

PERSPECTIVAS ESTRATÉGICAS SOBRE A EXPLORAÇÃO DE TERRAS RARAS NO BRASIL

Strategic Perspectives on the Exploitation of Rare Earth Elements in Brazil

Breno Ricardo de Araújo Leite¹
Gilberto Mohr Corrêa²
Renato de Lima Santos³
Vladimir Minas⁴
Francisco Cristovão Lourenço de Melo⁵

Resumo

O mercado de terras raras é altamente estratégico e tem sido dominado pela China, tanto no aspecto de reservas minerais quanto na exploração do produto. O Brasil já foi líder do mercado, passou ao longo dos últimos anos por inexpressiva presença nesse campo, mas hoje conta com a segunda maior reserva do mundo, além de um corpo técnico-científico especializado na área. Apesar disso, não tem aproveitado as oportunidades para desenvolver todo seu potencial. O objetivo desse estudo é, portanto, desenvolver linhas estratégicas de ação, dos pontos de vista político, econômico e científico, sob o enfoque do planejamento estratégico, para viabilizar a exploração de terras raras no Brasil. A metodologia utilizada no trabalho foi a Análise SWOT, que apresentou como resultado doze objetivos estratégicos, que foram delineados após a análise dos ambientes interno e externo. Concluiu-se que o Brasil possui vários pontos favoráveis e o momento é muito oportuno para que ele se torne um importante *player* a nível mundial no mercado de terras raras.

Palavras-chave: Análise SWOT. Planejamento Estratégico. Potencial Brasileiro.

¹ Pesquisador do Instituto de Estudos Avançados (IEAV) do Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), ocupando o cargo de Chefe da Coordenadoria de Gestão da Inovação. Possui graduação em Ciências Aeronáuticas pela Academia da Força Aérea (AFA) (2001). Pós-Graduação em Geoprocessamento pela Universidade de Brasília (UNB) (2010) e em Gestão Pública pela Universidade da Força Aérea (UNIFA) (2012).

² Mestrando em Ciências e Tecnologias Espaciais no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). Possui graduação em Engenharia Mecânica - Ênfase em Mecânica Plena - pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Trabalha como engenheiro no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (IFI/DCTA), no Comando da Aeronáutica, atuando com acordos internacionais de compensação comercial, industrial e tecnológica (offset) da Aeronáutica.

Abstract:

The rare earth market is highly strategic and has been dominated by China, both the aspect of mineral reserves as on product marketing. Brazil was the market leader in past, has undergone over the recent years by inexpressive presence in this field, but now has the second largest reserves in the world, besides a technical-scientific body in this area. On the other hand, it has not taken advantage of the opportunities to develop its full potential. The aim of this study is to develop strategic lines of action, from a political, economic and scientific point of view, under the focus of strategic planning, to enable exploration of rare earths in Brazil. The methodology used is the SWOT analysis, which featured as result twelve strategic objectives, which were delineated after the analysis of the internal and external environments. The conclusion was that Brazil has several favorable points and the timing is very appropriate for it to become an important global player in the market of rare earths.

Keywords: SWOT Analysis. Strategic Planning. Brazilian Potential.

Introdução

Os elementos conhecidos como Terras Raras (ETR) são minerais não ferrosos que incluem dezessete variedades de elementos químicos e receberam esse nome por se apresentarem na natureza misturados aos óxidos (terra) e por serem de difícil extração e pequena concentração (MARTINS; ISOLANI, 2005).

Eles possuem configurações eletrônicas e propriedades magnéticas e espectroscópicas únicas e diferenciadas, fatores que os tornaram componentes obrigatórios em muitos equipamentos, principalmente aqueles de grande valor agregado e tecnologia, por isso sua importância tem aumentado vertiginosamente (MARTINS; ISOLANI, 2005).

³ Mestre em Ciências pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA (2011). Graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (1991) e Graduação em Direito pela Faculdades Metropolitanas Unidas - FMU (1998). Pós-Graduação em Ciências da Computação pela Universidade Presbiteriana Mackenzie (1993) e Pós-Graduação em Sistemas de Informação pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU (2006). Professor técnico do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza nas áreas de Eletrônica e Automação Industrial. Tecnologista Pleno do Instituto de Fomento e Coordenação Industrial, órgão do Comando da Aeronáutica.

Desde o final do século passado, a China tem dominado amplamente esse mercado, pois possui as maiores reservas globais e desenvolveu as tecnologias necessárias para criar uma cadeia produtiva eficiente para extrair e beneficiar os ETR, o que possibilitou manipular o valor de mercado para desencorajar o investimento em outros países e criar uma dependência do produto chinês (HUMPHRIES, 2010).

Alguns países já despertaram para essa realidade e estão buscando alternativas para os ETR, pois a expectativa é a escassez do produto nas indústrias de tecnologia, nos próximos cinco anos, pois a demanda está crescendo numa taxa maior do que a oferta (ROCIO et al., 2012).

O Brasil já teve uma indústria de extração de ETR no passado, mas essa foi sufocada pela manipulação chinesa. Além disso, recentemente foram descobertos indícios de grandes reservas de ETR no país, mas ainda não estão totalmente mapeadas. Importante ressaltar também a existência no Brasil de recursos humanos e laboratoriais que têm se dedicado ao estudo dos ETR, principalmente em relação aos processos de enriquecimento e melhoramento da pureza do produto, o que naturalmente vai aumentar seu valor agregado (MARTINS et al., 2014).

