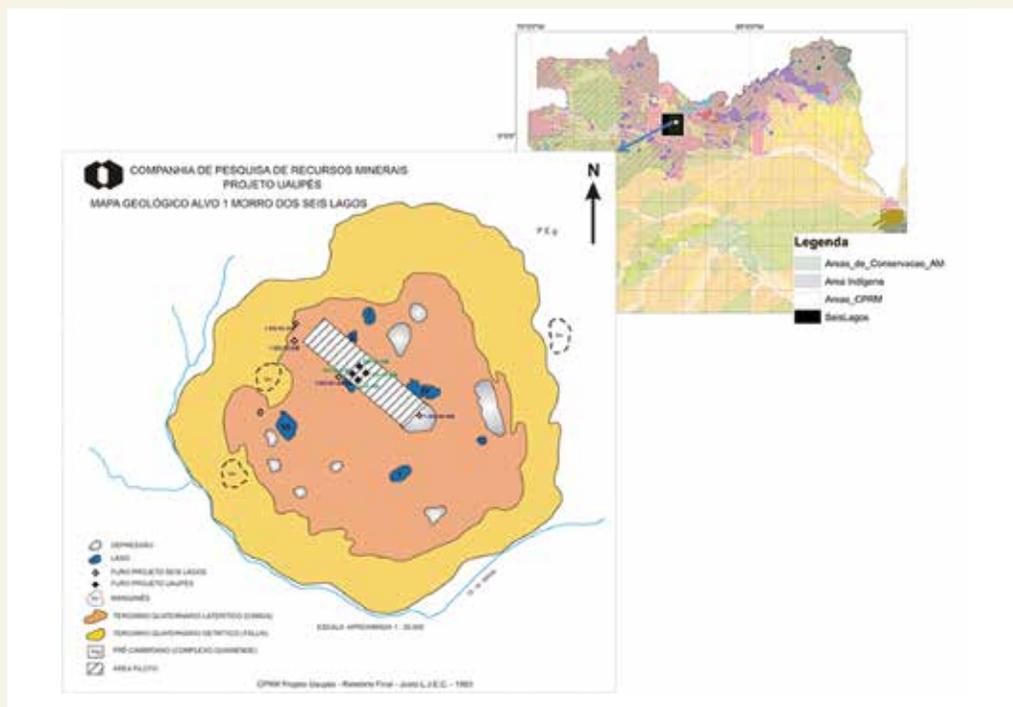
Fonte: CPRM / Lucy Takehara.

Reanálise de Amostras dos Projetos Anteriores Realizados na CPRM/SBG

Os projetos Serra Repartimento – RR (BORGES E SOUZA, 1990) e Seis Lagos – AM (VIEGAS FILHO E BONOW, 1976; JUSTO, 1983), objetos de pesquisa para ETRs, estão em processo de reavaliação com reanálise química das amostras (alíquotas) já analisadas anteriormente, cujos resultados deverão estar disponíveis em breve.

As amostras de Seis Lagos e Repartimento estão preservadas na litoteca de Caeté da SUREG-MG. A distribuição das amostras do Projeto Seis Lagos e Uaupés é apresentada na Figura 6. Trata-se de amostras de rocha, mineral/minério, solo e sedimento de corrente, além de amostras de furos de sondagens, poços e trincheiras, todas com distribuição espacial conhecida (Figura 6). O tratamento geoquímico dos resultados analíticos destas reanálises possibilitará conhecer a distribuição espacial das anomalias em três dimensões (em área e em profundidade), o que permitirá uma avaliação prévia e estimativa do volume do depósito.

Figura 6 Mapa geológico do Morro de Seis Lagos que mostra a distribuição espacial das amostras coletadas durante o projeto Seis Lagos e Uaupés (Modificado de JUSTO, 1983).



Amostragem dos Alvos Identificados na Folha Ajarani (1:100.000), Roraima
Fonte: CPRM.

O Programa de Levantamento Geológico do Brasil, realizado pela CPRM-SGB da folha Serra do Ajarani (NA.20-X-C-VI) – 1:100.000 (BRANDÃO & FREITAS, 1994), registrou a ocorrência de corpos alcalinos mostrando expressivas anomalias radiométricas (Figura 01). A área de estudo está situada a Nordeste da Folha Serra do Ajarani – NA.20-X-C-VI, na porção central do Estado de Roraima, dentro do domínio Cinturão Guiana Central (CGC). As estruturas com direção preferencial NE-SW observadas em imagens de radar e mapas aerogeofísicos estão associadas à estruturação do Escudo das Guianas. Esta estruturação é observada nas litologias geradas pelos diferentes estágios da evolução tectônica deste escudo, desde o Paleoproterozoico até a sua reativação no Mesozoico, com a instalação do Graben do Tacutu.

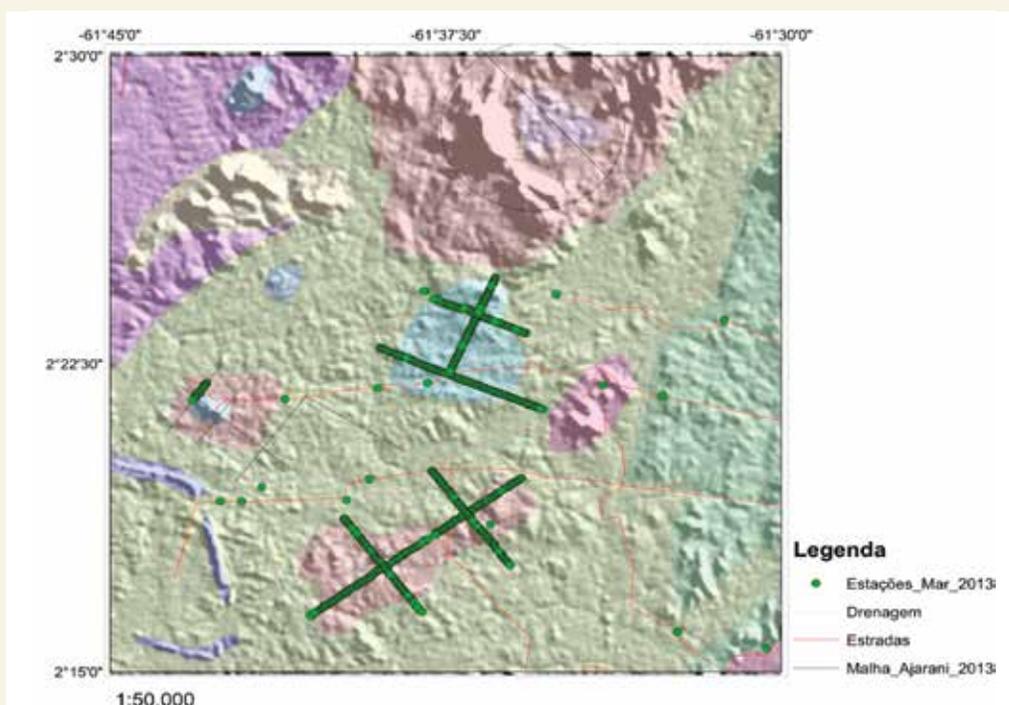
As rochas desta região são constituídas por metamórficas de alto grau e metagranitos Paleoproterozoico. Os corpos de anortositos, gabros e granitos rapakivíticos, representantes da associação AMG (FRAGA, 2002, p. 183), ocorrem intrudindo estas rochas metamorfisadas no Mesoproterozoico (Calimiano). Durante a instalação do rifte Tacutu, no Mesozoico, ocorreram a intrusão indistinta de corpos alcalinos, traquitos e sienitos, nas rochas mais antigas.

Os corpos de anortosito intrusivos em rochas do embasamento foram definidos por Borges e Souza (1990, p. 11) e Brandão & Freitas (1994, p. 62) como Anortosito Repartimento. A idade dessas rochas é de 1.527 ± 7 Ma obtido em badeleitas pelo método U-Pb por SHRIMP (Santos et al. 1999). Próximos a estes corpos de anortositos afloram corpos gabróicos de pequena extensão e foram denominados informalmente por Fraga (2002, p. 185) como Gabro Caracará.

Os resultados obtidos nos perfis de amostragem de solo permitiram selecionar melhor os alvos a serem trabalhados. Nestes alvos, será realizada prospecção geoquímica de detalhe, com perfis e malha adensada de coleta de amostras de solo (Figura 7).

Os resultados apresentados pelos projetos anteriores, de análises químicas de rocha e solo, mostraram teores anômalos, principalmente em Ce, La, P, Nb, Sr e Ba. O levantamento geoquímico de solo/poços evidenciou teores anômalos de P, Ce, La, Yb, Nb, Ti, Ba, Mo, Pb, Sr e F, bem como amostragem de rochas, solo e sedimento de corrente realizados em 2012, também mostraram anomalias para fosfato e terras-raras.

Figura 7 Mapa geológico sobre relevo sombreado da região nordeste da Folha Ajarani (1:100.000) com os perfis de coleta de solo em alvos anômalos trabalhados em 2013.

