



Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil:

2012 - 2030





Uso e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030



Brasília – DF
2013

ISBN 978-85-60755-64-6

© Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)

Organização Social supervisionada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Presidente

Mariano Francisco Laplane

Diretor Executivo

Marcio de Miranda Santos

Diretores

Antonio Carlos Filgueira Galvão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Gerson Gomes

Edição / *Márcio Tadeu dos Santos*

Diagramação / *Camila Maia e Jussara Botelho*

Capa / *Diogo Moraes*

Projeto gráfico / *Núcleo de Design Gráfico CGEE*

Catálogo na fonte

C389u

Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030. Brasília:
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2013.

254 p.; il, 24 cm
ISBN 978-85-60755-64-6

1. Panorama Mundial. 2. Cenário Global. 3. Roadmap Estratégico.
4. Cadeia Produtiva. I. CGEE. II. Título.

CDU 546.65:[622+669](81)

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)
SCS Qd. 9, Torre C, 4º andar, Ed. Parque Cidade Corporate
CEP: 70308-200 - Brasília, DF
Telefone: (61) 3424.9600
www.cgee.org.br

Esta publicação é parte integrante das atividades desenvolvidas no âmbito do 2º Contrato de Gestão CGEE – 3º Termo Aditivo/Ação: Temas Estratégicos para o Desenvolvimento do Brasil /Subação: Estudos de Usos e Aplicações de Terras Raras - 51.51.9 /MCTI/2011.

Todos os direitos reservados pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.
Tiragem: 600 unidades. Impresso em 2013, Teixeira Gráfica e Editora.



Usos e aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012–2030

Supervisão

Fernando Cosme Rizzo Assunção

Consultora

Maria Fatima Ludovico de Almeida

Equipe técnica do MCTI

Tássia de Melo Arraes

Cristina Ferreira Correia Silva

Equipe técnica do Cetem

Fernando Antonio Freitas Lins

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Paulo Sergio Moreira Soares

Marisa Nascimento

Ivan Ondino de Carvalho Masson

Equipe técnica do CGEE

Carlos Augusto Caldas de Moraes (coordenador)

Fabíola Maia Pitta

Renato Nomeline

Colaboradores

Equipe técnica do MME

Elzivir Azevedo Guerra

Daniel Alves de Lima

Colaboradores

Eduardo Falabella Sousa-Aguiar

Fatima Maria Zanon Zotin

Fernando José Landgraf

Lucia Gorenstin Appel

Marco Cremona

Paulo Antonio Pereira Wendhausen

Sumário

Resumo executivo	11
1. Introdução	28
2. Panorama mundial de terras raras	52
3. Panorama nacional de terras raras	74
4. Cenário global de terras raras e implicações para o Brasil: 2012-2030	82
5. Roadmap estratégico da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: 2012-2030	103
6. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs de terras raras no Brasil: 2012-2030	118
7. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras no Brasil: 2012-2030	140
8. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras no Brasil: 2012-2030	158
9. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de fósforos de terras raras no Brasil: 2012-2030	164
10. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais no Brasil: 2012-2030	178
11. Conclusões e recomendações	190

Apresentação

O cenário para o mercado internacional dos chamados elementos de terras raras (ETRs), em que a China tem um papel dominante – cerca de 95% da produção mundial em 2010 -, tem passado por um período de incertezas. As divergências territoriais entre China e Japão a partir de 2010, com ameaças de interrupção no fornecimento chinês de terras raras, o estabelecimento pela China de quotas para exportação consideradas insuficientes pelos compradores tradicionais, ao mesmo tempo em que havia a oferta de preços mais baixos às empresas internacionais que se instalassem em território chinês, provocaram variações muito significativas nos preços no mercado internacional.

A situação foi percebida, ainda, como possível ameaça à sobrevivência de importantes indústrias estabelecidas no Japão, nos Estados Unidos e na Europa e também como uma tentativa de estender o domínio chinês à fabricação de produtos de alta tecnologia que utilizam ETRs. As aplicações militares que dependem da utilização de diversos elementos de terras raras estariam, do mesmo modo, comprometidas. Nesse cenário, os países que não possuíam jazidas exploráveis e que dependiam totalmente das importações de terras raras passaram a procurar fontes alternativas de fornecimento. Paralelamente, aqueles países que contavam com jazidas próprias perceberam a oportunidade de estimular, a médio e longo prazos, a produção local dos ETRs, o desenvolvimento de tecnologias e o fortalecimento de suas indústrias.