Com base nos argumentos expostos acima, a hipótese investigada nessa pesquisa diz respeito ao potencial do Brasil para se tornar um importante agente, no cenário mundial, para a exploração e a comercialização dos ETR. A investigação e a análise foram conduzidas sob o enfoque do planejamento estratégico.

O objetivo do artigo é, portanto, desenvolver linhas estratégicas de ação, do ponto de vista político, econômico e científico, para viabilizar exploração de terras raras no Brasil.

⁴ Graduado em Administração pela Universidade Estadual de Londrina (2000). Analista em ciência e tecnologia no Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Tem experiência na área de Acordos de Compensação (Offset) e Cooperação Industrial, Negociação de Contratos Internacionais e Acompanhamento e Controle de Projetos.

⁵ Professor colaborador do Instituto Tecnológico de Aeronáutica no Programas de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Espacial (CTE/ITA). Doutorado em Tecnologia Nuclear pela Universidade de São Paulo (1994). Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (1989). Graduado em Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos (1985). Pesquisador Titular do Instituto de Aeronáutica e Espaço.

Referencial Teórico

Elementos Terras Raras (ETR) são minerais não ferrosos que incluem dezessete elementos químicos da tabela periódica, compostos pelos quinze lantanídeos, além do escândio e do ítrio (Figura 1). Foram chamados assim por se apresentarem na natureza misturados aos óxidos (terra), mas o termo “raras” é utilizado de forma imprecisa, pois tais elementos são mais abundantes na crosta terrestre do que um terço dos elementos naturais, apesar de serem de difícil extração e pequena concentração (MARTINS; ISOLANI, 2005).

1	2											13	14	15	16	17	18
H 1,008 Hidrogênio	He 4,003 Hélio											B 10,811 Boro	C 12,011 Carbono	N 14,007 Nitrogênio	O 15,999 Oxigênio	F 18,998 Fluoreto	Ne 20,180 Neônio
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
Li 6,941 Lítio	Be 9,012 Berílio	Sc 44,956 Escândio	Ti 47,88 Titânio	V 50,942 Vanádio	Cr 52,004 Cromo	Mn 54,938 Manganês	Fe 55,845 Ferro	Co 58,933 Cobalto	Ni 58,693 Níquel	Cu 63,546 Cobre	Zn 65,38 Zinco	Ga 69,723 Gálio	Ge 72,630 Germânio	As 74,922 Arsênio	Se 78,971 Selênio	Br 79,904 Bromo	Kr 83,80 Crom
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Na 22,990 Sódio	Mg 24,305 Magnésio	Y 88,906 Ítrio	Zr 91,224 Zircônio	Nb 92,906 Níbio	Mo 95,94 Molibdênio	Tc 98,906 Técnetio	Ru 101,07 Ródio	Rh 102,91 Ródio	Pd 106,42 Paládio	Ag 107,87 Prata	Cd 112,41 Cádmio	In 114,82 Índio	Sn 118,71 Estanho	Sb 121,76 Antimônio	Te 127,60 Telúrio	I 126,90 Iodo	Xe 131,29 Xenônio
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
K 39,098 Potássio	Ca 40,078 Cálcio	Sc 44,956 Escândio	Ti 47,88 Titânio	V 50,942 Vanádio	Cr 52,004 Cromo	Mn 54,938 Manganês	Fe 55,845 Ferro	Co 58,933 Cobalto	Ni 58,693 Níquel	Cu 63,546 Cobre	Zn 65,38 Zinco	Ga 69,723 Gálio	Ge 72,630 Germânio	As 74,922 Arsênio	Se 78,971 Selênio	Br 79,904 Bromo	Kr 83,80 Crom
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Rb 85,468 Rubídio	Sr 87,62 Estrôncio	Y 88,906 Ítrio	Zr 91,224 Zircônio	Nb 92,906 Níbio	Mo 95,94 Molibdênio	Tc 98,906 Técnetio	Ru 101,07 Ródio	Rh 102,91 Ródio	Pd 106,42 Paládio	Ag 107,87 Prata	Cd 112,41 Cádmio	In 114,82 Índio	Sn 118,71 Estanho	Sb 121,76 Antimônio	Te 127,60 Telúrio	I 126,90 Iodo	Xe 131,29 Xenônio
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Cs 132,905 Césio	Ba 137,327 Bário	La 138,905 Lantânio	Ce 140,12 Cério	Pr 140,908 Praseodímio	Nd 144,24 Neodímio	Pm 144,913 Promécio	Sm 150,36 Samarco	Eu 151,964 Európio	Gd 157,25 Gadolínio	Tb 158,925 Terbópio	Dy 162,50 Díscio	Ho 164,930 Hólio	Er 167,259 Erbópio	Tm 168,930 Tulio	Yb 173,054 Ítrio	Lu 174,967 Lutécio	Rn 222 Radônio
119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136
Fr 223 Frâncio	Ra 226 Rádio	Ac 227 Actínio	Th 232 Tório	Pa 231 Protactínio	U 238 Urânio	Np 237 Neptúncio	Pu 244 Plutônio	Am 243 Americônio	Cm 247 Curcópio	Bk 247 Berkelópio	Cf 251 Califórnia	Es 252 Einsteinópio	Fm 257 Fermópio	Md 288 Mendelevópio	No 289 Nobelópio	Lr 260 Lawrêncio	

Figura 1. Tabela periódica, com destaque para os ETR

Os elementos mais leves, como lantânio, cério, praseodímio e neodímio são os mais abundantes e concentrados, correspondendo a 80% dos depósitos. Os mais pesados, como o gadolínio, lutécio e ítrio são menos abundantes e mais valiosos. Os elementos estão presentes em uma ampla gama de minerais, porém somente alguns poucos permitem a exploração, como a monazita, bastnaesita, xenotímio e argilas especiais (LIMA, 2012a).