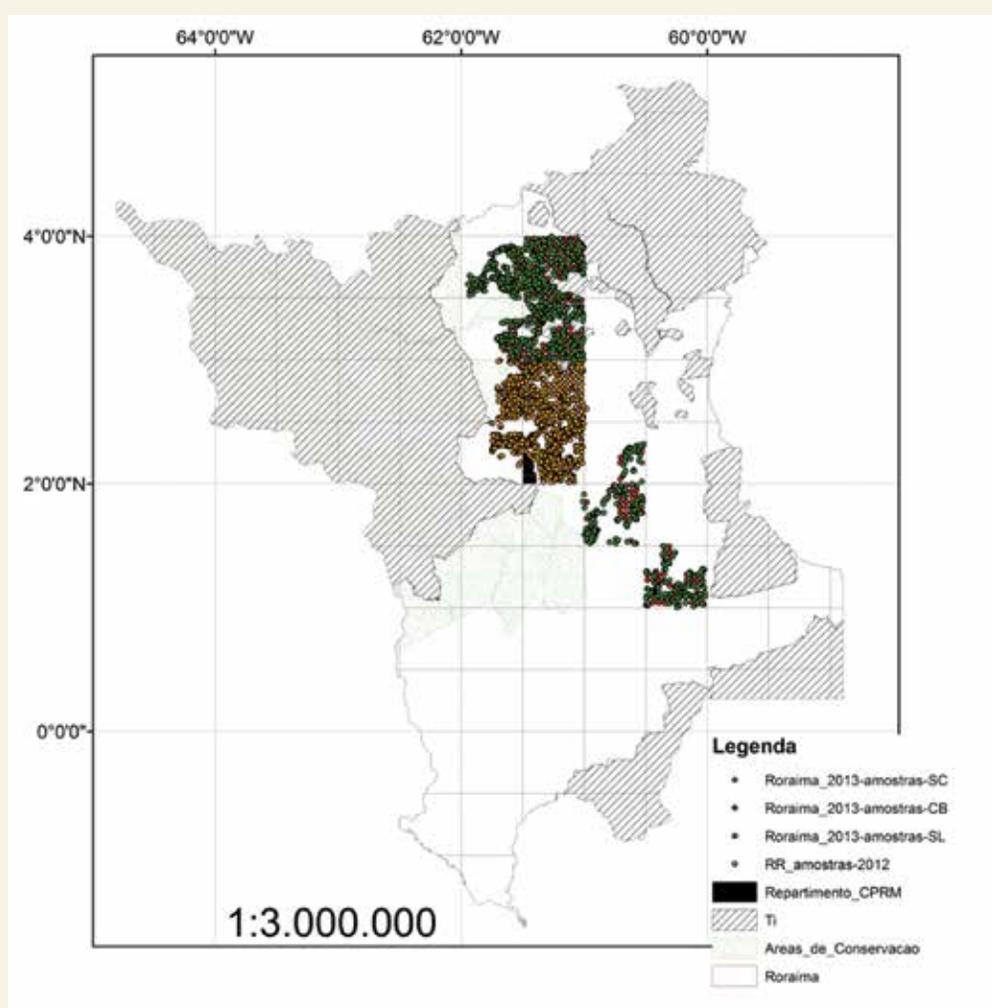


Levantamento Geoquímico Prospectivo as Folhas 1:100.000 em Roraima

Fonte: CPRM.

A amostragem geoquímica regional de um conjunto de folhas no estado de Roraima, voltada para diferentes bens minerais, visa atender o projeto dos minerais estratégicos como um todo (Figura 8, entre os quais estão os Terras-Raras), que realizará o processamento geoquímico dos dados analíticos obtidos, em busca da determinação de alvos anômalos de terras-raras. Este tratamento será associado com a interpretação dos dados geofísicos das áreas anômalas para melhor definição de alvos a serem detalhados no futuro.

Figura 8 Amostragem geoquímica regional realizada pelo empreendimento minerais estratégicos da CPRM, em diversas folhas 1:100.000 no estado de Roraima em 2012 e 2013.



Fonte: CPRM.

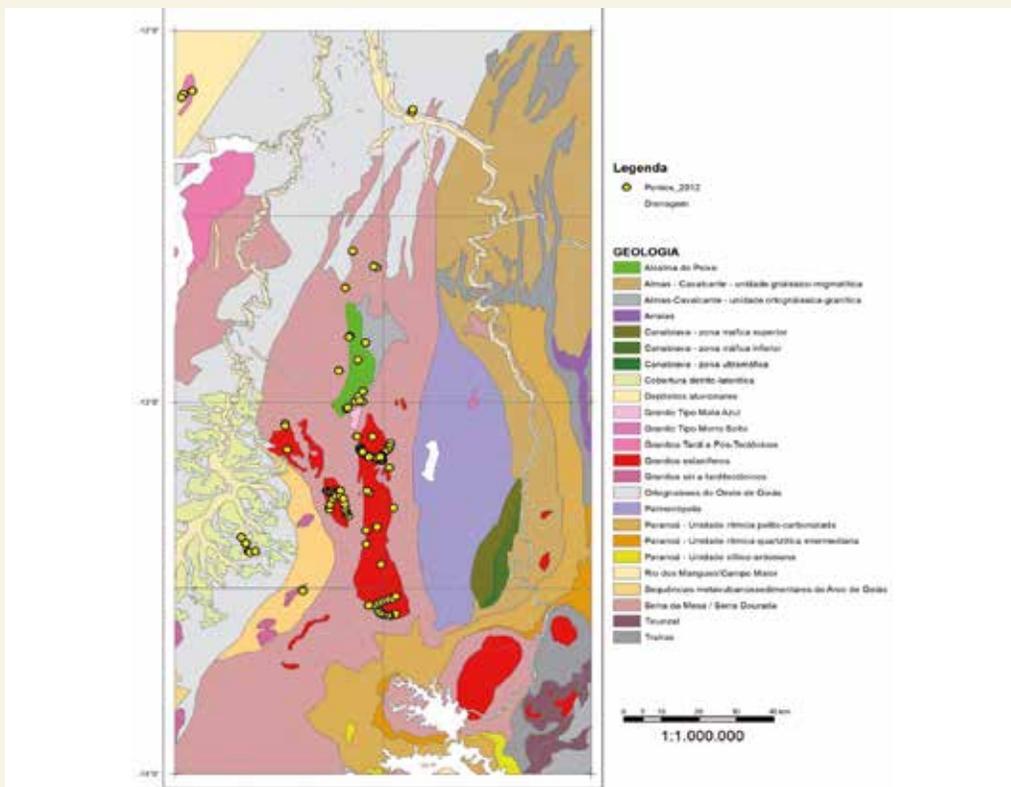
Região de Palmeirópolis, Tocantins

Os granitos da Província Estanífera de Goiás são enriquecidos em ETRs e este enriquecimento é diretamente proporcional ao estágio de evolução desses granitos (Marini et

al., 1992), ou seja, quanto mais félsicas (monzogranitos, sienogranitos etc), maior a concentração de ETRs. Destacam-se os granitos Serra Dourada e Serra do Encosto, onde o ETR das análises litoquímicas variam entre 121 a 1.924 ppm (Figura 9).

Os granitos Serra Dourada e Serra do Encosto apresentam predomínio de rochas diferenciadas, e quando as texturas e estruturas ígneas estão preservadas indicam maior potencial prospectivo. Os teores mais elevados de ETRs estão associados aos tipos monzo a sienogranitos com processos deformacionais e metamórficos incipientes. Nas rochas mais afetadas por processos metassomáticos, metamórficos e deformacionais (por ex.: milonitização e albitização) os teores são menores.

Figura 9 Granitos Serra Dourada e Serra do Encosto com detalhe da amostragem realizada em 2012.



Fonte: CPRM.

A Suíte Alcalina de Peixe representa outra unidade com potencial para ETRs, onde são reconhecidos os seguintes bens minerais: zircão, monazita, alanita, coríndon e berilo (KITAJIMA, 2002) (Figura 9). As monazitas da Suíte Alcalina do Peixe ocorrem dentro de pegmatitos sieníticos e nos horizontes intemperizados que são cortadas por veios de alanita e flúor apatita. As monazitas são separadas em duas populações em alto e baixo teor de lantânio. É importante mencionar que durante os anos de 1990 até 1995 as ala-

nitás e monazitas foram objeto de lavra, por meio de garimpagem com produção média mensal de 10 toneladas de alanita.

Os resultados do trabalho de campo realizado em 2012, que inclui perfis de amostragens de solo, sedimento de corrente/concentrado peneira/bateia dos alvos das Folhas Mata Azul e Alcalina do Peixe (TO), estão passando por tratamento e processamento dos resultados geoquímicos, visando à definição de alvos para serem detalhados com amostragem sistemática com maior densidade em 2013 (Figura 9). Nesta fase, também será utilizada a interpretação geofísica para auxiliar na definição dos alvos. O alvo granito Serra Dourada foi selecionado para realização do estudo orientativo para definição de modelos prospectivos em mineralização primária em rochas graníticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil contém reservas e ocorrências de ETR em todo o seu território, com depósitos de mineralizações primárias (carbonatitos, alcalinas e granitos) e secundárias (enriquecimento residual e supergênico e *placers* fluvial e marinho), que o coloca como uma das regiões na Terra com maior potencialidade para estes tipos de elementos estratégicos da sociedade atual. Já na década de 80, o Brasil dominava toda Cadeia Produtiva de Elementos Terras-Raras, que envolve lavra, beneficiamento e produção, que não foi continuada por falta de visão do Governo Brasileiro da época. Por estes elementos estarem associados à geração de produtos de alta tecnologia, atualmente são fundamentais para o sucesso econômico e social de qualquer país. A CPRM está realizando a reavaliação de depósitos já identificados e pouco estudados, além dos depósitos já cubados, com objetivo de apresentar um novo quadro de potencialidades de ETR no Brasil. Os estudos, até o presente realizados, não só confirmam a riqueza destes elementos no subsolo brasileiro, como também induz o país a tomar decisões acertadas sobre o tema, o que pode tornar, em curto prazo, o Brasil um grande produtor de ETRs leves e pesados e, ao mesmo tempo, desenvolvedor de alta tecnologia com os produtos industriais com estes elementos.