O Brasil, por sua vez, adotou um conjunto de iniciativas e direcionadores de políticas públicas voltados para as cadeias produtivas de aplicações de ETRs consideradas promissoras e estratégicas para o País, como:

- a criação, em 2010, de um Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos, envolvendo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Ministério das Minas e Energia (MME);
- a realização, em 2011, de um estudo desenvolvido em parceria entre a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a Sociedade Fraunhofer e a Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (CERTI/UFSC), para implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de ETRs;

- o apoio a Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) nas cadeias produtivas de ETRs e lítio; e
- a priorização dada na Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015 e no Plano Diretor do Centro de Tecnologia Mineral/MCTI para 2011-2015.

Em 2011, o MCTI encomendou ao Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE) o desenvolvimento de um estudo prospectivo, cujo propósito maior foi possibilitar a estruturação de uma agenda, com objetivos e ações de curto, médio e longo prazos, vinculados ao desenvolvimento dessas cadeias produtivas.

O escopo do estudo compreendeu a construção de cenários prospectivos do mercado global de ETRs e a definição de um cenário de referência, que serviu de pano de fundo para a construção do roadmap estratégico da cadeia produtiva de terras raras (TRs) no Brasil como um todo. O estudo incluiu a definição de direcionadores estratégicos – visão de futuro e objetivos de longo prazo – referentes às cadeias produtivas de ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos e pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. Também foram realizadas uma pesquisa em base de dados sobre produção científica e propriedade intelectual em ETRs em nível mundial (1981-2011) e um levantamento dos grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros atuantes em ETRs.

O estudo prospectivo está estruturado em 11 capítulos, incluindo a introdução. O segundo capítulo descreve o panorama mundial de ETRs, destacando a tendência de crescimento da sua demanda nas próximas décadas e as incertezas quanto à estabilidade dos preços e à garantia de suprimento por parte da China. Discute também o reposicionamento de países consumidores e detentores de jazidas minerais que contêm ETRs, como é o caso de Brasil, EUA, Canadá, África do Sul e Austrália. Finalmente, apresenta os resultados da pesquisa em bases de dados internacionais sobre a produção científica e a propriedade intelectual em tecnologias de ETRs, em nível mundial, cobrindo o período 1981-2011.

No capítulo 3, apresenta-se uma síntese do panorama nacional de ETRs. O capítulo 4 reúne os principais resultados da análise da situação da cadeia produtiva de ETRs segundo uma perspectiva global, além dos condicionantes do futuro e das incertezas críticas da evolução dessa cadeia no horizonte 2030. Esses conteúdos serviram de base para a construção de cenários prospectivos múltiplos e a escolha de um cenário de referência. Ao final, reúnem-se os resultados da análise estratégica da cadeia produtiva de ETRs no Brasil.

Os capítulos de 5 a 10 constituem a parte central do estudo. Considerando o cenário global de

referência e a análise estratégica do posicionamento do Brasil nas próximas décadas, o capítulo 5 apresenta a visão de futuro da cadeia produtiva de ETRs como um todo e os objetivos estratégicos para alcançar tal visão. Na sequência, desdobram-se os objetivos estratégicos em ações referentes a dois horizontes temporais (2020 e 2030), definindo-se prazos e atores a serem envolvidos. Apresenta, ainda, o roadmap estratégico da cadeia de ETRs no Brasil no período 2012-2030. Nos capítulos subsequentes são apresentados, para cada cadeia produtiva selecionada, a visão de futuro e os objetivos estratégicos para o alcance dessa visão. O capítulo 11 reúne as principais conclusões e recomendações do estudo.

O CGEE espera que as contribuições deste estudo permitam uma melhor compreensão sobre os desafios que o Brasil deverá enfrentar para o desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de elementos de terras raras consideradas promissoras e estratégicas para o País.

Mariano Francisco Laplane
Presidente do CGEE



Resumo executivo¹

O presente estudo prospectivo, desenvolvido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), por solicitação da Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Setec), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), buscou atingir seu objetivo maior de fornecer os direcionadores estratégicos para a estruturação futura de uma agenda com objetivos e ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de terras raras (TRs) consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil.

Seu escopo compreendeu a construção de cenários prospectivos do mercado global de TRs e a definição do cenário de referência, que serviu de pano de fundo para a construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs no Brasil como um todo. O estudo incluiu, ainda, a definição de direcionadores estratégicos – visão de futuro e objetivos de longo prazo – referentes às cadeias produtivas de ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. Também foram realizados uma pesquisa em base de dados sobre produção científica e propriedade intelectual em TRs em nível mundial (1981-2011) e um levantamento dos grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros em TRs.