Devido suas propriedades químicas, magnéticas e luminescentes diferenciadas, hoje seus usos mais comuns são: 40% em pesquisa, 50% na medicina e farmácia, 10% na indústria. Os ETR estão presentes em vários produtos comerciais (Figura 2), como: carros, catalisadores para refino de petróleo, televisores, monitores, celulares, laptops, baterias recarregáveis de carros híbridos e muitos equipamentos médicos (MORAES; PITTA; NOMELINE, 2013).



Figura 2. Principais aplicações dos ETR (Fonte: Adaptado de Jornal do Senado Federal).

Destaca-se o importante papel nas tecnologias relacionadas a energias limpas e controle de emissões atmosféricas, por exemplo, pois as cadeias produtivas são fortemente dependentes de ETR, essenciais na fabricação de ímãs permanentes, usados em turbinas eólicas e veículos elétricos, baterias avançadas, utilizadas em veículos elétricos, semicondutores filmes-finos, usados em sistemas de energia fotovoltaica, fósforos, utilizados em sistemas de iluminação mais eficientes, catalisadores utilizados no refino do petróleo e nos sistemas de exaustão de veículos (LIMA, 2012b).

O uso na indústria de Defesa é estratégico, em especial pelos ímãs permanentes contendo ligas com ETR, pois são considerados os mais fortes do mundo e são essenciais para muitas tecnologias militares, como na construção de motores a jato, sistema de guiamento de mísseis e bombas inteligentes, lasers, sistema de defesa antimíssil, satélites espaciais e sistemas de comunicação (HUMPHRIES, 2012). Estes aspectos deixam bastante claro a forte relação existente entre os ETR e a indústria de alta tecnologia e, não por acaso, o Japão é o principal importador de matéria-prima, seguido pelos EUA (LIMA, 2012a).

A partir da segunda metade do século XX, a China assumiu uma posição extremamente dominante no mercado de produção de terras raras e hoje conta com as maiores reservas do mundo (42%) e a maior produção também (86%) (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2015).

Devido ao plano estratégico estabelecido pelo país em meados de 1990, que incluiu investimentos em pesquisa em universidades, desenvolvimento de tecnologias para a extração e políticas de proteção, a China controlou o mercado com preços baixos, tornando pouco interessante para os demais países investir nessa área (Figura 3). Importante ressaltar também o aspecto dos problemas ambientais gerados pela extração de ETR, uma preocupação constante dos países produtores, mas não tão presente no governo Chinês (NAUMOV, 2008; ROCIO et al., 2012).



Figura 3. Produção mundial de ETR (Fonte: Adaptado de Jornal do Senado Federal).

A partir de 2006, a China passou a aplicar cotas de exportação (embargo), que elevaram sobremaneira o preço dos ETR, principalmente em 2011 (Figura 4), diminuindo a oferta no mercado e criando um estado alarmante para os países que dependem dessas matérias primas, em especial Japão e Estados Unidos da América (EUA), que resolveram investir nessa área para não depender do produto chinês. Os EUA estão investindo na extração no próprio país e o Japão, por não possuir reservas, está investindo em outros países (TEIXEIRA, 2012).

O mercado internacional é monopolizado pela China. Os valores aumentaram vertiginosamente quando o país limitou as exportações de terras-raras (US\$/kg)

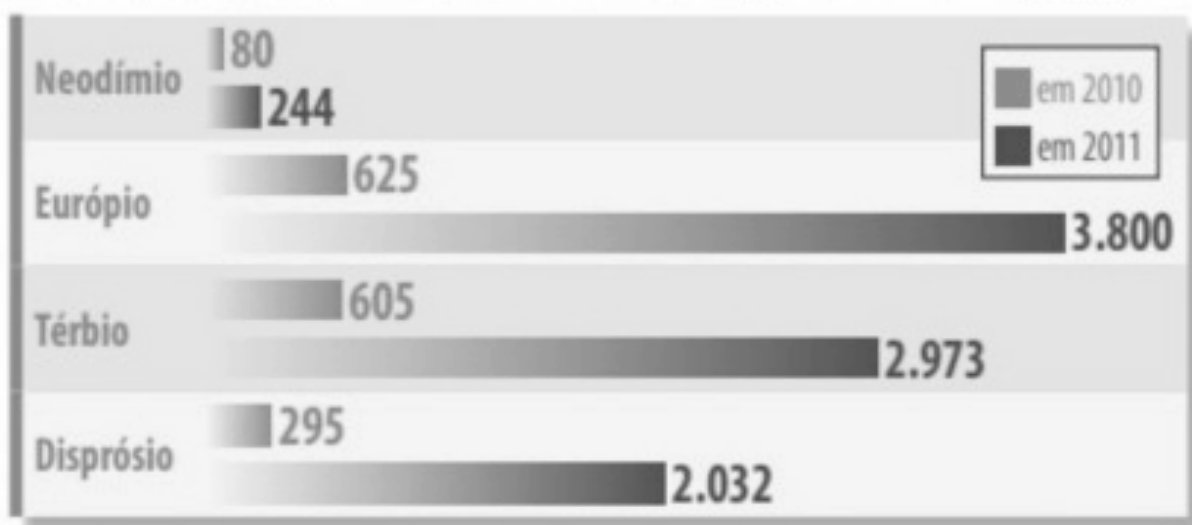


Figura 4. Escalada dos preços dos ETR (Fonte: Adaptado de Jornal do Senado Federal).