COLABORADORES DO PROJETO:

Antonio Augusto Soares Frasca (Pesquisador em Geociências, SUREG-GO); Cláudio Gerheim Porto (DIGEOq); Denis Ern Silveira (DIARMI – SA); Diogo Alves Sordi (Geofísico, SEDE); Fernando Santos Diener (Pesquisador em Geociências, SUREG-GO); Gilmar Rizzotto (GEREMI-GO); Hugo José Polo (Pesquisador em Geociências, SUREG-GO); Jaime Estevão Scandolara (Pesquisador em Geociências, SEDE); João Henrique Larizzatti (Coordenador de Geoquímica, DEREM); Jonathan Nereu Lisboa Rojas (Pesquisador em Geociências, SUREG-BH); Keli Regina Rodrigues Pedroza

(Técnico em Geociências, SUREG-BH); (Marcelo de Araujo Vieira (GERIDE-BH); Marcelo Esteves Almeida (GEREMI-MA); Marcely Pereira Neves (Pesquisadora em Geociências, SUREG-MA); Marcio Antonio da Silva (GEREMI-BH); Marcus Flavio Chiarini (Geofísico, SEDE); Miqueas Barroso Silva (Geofísico – SUREG-MA); Pedro Sergio Estevam Ribeiro (Pesquisador em Geociências, SUREG-GO); Raimundo Gato Dantona (GERIDE-MA); Ulisses Antônio Pinheiro Costa (Supervisor DEREM, SUREG_MA)

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

ABRAÃO, A. 1994. *Química e Tecnologia das Terras-Raras*. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, 212 p.

BORGES, F.R. E SOUZA, M. M. (1990) – Projeto Serra do Repartimento. Relatório de Progresso. CPRM – Superintendência Regional de Manaus, 213 p.

BRANDÃO, R. DE L., FREITAS, A.F. DE. (1994) – Serra do Ajarani. Folha NA.20.X-C-VI. Relatório final. Manaus, CPRM, MME. 153p., il.

CUNHA, J. W. S. D. Separação de Terras-Raras por Extração por Solvente. In: I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Modulo 3 – Experiências Institucionais no Desenvolvimento Tecnológico. http://www.cetem.gov.br/terras_raras.php. 2011.

DNPM, **Sumário Mineral – Terras-Raras**. 2012. Disponível em https://sistemas.dnpm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=7409. Acesso em 10 jun. 2013

FRAGA L.M. (2002) – A Associação Anortosito – Mangerito – Granito Rapakive (AMG) e suas encaixantes paleoproterozóicas: evolução estrutural, geocronologia e petrologia. Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. Tese de Doutorado, 351 p.

JUSTO, L. J. E. C. Projeto Uaupés. Relatório final de pesquisa. CPRM – Superintendência Regional de Manaus, 1983. 266p.

KITAJIMA, L. F. W. 2002. Mineralogia e Petrologia do Complexo Alcalino de Peixe – Tocantins. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, UnB.

LAPIDO LOUREIRO, F. E. V. **Terras-Raras no Brasil: Depósitos, recursos identificados e reservas**. MCT-CNPq-CETEM, 1994. 189p.

LENZ, D. E MARIANO, A. N. Ranking and evaluating light to heavy rare earth deposits worldwide: exploration considerations to economic assessment. In PDAC Conference, Canadá, 2010

- MORAIS, C. A. 2011 **Desenvolvimento da Cadeia Produtiva de Terras-Raras no Brasil**. In: I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Modulo 3 – Experiências Institucionais no Desenvolvimento Tecnológico. http://www.cetem.gov.br/terras_raras.php.
- SANTOS, J.O.S.; REIS., N.J.; HARTMAN, L.A; McNAUGHTON, N.J.; FLETCHER, I.R. 1999. Associação Anortosito-Charnockito-Granito Rapakivi no Calimiano do Norte do Cráton Amazônico, Estado de Roraima: Evidências Obtidas por Geocronologia U-Pb (SHRIMP) em zircão e baddeleyíta. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 6, Manaus. *Anais...* Manaus: SBC, Núcleo Norte, p. 503-506.
- SERRA, O. A. 50 Anos de Terras-Raras. http://www.cetem.gov.br/terras_raras.php. 2011.
- TAVARES, A. M. **Histórico da Produção de TR no Brasil**. In: I Seminário Brasileiro de Terras-Raras. Modulo 1 – Bases para o Desenvolvimento de TR no Brasil. http://www.cetem.gov.br/terras_raras.php. 2011.
- VIEGAS FILHO, J. R. E BONOW, C. W. Projeto Seis Lagos. Relatório Final. CPRM – Superintendência Regional de Manaus, 1976. 212 p.
- VIEIRA, E. V. & LINS, F. L. **Concentração de minério de terras-raras: uma revisão**. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, 1997. 53 p.

NIÓBIO

Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM

O nióbio é um metal utilizado na sua grande maioria pela siderurgia. Mais de 90% do nióbio produzido no mundo é consumido na fabricação de aços na forma da liga ferro-nióbio, que contém cerca de 66% de nióbio. A classe de aços microligados ao nióbio representa seu principal uso. Nestes aços o nióbio é adicionado na proporção de algumas centenas de gramas por tonelada de aço, conferindo maior resistência mecânica com preservação de sua “maleabilidade.” Algumas classes de aços inoxidáveis também utilizam nióbio para melhorar suas propriedades de resistência em temperaturas elevadas e sua capacidade de conformação mecânica.

Somente cerca de 10% de todo o aço produzido no mundo contém nióbio como elemento de liga em sua composição química. Esses aços são principalmente utilizados pela indústria automobilística, de transporte de gás e óleo e em aplicações estruturais. O nióbio é o mais efetivo refinador de grãos dos aços, e o refino de grão é o único mecanismo que promove simultaneamente o aumento de resistência mecânica e o aumento da tenacidade dos aços. Esse é o principal argumento usado na tentativa de continuar aumentando a demanda para o metal. No entanto, os aços ao nióbio estão longe de serem insubstituíveis como solução tecnológica, apesar de mostrarem a melhor eficiência em várias soluções de engenharia. Os elementos titânio e alumínio também são refinadores de grão em aços, embora não tão eficientes quanto o nióbio, e outras soluções com limitação de propriedades mecânicas também são possíveis na resolução de problemas de engenharia onde os aços ao nióbio são aplicados, tais como pontes, edifícios, navios, automóveis e tubulações de transporte de gás.

Ainda como elemento de liga, cerca de 5% do nióbio é usado em superligas de níquel com resistência mecânica a temperaturas elevadas e resistência à corrosão. Essas ligas são principalmente utilizadas em turbinas de avião, na prospecção de óleo e gás e na indústria química.

Assim é que, apesar de ser um metal refratário quando puro, apresentando elevado ponto de fusão (2.468°C) com propriedades de fácil conformabilidade, resistência a temperaturas elevadas e resistência à corrosão e à ação de ácidos e bases, o nióbio é pouco utilizado (menos de 3%) em aplicações onde não é um elemento de liga em combinação com outros metais.

Por ser o metal refratário de menor densidade, o nióbio foi objeto de pesquisas avançadas realizadas no âmbito do programa Gemini¹. No entanto, somente uma das ligas de nióbio tornou-se comercial e ainda hoje é utilizada em pequenas quantidades (representando demanda de menos de uma tonelada de nióbio por ano, em média). As soluções para as quais o nióbio estava sendo pesquisado acabaram sendo resolvidas com materiais cerâmicos avançados e que não contêm nióbio em sua composição química.

O nióbio converte-se em supercondutor quando submetido a temperaturas criogênicas. Na pressão atmosférica e quando puro, tem a mais alta temperatura crítica entre os metais supercondutores. A principal aplicação do nióbio como supercondutor é a dos magnetos usados em equipamentos de diagnóstico médico por ressonância magnética. Nestes casos a supercondutividade é conseguida em ligas nióbio-titânio e nióbio-estanho. O nióbio metálico puro e suas ligas supercondutoras de titânio e estanho também são utilizados em equipamentos de física avançada.

Os esforços de desenvolvimento de mercado para o nióbio em todo o mundo fazem com que a elaboração de uma lista de potenciais aplicações para o nióbio seja tarefa bastante difícil. De qualquer maneira, como exemplo, pode-se citar o uso do nióbio metálico como alvos de evaporação usados na indústria de vidros especiais, em lâminas de barbear e em circuitos eletrônicos. Ligas à base de nióbio-titânio têm sido desenvolvidas para aplicações em implantes cirúrgicos. Óxidos especiais de nióbio são usados na composição de lentes para câmeras e copiadoras e estão sendo estudados como solução alternativa em catalisadores na indústria química.

De todo modo, mesmo com inúmeros empregos potenciais para o metal, os usos principais do nióbio, quando medidos em volume de material utilizado, continuarão sendo os ligados à siderurgia. O potencial de crescimento da utilização do nióbio em aços não será ultrapassado por qualquer outra utilização potencial. Desta maneira, a discussão relativa a suprimento e demanda do metal sempre será ditada pela predominância do volume de nióbio utilizado na fabricação de aços em todo o mundo.

Até o início dos anos 60, o nióbio provinha da columbita dos pegmatitos. A partir da exploração dos depósitos de pirocloro no Canadá e no Brasil, o nióbio passou a ser obtido deste mineral presente nos carbonatitos. Ainda hoje, é obtido como subproduto da obtenção do tântalo a partir de minérios de columbita-tantalita, mas esta fonte representa fração menor do que 3% de todo o suprimento de nióbio.

O nióbio ocorre na natureza em diversos minerais destacando-se, pelo aspecto econômico, o Bariopirocloro $(\text{Ba,Sr})_2(\text{Nb,Ti})_2(\text{O,OH})_7$ presente no minério do carbonatito de Araxá explorado pela CBMM, o Pirocloro $(\text{Na,Ca})_2\text{Nb}_2\text{O}_6(\text{OH,F})$ presente no minério

1 O Gemini foi o segundo projeto de exploração espacial realizado pela NASA, antecedido pelo Projeto Mercury, e ao qual se seguiu o Projeto Apollo.

explorado em Quebec no Canadá pela IAMGOLD, a Columbita-tantalita $(\text{Fe},\text{Mn})(\text{Nb},\text{Ta})_2\text{O}_6$ do minério de estanho e tântalo da Mineração Taboca, controlada pela peruana Minsur, e a Loparita $(\text{Ce},\text{Na},\text{Ca})_2(\text{Ti},\text{Nb})_2\text{O}_6$ presente no minério russo da península de Kola.