Quanto aos usos e aplicações de terras raras

Os usos e aplicações dos 17 elementos constituintes do grupo das TRs concentram-se em áreas de alta tecnologia e não são conhecidos até o momento substitutos que proporcionem o mesmo desempenho. Nas tecnologias relacionadas a energias limpas e controle de emissões atmosféricas, por exemplo, as cadeias produtivas são fortemente dependentes de TRs, 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; e fósforos, utilizados em sistemas de iluminação mais eficientes.

A partir de uma taxonomia única definida no início dos trabalhos, chegou-se a um conjunto de 23 usos industriais de TRs, reunidos em oito grandes classes de aplicações.

¹ Este resumo foi elaborado por Maria Fatima Ludovico de Almeida e Carlos Augusto Caldas de Moraes.

Sobre o mercado global de terras raras

As TRs podem ser encontradas em muitos países, como China, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Índia, Malásia, Rússia e Brasil. No entanto, são difíceis de extrair em volumes que sejam economicamente viáveis.

As estimativas da produção mundial eram de 124.000 toneladas por ano (t/ano) em 2012, enquanto a demanda atual já atingia 135.000 t/ano, com previsão de crescimento até 210.000 t/ano em 2015. Como os projetos de mineração demoram a iniciar a produção, a expectativa é de que a produção não ultrapasse 160.000 t/ano nos próximos três anos, o que pode levar à escassez desses recursos no curto prazo.

As incertezas quanto à garantia de fornecimento de TRs pela China, em função da sua atual política de quotas de exportação, têm mobilizado os países consumidores a buscarem alternativas de suprimento por meio de acordos de cooperação e parcerias com outros países. Essas parcerias objetivam o desenvolvimento de projetos voltados à produção e ao processamento mineral desses recursos e suas aplicações. Até a edição deste documento, identificaram-se mais de 270 projetos de exploração, desenvolvidos em cerca de 30 países. Os EUA, a Austrália e o Canadá vêm se destacando nesse movimento de expansão. Prevê-se a possibilidade de uma sobreoferta de TRs leves já a partir de 2014, com impactos diretos nos preços e na atual posição hegemônica da China.

Sobre o potencial de exploração de terras raras no Brasil

Atualmente, conforme dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o país tem 164 pedidos para autorização de pesquisa de descoberta de lavras (mais de 50% na Bahia). Apenas seis lavras estão disponíveis.

Embora as ocorrências de TRs no Brasil sejam numerosas e indicativas de grandes volumes, existe a necessidade de um esforço significativo no sentido de determinar sua real importância econômica e a viabilidade técnica de sua exploração.



Sobre recursos humanos estratégicos no país

Com base nas informações disponíveis, foram identificados 495 especialistas, 49 instituições e 113 grupos de pesquisa que atuam em desenvolvimentos tecnológicos relacionados à cadeia produtiva de TRs e suas aplicações, com destaque para um conjunto de 260 linhas de pesquisa diretamente relacionadas aos temas abordados neste estudo prospectivo. Os grupos de pesquisa em TRs concentram-se nas regiões Sudeste (60%) e Nordeste (25%). As regiões Sul, Centro-Oeste e Norte contam, respectivamente, com 9%, 5% e 1% dos 113 grupos identificados.

Embora os resultados obtidos tenham sido de grande valia para os objetivos do estudo prospectivo e para a futura implementação dos *roadmaps* estratégicos das cadeias produtivas de TRs no Brasil, cabe destacar que alguns especialistas que atuavam no passado estão hoje desenvolvendo outros temas de pesquisa no Brasil e participando de grupos não associados aos termos pesquisados. Recomenda-se análise posterior, por parte de especialistas, dos resultados gerados para eventual inclusão de novas informações julgadas necessárias para compor o mapeamento das competências brasileiras em TRs.

A construção de cenários prospectivos do mercado global de terras raras e a definição do cenário de referência

A análise das implicações do cenário global de referência para o posicionamento estratégico do Brasil e implementação da estratégia nacional para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs e de suas aplicações permitiu identificar um conjunto de desafios para os períodos 2012-2020 e 2021-2030. Uma discussão detalhada dos cenários prospectivos resultantes de *workshop* realizado com a participação de cerca de 20 especialistas das áreas acadêmica, empresarial e de governo é apresentada no Capítulo 4.