Devido ao aumento crescente na demanda (cerca de 8% ao ano) e intervalo de tempo necessário para que outras minas entrem em operação, se estima que a oferta de ETR não seja suficiente para atender a demanda em curto prazo (ROCIO et al., 2012). No século XXI, o consumo de terras raras aumentou cerca de três vezes com a introdução de novos produtos no mercado (LIMA, 2012a) e os preços dos ETR sofreram um aumento significativo, que em alguns casos chegou a 600% (TEIXEIRA, 2012).

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), até 2012 o Brasil não apresentava grandes reservas de ETR em exploração, entretanto possuía depósitos com grande potencial de se tornarem produtores de minerais (Figura 5). Eles concentravam-se principalmente na costa, sob a forma de areia monazítica, no sul da Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro, mas também eram encontrados em aluviões fluviais, principalmente no Vale do Sapucaí (MG) e nos complexos alcalinos de Araxá (MG), Catalão (GO) e Seis Lagoas (AM) (LIMA, 2012a).



Figura 5. Reservas de ETR no Brasil (Fonte: Adaptado de Jornal do Senado Federal).

O Brasil iniciou a produção de ETR por meio de empresas que surgiram no final da década de 1940, como a Usina de Praia (Buena-RJ), que se encarregava de produzir a monazita e a Usina de Santo Amaro (São Paulo-SP), que era responsável pelo tratamento químico da monazita e a produção de compostos e óxidos de terras raras. Em 1989 foi inaugurada a Usina de Interlagos (São Paulo-SP), que aprimorou o processo produtivo, usando extração por solventes. Por último, em 2004, entrou em funcionamento a Unidade de Caldas (Poços de Caldas-MG), onde foram processadas 300 toneladas de monazita. Após essa campanha, foi realizada uma avaliação econômica e decidiu-se pelo encerramento da atividade. Desta forma, em 2005, foi encerrada no Brasil a atividade de produção desses compostos (ROSENTAL, 2008).

Nessa época, o Brasil havia alcançado grandes avanços no beneficiamento dos ETR, desenvolvendo tecnologias para melhorar a qualidade e aumentar o valor agregado, o que culminou com um processo de obtenção de óxidos individuais de terras raras em elevados graus de pureza e compostos de alta concentração como o carbonato de lantânio, concentrado de didímio (praseodímio e neodímio), carbonato de neodímio, carbonato e óxido de samário, concentrado de gadolínio e európio, entre outros (LIMA, 2012a).

Apesar do encerramento das atividades produtivas, o Brasil ainda possui recursos humanos estratégicos no país, uma herança que está relacionada à área nuclear, devido à relação da monazita explorada no Brasil com materiais radioativos. Estima-se que existam hoje 495 especialistas, 49 instituições e 113 grupos de pesquisa que atuam em desenvolvimentos tecnológicos relacionados à cadeia produtiva de ETR e suas aplicações, o que representa um conjunto de 260 linhas de pesquisa diretamente relacionadas ao tema abordado (MORAES; PITTA; NOMELINE, 2013).

Destaca-se aqui o caráter inovativo do Processo Atômico de Separação Isotópica a Laser (PASIL), que é um projeto estratégico do Estado-Maior da Aeronáutica, sob responsabilidade do Instituto de Estudos Avançados e visa desenvolver uma metodologia para extrair dos ETR somente os isótopos de interesse, com o uso de ablação a laser, um processo que possui um impacto ambiental muito menor do que os métodos tradicionais (DESTRO et al., 2014). Estima-se que num futuro próximo os isótopos podem assumir algumas aplicações hoje dedicadas aos elementos puros, devido, principalmente, ao ganho na eficiência e redução da massa e volume de material utilizado.

Recentemente foram confirmados novos depósitos de ETR no Brasil (Tabela 1), que tornaram o país possuidor da segunda maior reserva do mundo (16,21% das reservas mundiais), atrás apenas da China (ANDRADE, 2014).

ESTIMATIVA REFERENTE AO ANO DE 2013	
PAÍSES	RESERVAS (10 ³ t)
China	55.000
Brasil	22.000
Estados Unidos da América	13.000
Índia	3.100
Austrália	2.100
Malásia	30
Outros Países	41.000
TOTAL	136.230

Tabela1. Reserva Global de ETR (Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral).

Esse feito foi alcançado no final de 2012, após o DNPM aprovar novas reservas lavráveis, localizadas em Itapirapuã Paulista-SP, Araxá-MG, Poços de Caldas-MG e São Gonçalo do Sapucaí-MG. (ANDRADE; ARCOVERDE, 2013). Inclusive, cabe ressaltar que a exploração em Araxá-MG está em plena atividade, com o novo processo de extração proposto pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM).