A importância estratégica dos recursos brasileiros de nióbio é reduzida e está associada ao desenvolvimento tecnológico ligado a ele. O exemplo de desenvolvimento tecnológico do metal e suas aplicações ao longo de quase seis décadas pela CBMM – Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração pode ser usado como referência para o desenvolvimento de outros bens minerais presentes no País.

De fato, o nióbio tem sido incluído em várias relações de materiais estratégicos. Estudos deste tema realizados pelos Estados Unidos da América, União Europeia, Japão e Coreia incluem o nióbio em posição de destaque como consequência de métrica que dá peso elevado ao fato de que o fornecimento do metal é concentrado por um único país (atualmente mais de 85% do suprimento), qual seja o Brasil. Preocupações de cunho militar e de preservação de setores produtivos críticos não são relevantes principalmente porque representam uma fração minúscula dos usos do nióbio, que, como já explicado, é principalmente utilizado pela indústria siderúrgica. No Brasil, país que detém a maior quantidade de recursos medidos de nióbio, sua inclusão como estratégico ocorre como consequência do conhecimento dos recursos medidos de nióbio e de uma percepção incorreta de escassez de reservas no exterior. Basta dizer que enquanto as reservas existentes no Brasil são suficientes para abastecer o ritmo de demanda mundial atual por séculos, aquelas existentes em outras regiões do planeta também são suficientes para tanto. Dessa forma, a posição dominante do Brasil como fornecedor de produtos de nióbio advém do avanço tecnológico e de sustentabilidade alcançado pelo programa do nióbio da CBMM, tanto para com o desenvolvimento de processos tecnológicos internos quanto com relação ao desenvolvimento de aplicações do nióbio em conjunto com os usuários finais em todo o mundo. A posição dominante do Brasil não é resultado de escassez do metal em outras regiões do planeta.

A consulta aos dados do DNPM ou aos de outras agências de geologia no mundo (e.g., USGS e BGS) mostram um domínio do Brasil em quantidade de reservas de nióbio para além de 90% do total de nióbio do mundo. De fato, esse domínio aparece nesse formato em função dos investimentos realizados pela CBMM para conhecer seus direitos minerários. Só na última campanha de furos foram mais de R\$ 30 milhões, resultando em reavaliação das reservas para 829 milhões de toneladas de minério com teor médio de $2.5\%\text{Nb}_2\text{O}_5$. Desta forma, somente os direitos minerários explorados em Araxá, MG, contêm mais de 14 milhões de nióbio contido, quando publicações do USGS e do DNPM ainda mostram cerca de 4 milhões de toneladas de nióbio como total das reservas do Brasil. É fato conhecido que existem mais de 300 formações de carbonatito

como as de Araxá em todo o mundo com minério de pirocloro associado em maior ou menor extensão a essas ocorrências. Assim é que o nióbio já foi detectado em ocorrências nos Estados Unidos da América, Canadá, Rússia, Austrália, Angola, Arábia Saudita, Groenlândia, Egito, Uganda, República Democrática do Congo, Finlândia, Tanzânia, Nigéria, Gabão, Quênia, Malawi, Moçambique, Ruanda, Namíbia, Zimbabwe, Tailândia, Etiópia, Guiana Francesa, Cazaquistão, Bolívia, Paraguai e Afeganistão. Em vários destes países, existem múltiplas ocorrências já detectadas, como é o caso dos Estados Unidos da América, com ocorrências no Alaska, Arizona e Nebraska.

Publicações recentes na literatura dão conta de desenvolvimentos em minas de nióbio dos Estados Unidos da América (Niocorp, Elk Creek no Nebraska), Quênia (Pacific Wildcat, Mrimba Hills), Rússia (Grupo ICT, Tomtor), Gabão (Eramet, Mabounie), Malawi (Globe Metals, Kanyika), Canadá (Taseko Mining, Alley), Canadá (Commerce Resources, Blue River), Austrália (Alkane, Dubbo). Estes são alguns dos exemplos publicados recentemente na literatura especializada e apresentados por país (companhia controladora, nome do projeto) como potenciais novos fornecedores de nióbio a partir de 2014/2015.

Vale lembrar que as preocupações estratégicas envolvendo usos do nióbio fora da siderurgia não são suportadas pelo potencial de suprimento do metal. De um lado, toda esta demanda pode ser suprida pelas unidades de nióbio provenientes dos minérios de columbita-tantalita e dos estoques de escórias provenientes do processamento destes minérios para a fabricação de estanho, zircônio e tântalo. De outro lado, os estoques de nióbio, na forma de ferro nióbio, presentes nas siderúrgicas de todo o mundo, garantem a disponibilidade do nióbio para as aplicações de maior sofisticação tecnológica e menor volume.

Desta forma, fica comprovado o argumento de que o nióbio não é escasso como recurso mineral e que a liderança do Brasil advém do desenvolvimento tecnológico conseguido pela CBMM ao longo dos anos.

O Brasil é o maior produtor mundial de nióbio, mas sua produção não representa mais de 95% do total mundial como sugerem os dados publicados pelo DNPM. Nas tabelas publicadas pelo órgão, as quantidades de nióbio produzidas no Brasil estão expressas em toneladas de concentrado, enquanto as do Canadá encontram-se expressas em toneladas de nióbio contido. Contudo, ainda assim, o Brasil é responsável por cerca de (e expressivos) 88% da produção mundial, já que contribui com unidades de nióbio advindas da CBMM que fornece ferro nióbio, óxido de nióbio, ligas de nióbio de grau vácuo, nióbio metálico e compostos especiais de nióbio; da Mineração Catalão de Goiás, controlada pela Anglo American, que fornece somente ferronióbio, e da Mineração Taboaca, controlada pela peruana Minsur, que supre unidades de nióbio (na forma de uma liga metálica de nióbio e tântalo) como subproduto do estanho e tântalo que produz. Os demais 12% atualmente fornecidos por outros países são provenientes do Canadá

(IAMGOLD), da Rússia (Severstahl) e de inúmeras operações de columbita-tantalita que fornecem unidades de nióbio como subproduto do tântalo.

As reservas lavráveis de nióbio no Brasil estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Amazonas, Goiás, Rondônia e Paraíba. Em Minas Gerais, as principais reservas encontram-se em Araxá com uma reserva lavrável de 829 milhões de toneladas de minério de bariopirocloro $(\text{Ba,Sr})_2(\text{Nb,Ti})_2(\text{O,OH})_7$. Em Goiás, as principais reservas estão em Catalão, com reserva lavrável de 95,7 milhões de toneladas de minério de pirocloro; no Amazonas, destaca-se o depósito de Pitinga, com uma reserva lavrável de 170,2 milhões de toneladas de minério de columbita-tantalita e de modo menos representativo. No estado de Rondônia, as reservas lavráveis são de 5,8 milhões de toneladas, com teores, em média, de 0,23% a 1,85% de Nb_2O_5 .

Figura 1 Vista da mina da CBMM em Araxá, MG.



Fonte: arquivo institucional do Cedes.

Os estados de Minas Gerais e Goiás são os maiores produtores. As principais reservas estão localizadas nos estados de Minas Gerais, Amazonas e Goiás.

Sobre a ocorrência de nióbio no estado do Amazonas, é importante o entendimento de que seu conhecimento ainda é bastante reduzido em função da limitada pesquisa realizada até aqui pela CPRM, detentora desses direitos minerários. O complexo de Seis Lagos, no Amazonas, foi identificado em imagem de radar durante mapeamento geológico no princípio de 1975. A CPRM iniciou os trabalhos de pesquisa em 1982 e

executou trabalhos tecnológicos em conjunto com o CETEM, ainda em 1983, objetivando seu aproveitamento. O complexo de Seis Lagos localiza-se no município de São Gabriel da Cachoeira, Amazonas, a 60 Km da fronteira com a Venezuela. O complexo é formado por uma crosta de minério laterítico que atinge até 250m de espessura. O pirocloro não faz parte da mineralogia do minério laterítico. O minério é, portanto, formado por óxidos complexos de nióbio com enriquecimento em titânio. Acredita-se que o nióbio faça parte da estrutura cristalina de diversos minerais, não havendo um mineral-minério específico de nióbio no minério de Seis Lagos. Embora a reserva inferida seja considerável, não se conhece o minério com o detalhamento necessário, e o beneficiamento convencional por flotação não foi possível de ser conseguido nas amostras já estudadas.

A CBMM é o maior complexo mínero-industrial de nióbio do mundo, localizado em Araxá, MG. As jazidas de nióbio pertencentes à Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG, empresa pública constituída na forma de sociedade anônima e controlada pelo estado de Minas Gerais, e à CBMM estão arrendadas à COMIPA, empresa criada com o propósito específico de disciplinar a mineração do pirocloro contido nos direitos minerários de nióbio das duas companhias, CODEMIG e CBMM. A COMIPA foi constituída no âmbito de um conjunto de contratos conexos que também contemplam a formação de uma Sociedade em Conta de Participação entre a CODEMIG e a CBMM. Os contratos, que têm vigência até o ano de 2023, determinam que a mineração do nióbio seja feita em partes iguais de ambos os direitos minerários arrendados à COMIPA. Determina ainda que o minério lavrado pela COMIPA seja vendido com exclusividade à CBMM para processamento, fabricação e comercialização de todos os produtos de nióbio. Estes contratos garantem a exploração racional (em partes iguais) do depósito de nióbio e concedem participação de 25% nos lucros operacionais de todo o negócio de nióbio e de seus subprodutos da CBMM à CODEMIG, sem que esta última tenha que fazer qualquer investimento de qualquer natureza no negócio de nióbio, seja de pesquisa mineral, de desenvolvimento tecnológico de processos produtivos, ou de desenvolvimentos tecnológicos e comerciais para a criação de mercado e aumento de demanda para os produtos de nióbio.