Desafios no período 2012-2020, conforme cenário global de referência

- A demanda crescente de produtos que contêm/usam TRs no mundo estimulará, no Brasil, a atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs com foco em cadeias consideradas estratégicas. O Brasil passará gradativamente a ter expressão no mercado global como fornecedor de ímãs permanentes, fósforos de TRs, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, pós para polimento e vidros especiais;

- Necessidade urgente de mapeamento e dimensionamento das ocorrências de TRs no país que confirmará a existência de novas reservas e ampliação das reservas já conhecidas;
- Desenvolvimento de projetos de exploração por empresas privadas, com aumento da produção, porém ainda com participação reduzida do país na produção mundial de TRs;
- Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal - ENCTI 2012-2015, PBM, PAC - CPRM 2010 - 2014 e PNM 2030 - e intensificação dos programas de geologia básica e de recursos minerais voltados aos minerais estratégicos. Foco no desenvolvimento e na confirmação de recursos e reservas minerais;
- Criação de um programa nacional de PD&I para TRs voltado preponderantemente para o fortalecimento da infraestrutura laboratorial, formação e capacitação de pessoal e projetos de PD&I. Estabelecimento, à semelhança dos setores petróleo e elétrico, de mecanismos de financiamento de PD&I pelas empresas, em cooperação com universidades e instituições científicas e tecnológicas (ICTs);
- Definição e início da implementação de uma política industrial de estruturação da cadeia produtiva de TRs em suas fases: processamento mineral, processamento químico e processos industriais. Estímulo à formação de parcerias público-privadas. Incentivo à verticalização e organização industrial da cadeia produtiva de TRs e atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs;
- Implementação do novo marco regulatório mineral com efetivo cumprimento das obrigações associadas aos direitos minerários. Reavaliação do papel da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) como parceira de empresas, ICTs e universidades no equacionamento das questões relativas a TRs, quando associadas a minerais radioativos. Interpretação da legislação ambiental quanto às atividades de mineração de TRs;
- A falta de mecanismos efetivos de governança global mantém a hegemonia chinesa no mercado mundial de TRs com sua política de quotas de exportação. No início desse período, a volatilidade dos preços em nível global trará incertezas e inibirá investimentos na indústria minero-metalúrgica de TRs no Brasil;
- Os países detentores de reservas e com competência tecnológica, como o Brasil, passarão a investir no desenvolvimento de reservas e na produção mineral, atraindo investidores de cadeias produtivas de aplicações baseadas em TRs. No entanto, devido à verticalização da cadeia de produção de TRs já em curso na China, os investimentos no Brasil deverão focalizar algumas cadeias produtivas de aplicações, como ímãs permanentes e catalisadores, em uma primeira fase;
- O custo Brasil limita a instalação das cadeias produtivas de aplicações de TRs, situação que deve ser revertida até 2020. Prevê-se a formação de parcerias público-privadas para o desenvolvimento de infraestrutura física compatível com o desenvolvimento esperado das cadeias produtivas de TRs.



Desafios no período 2021-2030, de acordo com o cenário global de referência

- O Brasil deverá manter-se competitivo como um dos países fornecedores, tanto de aplicações de TRs (ímãs, catalisadores, ligas metálicas, fósforos e pós para polimento, vidros e lentes) quanto de produtos finais das cadeias produtivas, tendo em vista a tendência de crescimento do mercado consumidor de produtos que utilizam ou contêm TRs;
- Consolidação de parcerias, consórcios e *joint-ventures* para exploração sustentável de TRs no país e desenvolvimento de novas cadeias produtivas de aplicações de TRs (cerâmicos, baterias e fibras ópticas);
- Surgimento de novos concorrentes devido ao cenário favorável ao livre-comércio e ao maior equilíbrio de forças no mercado global de TRs. Ameaça de concorrência externa acentuada em função de uma possível superoferta de TRs a partir de 2014. Possibilidade de novo *dumping* chinês;
- A partir do mapeamento e dimensionamento das ocorrências realizados no período 2012-2020, os recursos minerais em TRs no Brasil deverão ser explorados de forma sustentável. Espera-se a confirmação de importantes reservas de TRs em mais de uma região do país;
- O mercado consumidor de produtos que utilizam TRs apresentará tendência de crescimento no período, o que estimulará a consolidação de parcerias, consórcios e *joint-ventures* para exploração sustentável de TRs no país;
- A indústria minero-metalúrgica de TRs e as atividades das cadeias produtivas de aplicações de TRs no Brasil deverão cumprir os regulamentos e requisitos legais tanto ambientais quanto de segurança e saúde ocupacional;
- Prevê-se a continuidade das políticas públicas para a consolidação da cadeia produtiva de TRs e verticalização de cadeias produtivas consideradas estratégicas. Continuidade dos esforços no sentido de ampliar o conhecimento de reservas minerais contendo TRs;
- Intensificação da pesquisa de produção de TRs e aplicações industriais que usem ou contenham TRs referentes a novas cadeias produtivas, como cerâmicos, baterias e fibras ópticas, assim como o fortalecimento das ICTs públicas e privadas.