A CBMM é a maior produtora de Nióbio no mundo, sendo responsável por 80% da produção mundial do minério, mas a partir de 2011 ampliou suas pesquisas para investigar se havia algum potencial econômico no Passivo Ambiental, ou seja, no subproduto gerado com a extração do Nióbio (VILLELA, 2015).

Em pouco tempo, descobriu-se que esse subproduto possuía alta concentração de ETR e as pesquisas avançaram com o intuito de desenvolver técnicas para a separação desses elementos. A partir do final de 2014, a CBMM iniciou a produção em escala industrial (cerca de um mil toneladas por ano), já sendo capaz de gerar óxidos com elevada concentração dos elementos mais leves: Lantânio, Cério, Praseodímio e Neodímio (VILLELA, 2015).

Métodos Experimentais

De acordo com as definições de Gil (2010), esta pesquisa foi classificada, com base em seus objetivos, como exploratória, haja vista que procedeu a uma investigação sobre o potencial do Brasil para se tornar um importante agente, no cenário mundial, para a exploração e a comercialização das ETR, assunto no qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado.

Igualmente, de acordo com o mesmo autor, os procedimentos técnicos utilizados para coleta dos dados foram pesquisa bibliográfica e documental, pois tanto o material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos, quanto os materiais que não receberam ainda um tratamento analítico, como relatórios e manuais institucionais, foram elencados durante a coleta documental. Também foram realizadas entrevistas com diversos especialistas ligados às áreas correlatas, principalmente para apreciação dos aspectos levantados durante a coleta de dados (GIL, 2010).

Esta pesquisa baseou-se na abordagem contingencial que, segundo Chiavenato e Sapiro (2003), trouxe novos ares para a estratégia organizacional. Esta pressupõe que, em primeiro lugar, a estratégia deixa de ser um processo formal, rígido e sequencial que seguia etapas preestabelecidas a fim de definir os meios necessários para alcançar os objetivos. Ela passa a ser um comportamento global e contingente em relação aos eventos ambientais.

Em segundo lugar, ela deixa de ser uma ação organizacional unilateral, pura e simples, para tentar compatibilizar todas as condições internas da organização às condições externas e ambientais, para definir alternativas de comportamento da organização no sentido de tirar vantagens das circunstâncias e evitar possíveis ameaças ambientais.

De acordo com Chiavenato e Sapiro (2003), as mais importantes abordagens contingenciais à estratégia organizacional são: a escola ambiental, a escola do posicionamento e a escola do *design*, na qual está enquadrada esta pesquisa.

A escola do *design* traz a abordagem mais influente sobre o processo de formação da estratégia organizacional. É também chamada abordagem de adequação, pois procura compatibilizar aspectos internos da organização e aspectos externos do ambiente (CHIAVENATO; SAPIRO, 2003).

Nesta escola, a formulação da estratégia funciona como um processo de concepção, ou seja, como um processo deliberado de pensamento consciente voltado para objetivos previamente definidos, tendo como premissas básicas:

a. Mapeamento ambiental. O modelo começa com um diagnóstico externo para verificar as oportunidades (que devem ser exploradas) e as ameaças ambientais (que devem ser neutralizadas). Em suma, o que existe no ambiente.

b. Avaliação interna da organização. A seguir faz-se um diagnóstico interno para verificar os pontos fortes (que devem ser ampliados) e os pontos fracos (que devem ser corrigidos ou melhorados) da organização. Em suma, o que existe na organização.

Dessa forma, por meio do mapeamento ambiental e da análise interna, é possível estabelecer a análise SWOT, que será discutida a seguir. Ainda, são premissas da escola de *design*, a compatibilização e a definição da estratégia organizacional.

c. Compatibilização. Feito esse duplo diagnóstico passa-se à prescrição, ou seja, a maneira de compatibilizar os aspectos internos (endógenos) com os aspectos externos (exógenos) da melhor maneira possível.

d. Definição da estratégia organizacional. Finalmente, a ação, ou seja, a mudança estratégica. Assim, a estrutura organizacional, a cultura, os produtos e serviços, os processos internos seguem a estratégia que proporciona a viga mestra da organização e os rumos que essa deverá seguir no longo prazo.

A análise SWOT foi desenvolvida pela escola do *design*, do grupo de administração geral da Harvard Business School. O modelo proposto pela escola é a formulação de estratégia que busque atingir uma adequação entre as capacidades internas e as possibilidades externas. A palavra SWOT é um acrônimo formado pelas palavras inglesas: *Strengths* (forças ou pontos fortes), *Weaknesses* (fraquezas ou pontos fracos), *Opportunities* (oportunidades) e *Threats* (ameaças). As forças e as fraquezas são relacionadas ao ambiente interno e as oportunidades e as ameaças estão ligadas ao ambiente externo, conforme pode ser observado pela Figura 6 (TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO, 2003).