A CBMM é a única produtora de nióbio com presença em todos os segmentos de mercado. As atividades de mineração são feitas a céu aberto e sem explosivos. A unidade de concentração possui uma capacidade de concentração instalada de 90 mil toneladas de ferronióbio equivalentes, ou 180 mil toneladas de concentrado de nióbio. Os seguintes processos de produção são utilizados nesta unidade: moagem úmida, separação magnética, deslame e flutuação.

Para atingir as especificações exigidas pela indústria, o concentrado de nióbio é refinado através de um processo pirometalúrgico desenvolvido pela CBMM, que inclui

pelotização e sinterização do concentrado flutuado, seguido de fusão redutora em forno elétrico a arco para a remoção de chumbo e fósforo. Na sinterização os gases contendo o enxofre eliminado no processo são lavados e o produto é utilizado em outras unidades fabris na fabricação dos produtos de nióbio. O concentrado refinado é granulado com jatos de água. Operando desde o início de 2000, a nova planta pirometalúrgica para refino do concentrado resultou em maior eficiência, em redução de emissões e em maior qualidade dos produtos. Esta nova unidade de refino do concentrado apresenta capacidade que permite a produção de 100 mil toneladas de ferronióbio equivalentes ou 170 mil toneladas de concentrado de nióbio refinado. O concentrado refinado não é comercializado, sendo usado como matéria-prima para os produtos de nióbio fabricados pela CBMM. A companhia não comercializa qualquer produto intermediário do seu processo de fabricação. Nenhum quilo de minério ou produto intermediário de nióbio é comercializado pela CBMM; somente produtos acabados e de maior valor agregado.

O concentrado refinado é transferido para a fabricação do ferronióbio ou para a rota de fabricação do óxido de nióbio e dos demais produtos de nióbio derivados do óxido.

A CBMM desenvolveu um processo para a obtenção de óxido de nióbio de elevada pureza a partir do concentrado refinado de nióbio. Esse processo é um dos mais importantes avanços tecnológicos já feitos na área, especialmente do ponto de vista econômico, e é mantido pela CBMM como segredo industrial. A partir de 1980, início de operação da unidade de produção de óxido de nióbio, esta unidade foi objeto de um programa de melhorias que levaram a ganhos de produtividade e qualidade. Atualmente a produção independe de matérias-primas importadas.

A unidade de produção de óxido de nióbio especial, estabelecida em junho de 1998, destina-se à produção de óxido de nióbio de grau óptico, de maior pureza, e sobretudo usado em lentes especiais. A planta representa um exemplo dos esforços da CBMM em pesquisa e desenvolvimento, e evidencia o empenho da companhia em desenvolver compostos de nióbio de elevada pureza e de maior valor agregado. Exemplos mais recentes são os dos compostos de nióbio para aplicações químicas que a CBMM vem desenvolvendo junto ao mercado. A empresa já investiu em unidade fabril para a fabricação de óxido hidratado de nióbio, conhecido como nióbia, ou HY380, e de um complexo amoniacal de nióbio, conhecido como ANO. Ambos fazem parte do esforço atual da CBMM em desenvolver o mercado de catálise para produtos de nióbio.

A CBMM também produz ferronióbio padrão para a indústria siderúrgica desde 1965. Como já explicado anteriormente, é do ferronióbio usado na fabricação de aços que vem a maior participação na formação dos resultados da CBMM. Em 1994 foi introduzida a aluminotermia em forno elétrico. Com os desenvolvimentos de processo e investimentos adicionais realizados pela CBMM em anos recentes, a companhia já possui

capacidade instalada (unidade Metalurgia) para a produção de ferronióbio a partir de concentrado refinado igual a 150 mil toneladas de ferronióbio equivalentes.

A CBMM tem um programa de investimento de capital para adequar a capacidade de todo seu parque fabril em 150 mil toneladas de ferronióbio equivalentes a partir de 2016. Atualmente, o gargalo de produção encontra-se na planta de concentração com sua capacidade de 90 mil toneladas de ferronióbio equivalentes. A nova planta de concentração deverá ser comissionada ainda em 2014. O investimento total para toda a adequação da planta demandará cerca de um bilhão de reais no triênio 2014-2016.

Uma nova planta para fabricação de óxido de nióbio foi recentemente comissionada e elevou a capacidade de produção anual para 10 mil toneladas de óxido de nióbio. Somente cerca de 2.000 toneladas de óxido de nióbio são comercializadas nesta forma. O restante do óxido que é produzido pela CBMM é transformado nos demais produtos de nióbio, tais como as ligas a vácuo de ferronióbio e níquelnióbio, os óxidos especiais para aplicações ópticas e químicas e o nióbio metálico.

Para fabricar o nióbio metálico puro e a liga nióbio-1% zircônio, a CBMM utiliza fornos de feixe de elétrons. A companhia possui dois fornos com capacidade total de 260 toneladas por ano de lingotes cilíndricos, fabricados de acordo com os padrões ASTM B-391. O primeiro dos fornos entrou em operação em maio de 1989.

O estabelecimento da CBMM como fornecedora líder dos produtos de maior valor agregado, tais como as ligas a vácuo e o nióbio metálico, demonstrou o comprometimento da companhia com a participação nos mercados de tecnologia avançada com produtos de maior conteúdo tecnológico fabricados no Brasil. Nestes produtos a CBMM sofre concorrência acirrada das unidades de nióbio obtidas como subproduto do processamento de tântalo, provenientes dos minérios de columbita-tantalita.

A China é o principal mercado para o nióbio no mundo, consumindo cerca de 25% de todo ferronióbio produzido, sendo a produção doméstica muito pequena. Assim a China tem sido o principal importador de nióbio dos últimos anos, com cerca de 94% de suas necessidades de ferronióbio importadas do Brasil.

O desenvolvimento do mercado chinês para o nióbio é de enorme importância para o futuro do metal. Apesar de ser o país que mais consome nióbio no mundo, o consumo específico (medido através da quantidade de nióbio utilizada em cada tonelada de aço produzido) de nióbio ainda é muito reduzido em comparação com outras economias do mundo. Como a principal aplicação do nióbio é em aços e como a China produz metade de todo o aço do mundo, o mercado chinês representa o maior potencial de crescimento para o mercado de nióbio. Os esforços realizados pela CBMM para o desenvolvimento do mercado brasileiro fizeram com que o consumo específico de nióbio no Brasil atingisse os níveis de países tecnologicamente avançados. Assim é que o Brasil

consome entre 80 e 100 gramas de nióbio para cada tonelada de aço produzida no país. Este consumo específico é o mesmo apresentado por países tais como EUA, Alemanha, Suécia, Coreia e Japão. O consumo específico da China é atualmente menor do que 20 gramas de ferronióbio por tonelada de aço produzida. Ocorre que enquanto o Brasil produz cerca de 30 milhões de toneladas de aço por ano, a produção da China é de 740 milhões de toneladas anuais ou cerca de metade do aço produzido em todo o mundo. Esta diferença era quase inexistente em 1978, ano em que a primeira delegação técnica da CBMM iniciou os trabalhos de desenvolvimento de mercado para o nióbio naquele país. A CBMM possui um extenso programa de desenvolvimento de mercado com o objetivo de disseminar a tecnologia dos aços contendo nióbio na China. Este programa já apresentou resultados significativos como a adoção por parte dos chineses da tecnologia dos aços ao nióbio empregados em tubulações de transporte de gás. As especificações que limitavam o teor de nióbio em tais aços foram modificadas para permitir o uso da tecnologia mais avançada e eficiente neste campo de aplicação. A CBMM, apesar de esforços contínuos que já datam de mais de uma década, ainda não conseguiu que a Petrobras modificasse suas especificações para permitir o mesmo avanço tecnológico. Na China ainda é preciso avançar bastante na implementação da tecnologia dos aços ao nióbio para a indústria automobilística, embora já estejam mais avançados do que no Brasil na adoção dos aços mais modernos, e principalmente na implementação da tecnologia dos aços ao nióbio para usos estruturais.

A atual composição acionária da CBMM tem o Grupo Moreira Salles com 70% das ações, um consórcio japonês-coreano com 15% e um consórcio de empresas chinesas com os 15% restantes. O consórcio japonês-coreano é formado pelas empresas NipponSteelSumitomoMetals, JFE Steel, Sojitz Corporation, JOGMEC, POSCO Steel and Korean Pension Fund. O consórcio chinês é formado pelas empresas CITIC Metals, BaoSteel, Anshan Steel, TISCO Steel e Shougang Steel.

O grupo brasileiro Moreira Salles, que tinha 55% das ações da CBMM até 2005, comprou os 45% dos americanos, que eram representados pela Molycorp e se tornaram detentores dos 100% das ações da CBMM a partir de 2006. A venda dos 15% para o grupo japonês-coreano por US\$ 1,95 bilhão aconteceu em abril de 2011 e representou um endosso tecnológico importante para a tecnologia dos aços ao nióbio, já que os japoneses e coreanos possuem a reputação de fabricarem os aços mais avançados do mundo. A venda dos 15% para o consórcio chinês pelo mesmo valor pago pelos japoneses e coreanos foi efetuada no final de 2011 e portanto depois da aquisição dos 15% pelos japoneses e coreanos. A China representa o maior potencial de crescimento para o mercado de nióbio. Os acionistas asiáticos são minoritários e não obtiveram acesso à tecnologia desenvolvida pela companhia para a fabricação de seus produtos como consequência da aquisição de sua participação acionária.