Apresentam-se, a seguir, as principais conclusões e proposições referentes à cadeia produtiva de TRs como um todo. Na sequência, complementa-se com uma síntese das informações estratégicas referentes ao desenvolvimento das cadeias das aplicações consideradas prioritárias para o Brasil, a saber: ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento, vidros e lentes especiais.

Sobre o futuro desenvolvimento da cadeia produtiva de terras raras no Brasil

A visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à autossuficiência e à inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de TRs a partir do aproveitamento racional, eficiente e integral desses recursos minerais, com domínio científico e tecnológico ao longo de toda a cadeia produtiva, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A estratégia nacional proposta para atingir essa visão é sintetizada a seguir:

- Realizar mapeamento de ocorrências, identificação e dimensionamento das reservas e viabilizar a produção e o processamento mineral de TRs;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Promover políticas públicas de cunho mineral, industrial e de CT&I voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira;
- Criar mecanismos de financiamento em condições compatíveis com os concorrentes internacionais e incentivos para atração de empresas de toda a cadeia produtiva e suas aplicações;
- Viabilizar as cadeias produtivas de aplicações de TRs de forma sustentável e competitiva;
- Consolidar e expandir infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Capacitar recursos humanos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação associados ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Apresenta-se uma síntese com informações estratégicas sobre o futuro desenvolvimento dessa aplicação no Brasil, incluindo o diagrama geral da cadeia produtiva, com indicação dos principais usos industriais e do nível de competência nacional em cada estágio da cadeia. Na sequência, definem-se os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia de ímãs de TRs no Brasil.



A Figura 1 representa esquematicamente a cadeia produtiva de ímãs de TRs e os principais usos industriais dessa estratégica aplicação. A análise feita por especialistas indicou as atuais competências brasileiras nos processos produtivos associadas à cadeia produtiva de ímãs de TRs. Destacam-se, na Figura 1, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de ímãs de TRs.

Concluiu-se que os estágios mais críticos são a redução de óxidos, a obtenção de ligas e a fabricação de ímãs propriamente dita. Nos estágios anteriores da cadeia, foram identificados gargalos na passagem dos resultados da fase piloto para inovação, produção e comercialização em larga escala.

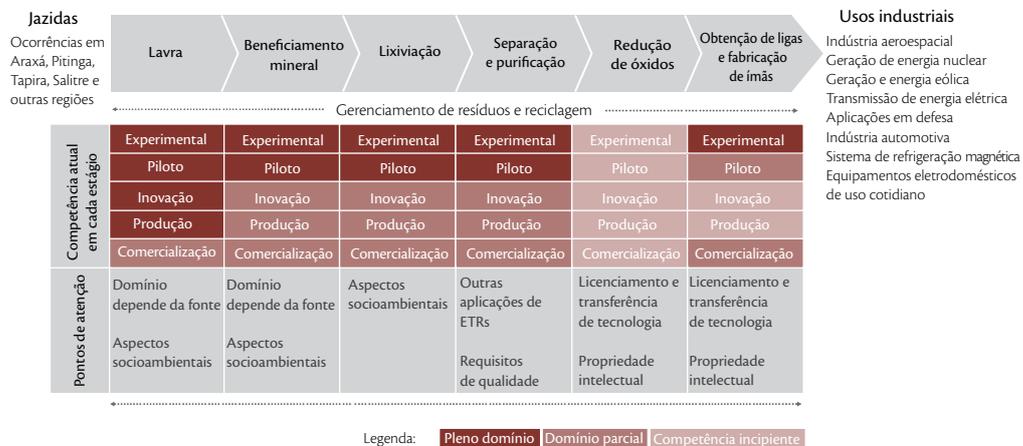


Figura 1. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Concluiu-se que a produção de ímãs de TRs é inexistente no Brasil no momento, estando basicamente concentrada na China e no Japão, em função dos custos de produção mais competitivos e do atual domínio tecnológico daqueles países. Essa situação, no entanto, deverá sofrer uma mudança radical com a entrada de novos países produtores de TRs, incluindo o Brasil. A produção de ímãs, em função da agregação de valor, deverá se constituir em uma atividade importante a ser fomentada, dado o quadro de competência atual já alcançado no Brasil.