	AMBIENTE INTERNO	AMBIENTE EXTERNO	
+	Forças	Oportunidades	+
	Pontos fortes – as características positivas internas que uma organização pode explorar para atingir as suas metas. Referem-se às habilidades, capacidades e competências básicas da organização que atuam em conjunto para ajudá-la a alcançar suas metas e objetivos. Ex.: equipe altamente capacitada, tecnologia avançada, adaptabilidade às mudanças.	Características do ambiente externo, não controláveis pela organização, com potencial para ajudá-la a crescer e atingir ou exceder as metas planejadas. Ex.: novos clientes, disponibilidade de novos canais de divulgação/distribuição, ampliação do escopo de atuação.	
-	Fraquezas	Ameaças	-
	Pontos fracos – as características negativas internas que podem inibir ou restringir o desempenho da organização. Referem-se à ausência de capacidades e/ou habilidades críticas. São, portanto, deficiências e características que devem ser superadas ou contornadas para que a organização possa alcançar o nível de desempenho desejado. Ex.: sistemas de informação obsoletos, baixa capacidade inovadora.	Características do ambiente externo, não controláveis pela organização, que podem impedi-la de atingir as metas planejadas e comprometer o crescimento organizacional. Ex.: surgimento de produtos equivalentes, restrições orçamentárias, novos concorrentes no mercado, dispersão geográfica da clientela.	

Figura 6. Análise do Ambiente Interno e Externo.

(Fonte: Adaptado de Tribunal de Contas da União).

Existem diversas ferramentas que podem ser utilizadas para organizar essa etapa do trabalho, de forma a possibilitar a listagem dos principais fatores relacionados aos aspectos internos e externos que influenciam na estratégia da organização, tais como *brainstorming*, técnica do grupo nominal, grupo focal, questionários ou entrevistas (COSTA, 2007).

As informações disponibilizadas devem ser recentes e isentas. As fontes devem ser idôneas e desprovidas de preconceitos ou influências que possam distorcer a análise. É muito importante a participação da direção nessa etapa, visto que possuem visão global da instituição, mas outros membros de outros setores também podem ser convidados, pois estes podem contribuir com pontos de vistas diferentes, inerentes de pessoas que estão imersas em ambientes específicos da empresa (COSTA, 2007).

O segundo passo é ordenar os itens apontados para cada fator analisado, do mais importante para o menos importante. Esse trabalho também pode ser realizado em grupo e, neste caso, é desejável que se busque o consenso na hora de hierarquizar os itens, mas também pode ser feito individualmente e utiliza-se a média obtida com os valores indicados por cada avaliador.

A etapa seguinte é a compatibilização, que visa construir e validar uma matriz, relacionando os pontos internos e externos, dois a dois, para identificação de aspectos críticos e de situações que exijam uma atenção especial.

Essa matriz será utilizada na definição da estratégia operacional e tem como objetivos: verificar a capacidade de sustentação, estabelecer o controle de ameaças, assegurar e fortalecer as condições de operacionalidade, focar no aproveitamento de oportunidades e determinar o risco envolvido de acordo com o grau de vulnerabilidade imposto pelas ameaças (COSTA, 2007).

Existem várias propostas diferentes quando se trata da compatibilização dos fatores que compõe a matriz, com a utilização de escalas de valores e pesos específicos para cada situação, mas nessa pesquisa optou-se por atribuir o grau de importância numa escala de 1 a 5, sendo o 1 o menos importante e o 5 o mais importante, para depois efetuar a multiplicação dos fatores do ambiente interno (forças e fraquezas) pelos fatores do ambiente externo (oportunidades e ameaças), com o intuito de traçar quatro estratégias diferentes, como apontadas abaixo e retratadas na Figura 7.

1 - Estratégias SO – Usar forças para obter vantagens competitivas, aproveitando bem as oportunidades (Alavancagem);

2 - Estratégias ST – Usar forças para conter ameaças (Vulnerabilidades);

3 - Estratégias WO – Aproveitar oportunidades superando fraquezas (Limitações); e

4 - Estratégias WT – Administrar fraquezas para conter ameaças (Problemas).

	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
PFORTES	Alavancagem	Vulnerabilidade
PFRACOS	Limitações	Problemas

Figura 7. Compatibilização na Matriz SWOT, após a multiplicação dos fatores, dois a dois, para gerar as quatro estratégias distintas. Fonte: Adaptada de Costa (2007).

A última fase consiste em traçar os objetivos estratégicos e o plano de ação para o objeto que foi alvo da análise, de forma a consolidar um planejamento estratégico, podendo incluir o estabelecimento de metas de melhoria dos itens que tenham sido considerados prioritários e de baixo desempenho ou metas relacionadas à forma de atuação no que diz respeito ao aproveitamento de oportunidades e ações que serão importantes para evitar os efeitos de eventuais ameaças, como também identificar os elementos chave para a gestão da empresa, permitindo estabelecer prioridades de atuação, além de preparar opções estratégicas, pois se sabe claramente quais são os riscos a ter em conta e quais os problemas a resolver, assim como as vantagens e as oportunidades a potencializar e explorar (COSTA, 2007).

Resultados e Discussão

A matriz gerada pelo método SWOT permitiu realizar uma análise do ambiente interno e também do ambiente externo do Brasil, com foco na exploração de Terras Raras, confrontando as oportunidades e ameaças com os pontos fortes e fracos, que estão dispostos na Tabela 2. Esses apontamentos foram definidos como sendo os mais relevantes, tendo como base toda a documentação a que os autores tiveram acesso, conforme disposto nas referências bibliográficas do trabalho.