Quando a CBMM foi fundada em 1955 não havia mercado para o nióbio que fosse mensurável. A principal aplicação do nióbio como elemento de liga em aços foi descoberta pelos pesquisadores de Sheffield nos anos 60. A descoberta do maior mercado para o nióbio foi concomitante com as descobertas dos processos de fabricação para transformar o minério de pirocloro em produtos de nióbio que tivessem valor de mercado. Desta forma, a história da CBMM foi construída na busca de legitimidade tecnológica e no estabelecimento de parcerias comerciais e tecnológicas para a criação de um mercado que era inexistente. Mesmo com dez anos de existência, em meados dos anos 60, tudo que o nióbio representava era um sonho de laboratório. A CBMM investe desde sempre no desenvolvimento tecnológico de processos produtivos para agregar valor aos produtos de nióbio que comercializa e em desenvolvimentos tecnológicos relativos a novas aplicações ao nióbio para crescer a demanda pelo metal.

Figura 2 Vista da mina da CBMM em Araxá, MG.



Fonte: arquivo institucional do Cedes.

Com relação aos processos produtivos, a CBMM é a única produtora de nióbio do mundo que refina o concentrado de nióbio utilizando processos pirometalúrgicos, de maior produtividade e de menor agressividade ao meio ambiente. A companhia é a única a produzir ferronióbio em forno elétrico, reduzindo substancialmente a quantidade de alumínio necessário no processo de fabricação. Seu processo de fabricação do óxido de nióbio é segredo industrial desde 1978 quando foi descoberto. A disponibilização pela

CBMM de capacidade produtiva para o óxido de nióbio independe das rotas de produção de tântalo proporcionarem estabilidade de suprimento aos mercados de maior sofisticação tecnológica do nióbio e segurança dos usuários finais para o desenvolvimento de novas aplicações. Apesar do acesso a reservas suficientes para centenas de anos, a CBMM investe continuamente no aumento das recuperações de nióbio do bem mineral concedido a ela para exploração. A companhia é a primeira do mundo a conseguir concentrar nióbio em lamas, i.e., a partir de partículas menores do que 10 micrometros. Importante enfatizar que o desenvolvimento tecnológico relativo à produção de nióbio é todo efetuado no Brasil e em sua grande maioria em Araxá/MG.

Relativamente ao desenvolvimento de mercado, a CBMM possui mais de 200 projetos com seus clientes em todo o mundo. O desenvolvimento de mercado do Brasil sempre foi extenso, com programas robustos desenvolvidos com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, o CDTN e o CETEC de Minas Gerais, além dos programas com as principais universidades do País.

Os gastos com o programa de desenvolvimento tecnológico da CBMM relativamente ao programa de nióbio somaram R\$ 90 milhões em 2013. Este montante não inclui o investimento relativo ao desenvolvimento tecnológico do programa de elementos terras-raras, que até aqui totalizam R\$ 70 milhões.

Os principais programas de desenvolvimento de tecnologia da CBMM em curso no Brasil são listados a seguir:

- Construção, aparelhamento e manutenção de laboratório referência para o desenvolvimento de aços utilizados em tubulações de transporte de óleo e gás contendo gás sulfídrico. Este desenvolvimento está sendo efetuado no Departamento de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica da USP e inclui suporte a duas teses de doutorado, além do trabalho conjunto com fabricantes de aço (Usiminas), de tubos (Tenaris Confab) e de usuários finais (Petrobras);
- Suporte financeiro e tecnológico a cinco teses de mestrado na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Todas as teses têm ligação com fabricantes de aços no Brasil e resultarão no desenvolvimento de novos aços contendo nióbio nas fábricas da Gerdau e da ArcelorMittal no Brasil;
- Desenvolvimento de aço inoxidável martensítico contendo nióbio com a APERAM;
- Programa de simulações para suporte ao desenvolvimento de catalisadores à base de compostos de nióbio junto à Universidade Federal de Uberlândia;
- Programa interno de desenvolvimento de novo produto com carbonetos de nióbio para a indústria de ferramentas em substituição aos produtos de carboneto de tun-

gestêo que tem se tornado escasso no mercado. Os trabalhos incluem programas com o SENAI de Itaúna e com a fornecedora de pós metálicos Hoganaes;

- Programa de desenvolvimento de aços automobilísticos junto à Usiminas, CSN e ArcelorMittal para dar suporte à produção de automóveis mais eficientes e seguros no Brasil. Programa em discussão com a Fiat Automóveis para o desenvolvimento e utilização destes aços;
- Programa de desenvolvimento de aços para tubulação de transporte de óleo e gás com ArcelorMittal e Aços Gerdau;
- Programa de desenvolvimento de caminhões de tara reduzida e mais eficientes em conjunto com fabricantes de caminhões (Volvo), carrocerias (Rossetti) e transportadoras (e.g., Rodoking, Fagundes);
- Programa de desenvolvimento de edificações em estruturas metálicas mais eficientes envolvendo Aços Gerdau e ArcelorMittal além de empresas de engenharia de estruturas tais como a CODEME de Minas Gerais e a Metabil do Rio Grande do Sul;
- Programa de desenvolvimento de aços ao nióbio com a Petrobras, que ainda limita nióbio em suas especificações. O programa envolve a doação de aços modernos e o suporte financeiro para a caracterização completa do aço e dos tubos fabricados no Brasil. A CBMM também proporciona a visita de especialistas de todo o mundo para discutir aspectos específicos deste desenvolvimento nas áreas de soldagem, corrosão e de mecânica dos materiais;
- Programa de desenvolvimento de toda a cadeia produtiva para os principais elementos terras-raras presentes na monazita do minério da CBMM. O programa envolve investimentos de 70 milhões de reais em recursos próprios e é o mais avançado no desenvolvimento das terras-raras do Brasil. Todo o desenvolvimento tecnológico está sendo desenvolvido em Araxá;

A CBMM ainda mantém um programa robusto de cuidado com o meio ambiente, a comunidade e seus colaboradores, o que torna a Companhia referência mundial em sustentabilidade.

MINERAÇÃO: O QUE É ESTRATÉGICO PARA O BRASIL

Claudio Scliar

Geólogo formado pela UFRJ (1972), Professor do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (1980 a 2010). Secretário-Adjunto de Minas e Metalurgia do Ministério de Minas e Energia (2003), Secretário Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (2005 a 2012). Doutor em Política e Economia Mineral pela Universidade Estadual de Campinas. Autor dos livros 'Geopolítica das Minas do Brasil' (1994); 'Amianto: mineral mágico ou maldito' e 'Três dias descobrindo a terra e o amor' (1998); 'Mineração e geodiversidade do Planeta Terra' e 'Mineração, base material da aventura humana' (2009).

MINERAÇÃO ESTRATÉGICA

Apresenta-se nesse artigo um breve quadro histórico da mineração brasileira, os desafios atuais e reflexões sobre políticas públicas necessárias para priorizar o que é estratégico na mineração. O acesso, produção e comércio dos bens minerais considerados estratégicos, essenciais ou críticos sempre fizeram parte da agenda dos governos nacionais, em especial dos países grandes produtores e/ou consumidores.

Nos últimos 30 anos, ocorreram profundas mudanças nos blocos hegemônicos mundiais, que tinham entre suas principais características o controle político e econômico de países com jazimentos de bens minerais considerados vitais para sua indústria. O processo de descolonização na África e Ásia, o fim da Guerra Fria e o fortalecimento econômico e político da China são eventos que demarcam a paisagem política e econômica do mundo atual.

A maior ou menor demanda dos bens minerais tradicionais que constituem a base da revolução industrial e agrícola como ferro, cobre, zinco, níquel, alumínio, carvão mineral, potássio e fosfato, entre outros, acompanha a evolução positiva ou negativa dos ciclos econômicos mundial e nacionais.

Como consequência das pesquisas da física e engenharia dos materiais, cada vez mais se tornam importantes no comércio mundial substâncias minerais para a fabricação de produtos especiais e de alta tecnologia, tais como tântalo, nióbio, titânio, terras-raras, lítio, vanádio e outros. Cada nova substância ou uso diferente para substância

já conhecida traz no seu bojo a concorrência entre as matérias-primas disponíveis no mercado. O grande desafio para os novos materiais, além de provar suas vantagens técnicas, é garantir o suprimento e a posse da tecnologia para seu aproveitamento na cadeia produtiva.

O conceito “mineral estratégico” se associa, historicamente, aos objetivos políticos dos países centrais, principalmente quando se preparam para a guerra. O conceito se consolidou durante a Guerra Fria em relação à escassez de minérios para a fabricação de equipamentos utilizados pelas forças armadas, inclusive com a formação de estoques por alguns países.

Atualmente, mineral estratégico se refere àqueles minerais considerados importantes para um país, seja por sua abundância ou carência. Na literatura acadêmica e de políticas públicas, utilizam-se também os conceitos de minerais essenciais ou críticos que expressam a preocupação com o suprimento de alguns bens minerais por fatores como a exaustão dos depósitos conhecidos, o controle da sua extração, beneficiamento ou comercialização por um país ou empresa e outros fatores econômicos e políticos.

INTERESSES ESTRATÉGICOS NA MINERAÇÃO BRASILEIRA

Ao aportarem no novo continente, em 21 de abril de 1500, os portugueses foram recebidos por habitantes da região curiosos com a chegada pelo mar de tão estranhas visitas. Pero Vaz de Caminha descreve a ida a bordo de dois desses habitantes levados para encontrar o capitão Pedro Álvares Cabral. Segundo a Carta de Caminha, ao verem o colar de ouro do capitão e um castiçal de prata, ‘acenavam para a terra como nos dizendo que havia em terra ouro e também prata’ (modificado de Pero Vaz de Caminha: carta a El Rey Dom Manuel – versão Rubem Braga, 1999).