Os grupos de pesquisa estabelecidos estão potencialmente capacitados para desenvolver inovações nesse campo no Brasil. Continuam os trabalhos de pesquisa em nível internacional e o

acompanhamento do desenvolvimento do estado da arte por meio de publicações em periódicos de especialistas brasileiros e da participação em conferências internacionais importantes, tanto em relação ao desenvolvimento de tecnologias já estabelecidas quanto tecnologias de ponta, como, por exemplo, a refrigeração magnética. Necessita-se, no entanto, de melhoria na infraestrutura laboratorial e de PD&I, como será proposto a seguir.

A visão de futuro da cadeia produtiva de ímãs de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à integração a montante da fabricação de ímãs de TRs a partir de TRs de origem nacional e ao desenvolvimento a jusante (usos industriais de ímãs de TRs), obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A estratégia nacional para atingir essa visão foi estruturada segundo oito dimensões de análise, a saber: mercado de ímãs permanentes e seus usos industriais; reservas e produção de TRs no Brasil; política nacional para TRs com foco na cadeia produtiva de ímãs e seus usos industriais; marco regulatório com foco na cadeia produtiva de ímãs; investimentos; infraestrutura; recursos humanos e tecnologia para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia em foco.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs permanentes:

- Integrar a produção industrial de ímãs de TRs a montante pelo emprego de TRs de origem nacional a preços competitivos;
- Focar no desenvolvimento da cadeia de ímãs, induzida pelo mercado, a partir da ponta da cadeia produtiva (usos industriais);
- Estruturar e fortalecer a participação dos fabricantes e usuários na cadeia;
- Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de ímãs de TRs para a indústria brasileira. Fontes de matéria-prima potenciais seriam, por exemplo, a monazita estocada pela empresa Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e os rejeitos de Catalão/Fosfertil e Araxá;
- Viabilizar novas fontes de exploração de TRs;
- Colocar o Brasil como grande *player* na exploração de elementos terras raras (ETRs);
- Criar incentivos fiscais para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de ímãs de TRs;
- Criar programas de incentivos para estados e municípios atuarem no mercado como demandantes de produtos que utilizem tecnologia baseadas em ímãs de TRs, por exemplo, ônibus elétricos, trens magnéticos, geradores elétricos, entre outros usos;
- Atrair investimentos de forma escalonada (busca de domínio tecnológico, piloto e industrial);



- Consolidar capacidade de produção em nível industrial de ímãs de TRs;
- Integrar a montante a cadeia produtiva de ímãs;
- Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios de PD&I com foco em produção piloto e laboratório (fábrica);
- Implementar programas de PD&I com apoio a projetos cooperativos ICTs/empresas, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs;
- Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva de ímãs;
- Incentivar/apoiar programas de cursos de pós-graduação com objetivo de formar mestres e doutores com foco na produção e utilização de ímãs de TRs;
- Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com *know-how* próprio, registro de propriedade intelectual no sentido de garantir competitividade, hegemonia tecnológica e inovação voltados para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de ímãs.

Com relação aos últimos objetivos, destacam-se, no Capítulo 6, informações estratégicas de propriedade intelectual relativas às etapas críticas da cadeia. Identificaram-se 7.286 patentes, que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento. A partir desse levantamento, concluiu-se que a maioria das empresas proprietárias de patentes referentes a ímãs permanentes de TRs é japonesa.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores

Devido ao fato de os catalisadores para FCC (*fluid catalytic cracking*), catalisadores automotivos e sistemas catalíticos para geração de hidrogênio e diversas reações químicas encontrarem-se em estágios diferentes de maturidade, segundo o conceito de ciclo de vida do produto, e em situações bem distintas do ponto de vista de domínio tecnológico no Brasil, optou-se, neste caso, por apresentar os respectivos esquemas gráficos correspondentes à competência atual para cada um dos casos citados.

Os catalisadores de FCC apresentam tecnologia madura e consagrada, inclusive no Brasil, que dispõe de fábrica com tecnologia própria. Por essa razão, há importante domínio de etapas da cadeia produtiva, conforme Figura 2.