PONTOS FORTES	PONTOS FRACOS
Novas reservas / Segunda maior mundo	Custo Brasil
Competência Técnico-Científica	Atual crise econômica nacional
Presença de grandes empresas de mineração	Aposentadoria recursos humanos
Mercado consumidor interno	Infraestrutura de transporte
OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
Demanda mundial continuar a aumentar	Impacto ambiental (ambientalistas)
Viabilidade econômica – preço dos ETR	Materiais substitutos aos ETR
Parcerias com outros países	Austrália e Índia – opções invest. estrang.
Empresas Público-Privadas	Reação chinesa inibindo invest. Brasil

Tabela 2. Principais aspectos identificados pela Matriz SWOT.

Esta tabela foi submetida à apreciação de diversos especialistas, principalmente ligados às áreas de Óptica e Laser (separação isotópica), Engenharia de Materiais, exploração e separação de terras raras, inovação, propriedade intelectual e outros do setor aeroespacial, que pontuaram cada um desses fatores numa escala de 1 a 5, considerando o 1 como o menos importante e o 5 como sendo o mais importante. O resultado pode ser observado na Tabela 3.

PONTOS FORTES	MÉDIA	PONTOS FRACOS	MÉDIA
Novas reservas / 2º maior mundo	5,0	Custo Brasil	5,0
Competência Técnico-Científica	4,2	Atual crise econômica nacional	2,6
Presença grandes emp. mineração	3,8	Aposentadoria recursos humanos	3,4
Mercado consumidor interno	2,6	Infraestrutura de transporte	2,2
OPORTUNIDADES	MÉDIA	AMEAÇAS	MÉDIA
Demanda mundial aumentar	5,0	Impacto ambiental	2,2
Viabilidade econômica – preço	2,2	Materiais substitutos aos ETR	4,2
Parcerias com outros países	2,6	Austrália e Índia – opções invest.	1,8
Empresas Público-Privadas	3,4	Reação chinesa inibindo invest.	3,4

Tabela 3. Pontuação de cada aspecto identificado pela Matriz SWOT.

Em seguida, foi feita a compatibilização, ou seja, a multiplicação dos Pontos Fortes pelas Oportunidades (Alavancagem) e pelas Ameaças (Vulnerabilidade) e também dos Pontos Fracos pelas Oportunidades (Limitações) e Ameaças (Problemas), gerando a matriz SWOT (Tabela 4).

ALAVANCAGEM					VULNERABILIDADE				
	OPORTUNIDADES					AMEAÇAS			
PONTOS FORTES	OP1	OP2	OP3	OP4	PONTOS FORTES	AM1	AM2	AM3	AM4
FOR1	25	11	13	17	FOR1	11	21	9	17
FOR2	21	9	11	14	FOR2	9	18	8	14
FOR3	19	8	10	13	FOR3	8	16	7	13
FOR4	13	6	7	9	FOR4	6	11	5	9

LIMITAÇÕES					PROBLEMAS				
	OPORTUNIDADES					AMEAÇAS			
PONTOS FRACOS	OP1	OP2	OP3	OP4	PONTOS FRACOS	AM1	AM2	AM3	AM4
FRA1	25	11	13	17	FRA1	11	21	9	17
FRA2	13	6	7	9	FRA2	6	11	5	9
FRA3	17	7	9	12	FRA3	7	14	6	12
FRA4	11	5	6	7	FRA4	5	9	4	7

Tabela 4. Resultado final da Matriz SWOT, depois da etapa de Compatibilização. Importante destacar que, em relação à Tabela anterior, o primeiro item dos Pontos Fortes foi tratado como FOR1, o primeiro dos Pontos Fracos como FRA1 e assim sucessivamente.

Esse resultado permitiu observações muito interessantes, em especial sobre os três itens que receberam nota máxima dos especialistas: Novas reservas / 2º maior mundo (Pontos Fortes), Demanda mundial continuar a aumentar (Oportunidades) e Custo Brasil (Pontos Fracos), mas não houve unanimidade em relação às Ameaças, tendo o item Materiais substitutos aos ETR recebido a nota mais alta.

Para traçar os objetivos estratégicos e definir um plano de ação, de forma a consolidar um planejamento estratégico, somente foram considerados os três cruzamentos da Matriz SWOT que receberam as notas mais altas, em cada quadrante, o que permitiu a formulação das seguintes estratégias:

1. Estratégias SO – Alavancagem

1.1 Estimular a atração de empresas de alta tecnologia baseadas em ETR, com foco em cadeias produtivas consideradas estratégicas, em especial daqueles países que enfrentam dificuldades para adquirir os insumos necessários para sua indústria, como o Japão, por exemplo;

1.2 Efetuar acordos internacionais para acessar tecnologias e parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas;

1.3 Promover políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva, de forma a incentivar o crescimento do mercado de extração, para aproveitar o potencial das novas reservas, bem como do beneficiamento dos ETR;

2. Estratégias ST – Vulnerabilidades

2.1 Mapear as ocorrências, confirmar as novas reservas e ampliar as existentes, de forma a obter o real dimensionamento dos depósitos brasileiros;

2.2 Providenciar arcabouço jurídico e legislação ambiental adequados, equilibrando a balança Exploração Mineral X Desenvolvimento Sustentável, para alcançar o mercado europeu e oferecer vantagens em relação ao produto chinês;

2.3 Implantar linhas de financiamento exclusivas para Pesquisa e Desenvolvimento na área de ETR, possibilitando o crescimento do valor agregado do produto (óxidos de elevada pureza, ligas metálicas, ímãs permanentes etc.);