No entanto, os depósitos de ouro somente foram encontrados no final do século XVII, no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, e as minas de prata ainda não foram descobertas no território brasileiro. Considerando que em 1492 os espanhóis, ao chegarem ao novo continente, logo encontraram povos mineradores que extraíam, beneficiavam e utilizavam ouro, prata, cobre e mercúrio, confirmam-se dois paradigmas fundamentais para se analisar o que é estratégico na mineração: a história geológica, que permite a concentração do minério e, principalmente, o desenvolvimento técnico para encontrar, extrair, beneficiar e transformar nos produtos finais os minérios encontrados, o que os Maias, Astecas e Incas fizeram enquanto os habitantes da Ilha de Vera Cruz (Brasil) desconheciam.

Portugal representava nessa época um importante polo comercial e necessitava de metais preciosos e gemas para financiar as viagens marítimas, a compra de especiarias e

pagar dívidas com países vizinhos. Diversos estudos e ações de lavra e metalurgia foram realizados por José Bonifácio de Andrada e Silva, Wilhelm Ludwig von Eschwege e outros geocientistas para a extração e produção de ferro para a fabricação de equipamentos no país, quando houve permissão dos colonizadores.

Assim, no Período Colonial (1500 a 1822), o interesse estratégico da mineração se direcionou para aproveitamento de ouro (~1690) e diamante (a partir de 1720) com investimento e controle direto de Portugal.

No Império (1822 a 1889), a presença inglesa se intensificou em todos os segmentos econômicos do país. No início do século XIX se constituíram diversas organizações societárias para arrecadar recursos com a venda de participações acionárias em minas de ouro situadas em Minas Gerais no já consolidado mercado de capitais inglês. Das muitas empresas criadas em Londres, poucas se mantiveram e a maioria serviu para enriquecer os negociadores das participações, “sendo que a Mineração Morro Velho S/A é a única que ainda permanece” (Pereira da Silva, 1995).

Fato importante para se avaliar a evolução da mineração no Brasil é que somente em 1876 foi criada a Escola de Minas de Ouro Preto. Em outros países das Américas, os colonizadores organizaram escolas de mineração desde o século XVI.

No Império, o principal mineral procurado e extraído foi o ouro, porém já se organizavam diversas sociedades para lavra e aproveitamento de minério de ferro, em Minas Gerais, e carvão mineral, no Rio Grande do Sul, desde 1872, e em Santa Catarina, a partir de 1876.

Na República velha (1889 – 1930) as empresas inglesas se mantiveram dominantes na produção de ouro e na pesquisa e lavra de minério de ferro, que se tornava uma *commodity* importante no comércio mundial, pois os jazimentos europeus começavam a exaurir.

Em 1910 foi apresentado um Memorial sobre as jazidas de ferro no Quadrilátero Ferrífero no XI Congresso Geológico Internacional, realizado em Estocolmo. Escrito por Gonzaga de Campos e Orville Derby, servidores do Serviço Geológico do Brasil, o documento atraiu investimentos de diversas mineradoras internacionais para o Quadrilátero Ferrífero. Como a Constituição de 1891 considerava os bens minerais propriedade do dono da terra, houve uma corrida pela compra das terras onde se situavam as jazidas e minas conhecidas.

Na Primeira e Segunda Guerra Mundial, ao serem estabelecidas prioridades para a obtenção de minerais considerados essenciais à indústria militar, os serviços geológicos tinham como missão sua descoberta e disponibilização, no próprio território ou em território de país amigo. Os EUA atuaram fortemente no Brasil através do Bureau of Mines e do Geological Service – USGS, sendo o território brasileiro detalhadamente

estudado pelo USGS. Destaca-se o aproveitamento de minérios de ferro, manganês, estanho, tungstênio, quartzo piezoelétrico e outros.

MINERAÇÃO PARA INDUSTRIALIZAÇÃO NACIONAL E COMPETITIVIDADE MUNDIAL

Durante os governos autoritários de Getúlio Vargas (1930 a 1945), mesmo mantendo e fortalecendo a influência das grandes mineradoras internacionais, com a presença cada vez maior de capitais dos EUA, um exemplo de política de integração da mineração com toda a cadeia industrial foi a criação da Companhia Siderúrgica Nacional, em 1941. Mobilizaram-se investimentos para o aproveitamento dos depósitos de ferro, manganês, cromo, carvão mineral e outras substâncias minerais, tendo como objetivo a fabricação de aço de alta qualidade. A fundação da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, em 1942, para assumir a pesquisa e lavra de ferro, se tornou o marco maior para a indústria mineral brasileira. Também a produção de alumina e alumínio por iniciativa de Américo René Giannetti (Elquisa) e José Ermírio de Moraes (Votorantim), nos anos 1940, contaram com apoio de Getúlio Vargas viabilizando a instalação dessas indústrias que verticalizaram a produção desde a extração da bauxita até a metalurgia do alumínio.

Após a democratização (1946), fortaleceram-se políticas públicas e privadas para desenvolver projetos nacionais objetivando o aproveitamento dos bens minerais tradicionais como ferro, manganês, alumínio, níquel, zinco, estanho, cobre e outros que acompanhavam o crescimento da economia nacional, substituindo importações sempre que possível. Destacam-se os esforços públicos e privados para a pesquisa, lavra, beneficiamento e transformação desses minérios, aplicando pacotes tecnológicos importados, pois eram minérios utilizados há muitos anos em todo o mundo.

Essas ações são viabilizadas pela forte presença estatal através da CVRD, de empresas brasileiras como Votorantim (alumínio, cimento, zinco, chumbo, níquel, ferro) e de mineradoras internacionais associadas com empresas brasileiras, o que era obrigatório pelo Código Mineral vigente, como é o caso da Icomi (brasileira) e Bethlehem Steel Company (EUA), que implantaram o primeiro grande empreendimento minerador na Amazônia, para a extração do manganês da Serra do Navio, no Amapá.

Nesse contexto, é importante ressaltar os estudos realizados pelo geocientista Djalma Guimarães sobre o depósito de minério de nióbio no Barreiro de Araxá, no início dos anos 1950. O aproveitamento desse metal na indústria era limitado, pois somente se conheciam reservas associadas ao mineral columbita, que possui reduzida distribuição na natureza, comparativamente ao pirocloro. A descoberta dos depósitos de pirocloro nos carbonatitos de Araxá, Minas Gerais, tornou possível o aproveitamento do nióbio

em larga escala. Nos anos 1960, ocorreu importante desenvolvimento tecnológico para o uso de nióbio no aço, em escala laboratorial, em Sheffield, na Inglaterra. Nesse momento o grande desafio era criar um mercado para o uso industrial do nióbio.

Em 1955 foi fundada a Distribuidora e Exportadora de Minérios e Adubos – DEMA que, dez anos depois, torna-se a Companhia Brasileira de Metais e Metalurgia – CBMM, passando de distribuidora e exportadora de minérios para uma empresa voltada para tecnologia e inovação na mineração, metalurgia e comércio de produtos e subprodutos de nióbio. A história mundial do aproveitamento de nióbio se vinculou, desde então, a essa empresa. A participação acionária da CBMM, de 1965 a 2004, era de 55% do Grupo Moreira Salles (brasileiro) e 45% da Molycorp (EUA), a partir de 2006 o Grupo Moreira Salles assumiu 100% do controle da empresa. Hoje o Grupo Moreira Salles possui 70% das ações e consórcios compostos por empresas japonesas, coreanas e chinesas têm 30%.

Em 1957 é criado o Programa para Formação de Geólogos – CAGE, pelo Ministério de Educação e Cultura, para a criação de cursos de Geologia em todo o país.

A indústria mineral influenciou o crescimento econômico de diversas regiões do país, destacando-se os estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. O Brasil se torna grande fornecedor mundial de minérios.

MINERAÇÃO COMO BASE DA COMPETITIVIDADE BRASILEIRA NO MUNDO

Nos governos militares (1964-1985), a mineração foi considerada estratégica para fortalecer a economia nacional e os laços com os grandes grupos econômicos mundiais.

As diretrizes do I Plano Mestre Decenal para Avaliação de Recursos Minerais do Brasil (I PMD), publicado em 1965, tinha como objetivo ampliar a produção mineral do país. A aprovação do Código de Mineração em 1967, a fundação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM e o fomento à Companhia Vale do Rio Doce, às empresas siderúrgicas e de produção de fertilizantes fortaleceram esse segmento econômico.

O governo intensificou as políticas de fomento à mineração exportadora e, para isso, não poupou financiamento público, em especial para os empreendimentos direcionados para minério de ferro e bauxita.

A descoberta da Província Mineral de Carajás, em 1967, no Pará, e o desenvolvimento das pesquisas e dos arranjos público-privados para a construção da infraestrutura nessa região consolidaram o caminho para a ampliação e fortalecimento da internacionalização do comércio dos minérios brasileiros.

Na redemocratização (a partir de 1985) temos um novo período econômico e político no Brasil. Como consequência da desestatização das empresas de mineração, siderurgia e fertilizantes (a partir de 1995) o Estado perdeu os instrumentos de intervenção direta no setor, por meio dos quais eram executados os investimentos e o encadeamento do setor industrial com a mineração. Com o Programa Nacional de Desestatização, o Estado abriu mão da execução direta de políticas para o setor mineral sem, no entanto, compensar a perda de governança com uma regulação, como foi feito para os setores de energia e petróleo. Também nesse período se assistiu ao enfraquecimento orçamentário e de pessoal da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – CPRM e do Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, vinculados ao Ministério de Minas e Energia.

A aprovação da Lei Complementar nº 87/1996, conhecida como Lei Kandir, consolida os mecanismos tributários para maximização dos lucros com a exportação de minério bruto, o que significa clara opção governamental de priorizar os ganhos com a competitividade dos bens minerais brasileiros no mercado mundial.

MINERAÇÃO COMO FUNDAMENTO DO DESENVOLVIMENTO INTEGRADO E SUSTENTADO

A gestão dos recursos minerais nos governos de Luiz Inácio Lula da Silva e Dilma Rousseff (2003 a 2014) priorizou ações para uma mineração geradora de renda e emprego com qualidade ambiental, ao mesmo tempo que aproveitou o expressivo crescimento dos preços internacionais dos minérios para o equilíbrio da balança comercial do país.