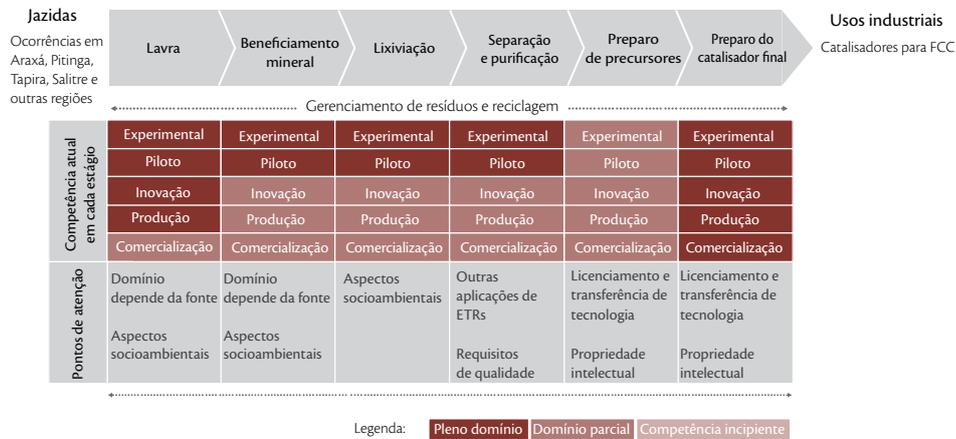


Figura 2. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para FCC na indústria de petróleo

Os catalisadores automotivos representam um campo em que há produção no Brasil, porém com tecnologia exógena. Os monólitos são produzidos no exterior, sendo feita no Brasil apenas a etapa de incorporação de alguns elementos. Há, portanto, domínio parcial do conhecimento dessa tecnologia, conforme indicado na Figura 3.



Figura 3. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores automotivos

A Figura 4 apresenta o mapa de competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de sistemas catalíticos para geração de hidrogênio.



Figura 4. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para geração de hidrogênio

A partir de levantamento realizado diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no Portal Inovação, e junto a especialistas da área de catálise, foi possível identificar os grupos que, no momento, desenvolvem linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs.

A visão de futuro da cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à integração a montante com utilização de TRs de origem nacional, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento dessa cadeia:

- Integrar a produção industrial de catalisadores a montante pelo emprego de TRs de origem nacional a preços competitivos;
- Ampliar a capacidade de produção de catalisadores para unidades de FCC e automotivos, visando atender ao consumo interno e aumentar as exportações;
- Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de catalisadores para FCC e automotivos;
- Criar incentivos para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de catalisadores;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento das cadeias produtivas dessa aplicação;

- Revisar o marco regulatório de controle de emissões atmosféricas para passar a incluir requisitos legais para uso de conversores catalíticos em veículos usados;
- Ampliar a capacidade de produção de catalisadores automotivos, de FCC e para a produção de hidrogênio;
- Atrair investimentos para a integração a montante da cadeia produtiva de catalisadores;
- Consolidar e expandir infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores;
- Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva de catalisadores;
- Promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação voltados para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de catalisadores;
- Aproveitando a grande capacidade de PD&I na área de catálise no Brasil, promover o desenvolvimento de novos processos químicos que utilizem catalisadores alternativos com base em TRs.

Com relação aos três últimos objetivos, destacam-se, no Capítulo 7, informações estratégicas de propriedade intelectual relativas às etapas críticas das respectivas cadeias (Figuras 2 a 4). Os resultados do levantamento de patentes referentes a catalisadores de FCC e automotivos, realizado diretamente na base *Derwent Innovations Index*, considerando-se o período de 1981 a 2011, permitiu identificar um conjunto de 1.075 patentes que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado no referido Capítulo.

Concluiu-se que as empresas proprietárias de patentes referentes a catalisadores contendo TRs são, na maioria, de origem europeia ou americana, diferentemente da cadeia de ímãs permanentes, com predominância de empresas japonesas. Destaca-se, para fins de elaboração futura do *roadmap* estratégico dessa cadeia, a posição da Petrobras em 12º lugar no *ranking*.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

Apresenta-se, a seguir, uma síntese com informações estratégicas sobre o futuro desenvolvimento dessa aplicação no Brasil, incluindo o diagrama geral da cadeia produtiva, com indicação dos principais usos industriais e do nível de competência nacional em cada estágio da cadeia. Na sequência, definem-se os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil.



A Figura 5 representa esquematicamente a cadeia produtiva de ligas metálicas, os principais usos industriais dessa estratégica aplicação e o nível de competência atual para o desenvolvimento da cadeia.



Figura 5. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

A análise feita por especialistas indicou as atuais competências brasileiras nos processos produtivos associadas a essa cadeia. Destacam-se, na Figura 5, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs.

Concluiu-se que as etapas mais críticas em quase todos os estágios da cadeia são a passagem dos resultados da fase piloto para inovação, bem como a produção e comercialização em larga escala. Especificamente no estágio de obtenção de ligas, aponta-se para a competência para inovação ainda incipiente no Brasil.

Com base em levantamento realizado diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, no Portal Inovação, e junto a especialistas da área, foi possível identificar os grupos que, no momento, desenvolvem linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs.