3. Estratégias WO – Limitações

3.1 Estimular a formação de parcerias público-privadas, para incentivar o aparecimento de novas empresas do setor e “dividir” o risco de novos investimentos com as empresas;

3.2 Melhorar a infraestrutura de transporte, principalmente nas novas áreas de exploração (Goiás e Rondônia), onde se estima que estejam os maiores depósitos de ETR do país, de forma a possibilitar o seu escoamento;

3.3 Incentivar a Pesquisa e o Desenvolvimento de novas aplicações de ETR, com vistas a gerar demanda no mercado e dificultar o trabalho de substituição dos ETR por outros materiais. Especial atenção deve ser dada para os estudos envolvendo os isótopos, pois se abriria mercados totalmente novos, com foco na miniaturização e aumento da eficiência;

4. Estratégias WT – Problemas

4.1 Estimular a formação de RH na área de ETR e atrair de volta os pesquisadores que mudaram de área, com a criação de programa de bolsas especificamente sobre o tema, revitalização dos laboratórios e financiamento das pesquisas;

4.2 Definir quais são os minerais de maior importância estratégica para o Brasil e concentrar neles os esforços, com o intuito de verticalizar a cadeia produtiva; e

4.3 Fomentar a criação de parcerias entre as instituições científicas tecnológicas e as universidades que possuem linhas de pesquisa em ETR, promovendo a sinergia necessária para avançar em estudos ligados a temas estratégicos.

Considerações Finais

De acordo com as informações recolhidas no material bibliográfico consultado, ficou evidente que o Brasil possui vários pontos favoráveis para se tornar um importante *player* a nível mundial em Terras Raras, um mercado rentável e extremamente estratégico.

A expectativa é que esse mercado cresça cada vez mais, com o aumento da demanda pela chegada de novos produtos dependentes de Terras Raras e pela dificuldade em encontrar materiais substitutos para esses minerais.

O momento é muito oportuno para o Brasil adotar uma Política Estratégica, com o intuito de dominar toda a cadeia produtiva, da simples extração até a manufatura de produtos com alto valor agregado, bem como atrair investimentos internacionais e, principalmente, empresas que tragam novas tecnologias de ponta, fomentar a indústria e estabelecer um mercado consumidor interno forte, que demandará produtos com alta tecnologia, sendo fabricados no próprio país.

Referências

- ANDRADE, R. H. P. **Terras Raras - Sumário Mineral 2014**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, 2014.
- ANDRADE, R. H. P.; ARCOVERDE, W. L. Reavaliação das reservas de Terras Raras no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE TERRAS RARAS, 2., 2013. Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2013.
- CHIAVENATO, I.; SAPIRO, A. **Planejamento Estratégico: fundamentos e aplicações**. 1. ed. 13° tiragem. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003
- COSTA, E. A. **Gestão estratégica: da empresa que temos para a empresa que queremos**. 2. ed. São José dos Campos: Saraiva, 2007.
- DESTRO, M. G. et al. PASIL – Processo atômico de separação isotópica via laser. In: WORKSHOP ANUAL DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO IEAV, 14., 2014. São José dos Campos. *Anais...* São José dos Campos: Instituto de Estudos Avançados, 2014. p. 114.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- HUMPHRIES, M. **Rare Earth Elements: The Global Supply Chain**. Washington: Congressional Research Service, 2010.
- HUMPHRIES, M. **Rare Earth Elements: The Global Supply Chain**. Washington: Congressional Research Service, 2012.
- LIMA, P. C. R. **Terras-Raras: elementos estratégicos para o Brasil**. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2012.
- LIMA, P. C. R. **Tecnologias e Minerais para o Desenvolvimento Sustentável**. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2012.
- MARTINS, C.; LIMA, P. C. R.; TEIXEIRA, L. S.; QUEIROZ FILHO, A. P. **Minerais estratégicos e terras-raras**: Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2014. 241 p. – (Série estudos estratégicos; n. 3).
- MARTINS, T. S.; ISOLANI, P. C. Terras Raras: aplicações industriais e biológicas. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 111–117, 2005.
- MORAES, C. A. C.; PITTA, F. M.; NOMELINE, R. **Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012 - 2030**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013.

NAUMOV, A. V. Review of the World Market of Rare-Earth Metals. **Russian Journal of Non-Ferrous Metals**, v. 49, n. 1, p. 14–22, 2008.

ROCIO, M. A. R.; SILVA, M. M.; CARVALHO, P. S. L.; CARDOSO, J. G. R. Terras-raras: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, n. 35, p. 369–420, 2012.

ROSENTAL, S. Terras Raras. In: **Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2008. p. 817–840.

TEIXEIRA, L. **O Contencioso de Terras-Raras na Organização Mundial do Comércio**. Brasília: Consultoria Legislativa da Câmara dos Deputados, 2012.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Técnicas de Auditoria/ : análise SWOT e verificação de risco**. Brasília: Tribunal de Contas da União, 2003. 25 p.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral Commodity Summaries 2015**. Reston: U.S. Geological Survey, 2015.

VILLELA, M. **CBMM – pioneira no nióbio e agora também nas terras raras**. Disponível em: <<http://noticiasmineracao.mining.com/2015/06/19/cbmm-pioneira-no-niobio-e-agora-tambem-nas-terras-raras/>>. Acesso em: 23 out. 2015.