Diversas ações foram desenvolvidas a partir de 2003 para fomentar a verticalização desde a extração dos bens minerais, tais como, em 2004, a Política industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), para fortalecer e expandir a base industrial brasileira por meio da melhoria da capacidade inovadora das empresas. Em 2008, dando continuidade à PITCE, a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP) foi instituída com objetivo de executar ações que sustentassem o crescimento e incentivassem a exportação. Dando sequência às políticas industriais, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior – MDIC lançou o Plano Brasil Maior – PBM, que estabelece para o período de 2011 a 2014 a política industrial, tecnológica, de serviços e de comércio exterior. A mineração está incluída no Bloco dois do PBM, denominado de sistemas produtivos intensivos em escala, tendo como diretrizes o fortalecimento da mineração no país e o adensamento produtivo na indústria de mineração.

O Plano Nacional de Mineração – 2030 (PNM-2030), publicado pelo Ministério de Minas e Energia – MME em fevereiro de 2011, fundamenta-se em três diretrizes básicas:

governança pública eficaz para promover o aproveitamento dos bens minerais extraídos no país no interesse nacional; agregação de valor e adensamento de conhecimento em todas as etapas da atividade mineral e sustentabilidade ao longo da cadeia produtiva mineral. No PNM – 2030 foram definidos onze objetivos estratégicos, contando cada um com diversas ações para viabilizar uma política mineral sustentável e soberana para o país. (PNM – 2030: www.mme.gov.br).

Mesmo a mineração mantendo o foco principal no aproveitamento da competitividade dos bens minerais do país, diversas ações do governo se dirigiram para apoiar e fomentar cadeias produtivas do setor mineral. Destaca-se a discussão, definição e implementação de ações previstas em planos nacionais de curto, médio e longo prazo para a indústria, ciência, tecnologia e para a mineração que servem como referências para a construção de políticas públicas concatenadas entre os setores públicos, privados e organizações da sociedade.

CAMINHOS E TRAVESSIAS PARA ALÉM DA COMPETITIVIDADE DOS NOSSOS JAZIMENTOS

A diversidade geológica do território continental de 8,5 milhões de km² emersos e dos 3,5 milhões de km² imersos na Plataforma Continental juridicamente brasileira tornou o Brasil importante produtor de bens minerais e com grande potencial para ampliar e diversificar sua produção.

Aproveitar a competitividade dos bens minerais brasileiros é correto, mas a prioridade das políticas públicas deve ser a agregação de valor e conhecimento em todas as fases da cadeia produtiva. Agregar valor e conhecimento significa bem mais do que o aumento do preço, implicando também na maior geração de empregos qualificados, investimentos públicos e privados em PDI e acompanhamento das mudanças de mercado em função dos novos usos das substâncias minerais.

Considerando os minerais estratégicos elencados no PNM – 2030, alinha-se abaixo algumas observações quanto às suas políticas:

1) bens minerais com reservas e produção expressiva no país:

Ferro: dos 400,8 Mt (milhões de toneladas) de minério de ferro produzido em 2012, 125,4 Mt foram consumidos no mercado interno. Ampliar a produção de aço e ligas especiais continua sendo o principal desafio para otimizar o aproveitamento desse minério;

Nióbio: a produção brasileira, em 2012, representou mais de 90% do total mundial. A principal empresa produtora desenvolveu tecnologias, desde 1955, e agiu com agressividade na abertura de mercados para os produtos desse metal até então considerado como

não aproveitável pelas reduzidas reservas e desconhecimento das suas qualidades físicas e químicas na indústria. A CBMM (70% Grupo Moreira Salles, 30% capitais asiáticos) investiu em pesquisa, desenvolvimento e inovação em todas as fases do aproveitamento do nióbio, principalmente para siderurgia. Em 1972 a empresa assinou contratos conexos com o estado de Minas Gerais sobre os direitos minerários do carbonatito de Araxá. Através desses contratos, a CBMM explora a sua mina e a do Estado, tornando-se líder mundial na comercialização de produtos e subprodutos finais de nióbio, sem vender minério bruto. São conhecidas centenas de ocorrências e jazidas de nióbio no mundo, inclusive no Brasil, além da permanente concorrência com outras substâncias minerais. O exemplo da CBMM de forte investimento em Pesquisa, Desenvolvimento & Inovação, parceria com Estado produtor através de contratos conexos que garantem 25% de participação nos resultados apurados na comercialização dos produtos e subprodutos de nióbio para o estado de Minas Gerais, deveria ser visto como um referencial para o aproveitamento de outros bens minerais.

2) bens minerais com produção insuficiente para nossa indústria:

Potássio: as substâncias necessárias para a fabricação de fertilizantes e corretivos de solo são de grande importância, em especial o NPK que, atualmente, garante parcela significativa da grande agricultura brasileira. O PNM – 2030 define ações no sentido de reduzir a importação que, em 2013, chegou a US\$ 3,325 bilhões. Além disso, é fundamental a regularização da Lei nº 12.890/2013, que inclui rochas e minerais na categoria de insumos destinados à agricultura, o que reduziria ou substituiria o consumo dos fertilizantes NPK em muitas regiões do país;

Carvão mineral: a história geológica do Brasil não permitiu a formação de grandes depósitos de carvão mineral metalúrgico, cuja importação implica expressivos gastos para o Brasil (US\$ 3,06 bilhões em 2013). O aproveitamento de carvão mineral pelas usinas termelétrica viabiliza a instalação de indústrias que utilizem seus subprodutos como insumos para a produção de cimento, fertilizante e vapor. O aproveitamento de gás carbônico das minas em atividade ou abandonadas e dos rejeitos são alternativas que devem ser realizadas de maneira a garantir o desenvolvimento sustentável das regiões mineradoras.

3) bens minerais cuja demanda tende a crescer muito no futuro:

Terras-raras: diversas iniciativas públicas e privadas têm sido efetivadas para o aproveitamento de elementos de terras-raras conhecidas em muitos depósitos no Brasil. Destacam-se as concentrações dessas substâncias nas minas em atividade, como em Araxá (MG), Catalão (GO) e Pitinga (AM), pois o material a ser beneficiado faz parte do minério atualmente aproveitado. O desafio para a entrada no mercado mundial, dominado por produtores chineses, é conseguir estabelecer uma rota na cadeia produtiva que

articule produtores do minério, refinadores e fabricantes dos produtos comercializados, o que está sendo encaminhado por diferentes iniciativas público-privadas;

Lítio: nos últimos anos, consolidou-se o aproveitamento de compostos químicos de lítio para a fabricação de baterias para telefones, computadores e outros equipamentos portáteis. Também as baterias para veículos elétricos utilizam o lítio como matéria-prima. A produção e comércio de lítio no Brasil mantêm uma legislação diferenciada em relação aos outros bens minerais.

COMO CONCLUSÃO

Considera-se que o governo federal deve reforçar a presença do Estado na gestão dos bens minerais do país, sem o autoritarismo dos governos militares nem a omissão do Estado, como aconteceu nos governos de 1985 a 2002. Para isso, é fundamental:

- cumprimento e revisão periódica das ações previstas no Plano Nacional de Mineração – 2030, rediscutindo com todos os interessados os objetivos estratégicos e as ações;
- aprovação do novo modelo para a mineração, proposto no PL 5807/2013, após consolidar as discussões com todos os interessados;
- discussão, aprovação e implementação de planos estaduais de mineração de longo prazo, como fez o estado do Pará, lançando, nesse ano, o Plano Estadual de Mineração 2014-2030;
- fortalecimento do sistema geológico, mineiro e de pesquisa científica e tecnológica mineral nos estados da federação e sua articulação com os órgãos federais.

BIBLIOGRAFIA

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Plano Nacional de Mineração – 2030**. Brasília: SGM, 2011.

_____. **Sinopse Mineral**. Brasília: SGM, 2013.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **Sumário Mineral 2013**.

LINS, F. A. F. Grupo de Trabalho Interministerial MME-MCT Minerais Estratégicos. **I Seminário Brasileiro de Terras-Raras**, Rio de Janeiro, 2011.

MORAES, L.J. **Minerais estratégicos**. Ministério da Agricultura DNPM. Avulso 45. Rio de Janeiro, 1940.

PEREIRA DA SILVA, O. **A mineração em Minas Gerais: passado, presente e futuro.** Belo Horizonte, Geonomos 3(1): 77-86, 1995.

SCLIAR, C. **Minerais e rochas. Base material da Aventura humana.** Belo Horizonte, Editora Legado, 2013.

_____. **Geopolítica das minas do Brasil.** Rio de Janeiro: Editora Revan, 1996.

A terceira edição da série Estudos Estratégicos traz uma análise das políticas públicas do Brasil na área de pesquisa, exploração e beneficiamento de minerais estratégicos, em um contexto que tem a China como país dominante desse mercado. A publicação expõe as principais aplicações desses minerais na indústria tecnológica, a exemplo da produção de turbinas eólicas, células fotovoltaicas, *smartphones*, aviões de caça, sistemas de controle de mísseis e satélites. O estudo aponta, ainda, caminhos para que o Brasil amplie a pesquisa, a produção e, principalmente, a agregação de valor aos minerais estratégicos, de modo que esses bens venham a ter grande relevância no desenvolvimento econômico e social do País.

Consultoria
Legislativa

Centro de
Estudos e Debates
Estratégicos



CÂMARA DOS
DEPUTADOS



Conheça outros títulos da série Estudos Estratégicos
na página do Centro de Estudos e Debates Estratégicos: www.camara.leg.br/cedes
ou na página da Edições Câmara, no portal da Câmara dos Deputados:
www.camara.leg.br/editora