A visão de futuro da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à integração a montante da fabricação de ligas metálicas portadoras de TRs a partir de fontes de origem nacional e, a jusante, pelo crescimento da demanda por produtos que as utilizam, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento dessa cadeia:

- Fomentar a fabricação de ligas portadoras de TRs como fator alavancador de escala (em nível global, representa a segunda maior aplicação de TRs);
- Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de ligas portadoras de TRs para a indústria brasileira. Fontes de matéria-prima potenciais seriam, por exemplo, a monazita estocada na INB e os rejeitos de Catalão/Fosfertil e Araxá;
- Viabilizar novas fontes de exploração de TRs;
- Colocar o Brasil como grande *player* na exploração de elementos TRs;
- Criar incentivos fiscais para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Identificar necessidades junto aos setores metalúrgico e siderúrgico;
- Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios de PD&I com foco em produção;
- Implementar programas de PD&I com apoio a projetos cooperativos ICTs/empresas, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs;
- Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de fósforos

Apresenta-se, a seguir, uma síntese com informações estratégicas sobre o futuro desenvolvimento dessa aplicação no país, incluindo o diagrama geral da cadeia produtiva, com indicação dos principais usos industriais e do nível de competência nacional em cada estágio da cadeia. Na sequência, definem-se os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil.



A Figura 6 representa esquematicamente a cadeia produtiva de fósforos, os principais usos industriais dessa estratégica aplicação e o nível de competência atual para o desenvolvimento da cadeia como um todo. Destacam-se, nessa figura, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção a serem considerados na construção futura do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de fósforos de TRs.

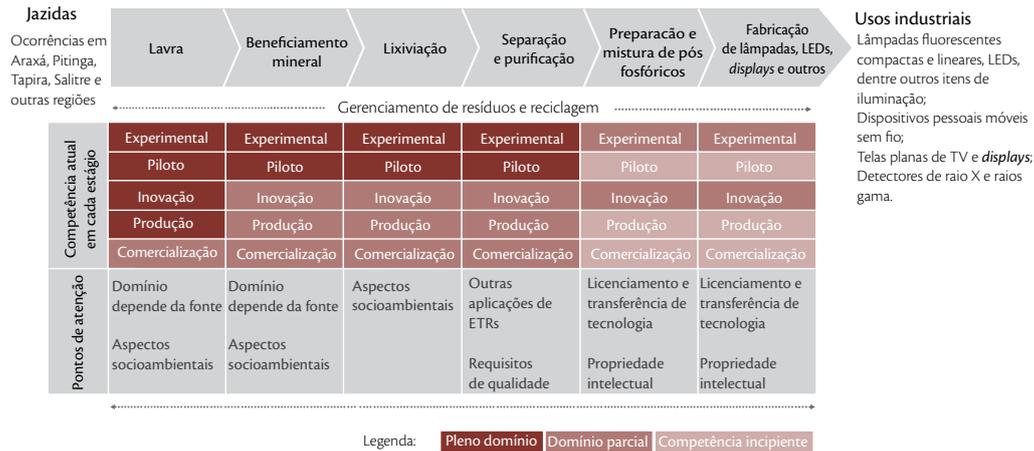


Figura 6. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de fósforos de terras raras

Com base nos resultados da pesquisa realizada diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, e no Portal Inovação, foi possível identificar 29 grupos que, no momento, desenvolvem um total de 67 linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de fósforos de TRs. Desses grupos, participam 165 pesquisadores, ressaltando-se que vários deles participam de mais de um grupo de pesquisa.

Um levantamento de patentes referentes a preparação e mistura de pós-fosfóricos, suas propriedades e funcionalidades, realizado diretamente na base *Derwent Innovations Index*, permitiu identificar 2.164 patentes no período de 1981 a 2011. Esses documentos foram classificados por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento (Capítulo 9, Figura 47 e Tabelas 22 e 23).

Concluiu-se que existem no Brasil muitas empresas montadoras de lâmpadas, LEDs, entre outros usos industriais de fósforos de TRs. O que se precisa fomentar no país são investimentos para que se desenvolvam empresas de base tecnológica para a produção de novos produtos *made in Brazil*. Essa

estratégia precisa ser conduzida por meio de incentivos governamentais para as empresas nacionais que queiram investir nessas tecnologias e colocar vínculos para empresas estrangeiras para que não utilizem o Brasil somente como uma extensão do mercado, mas que façam investimentos na geração de novas tecnologias e inovações.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de pós para polimento, vidros e lentes especiais

Na Figura 7, identificam-se as atuais competências brasileiras nos processos produtivos associadas à cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais.

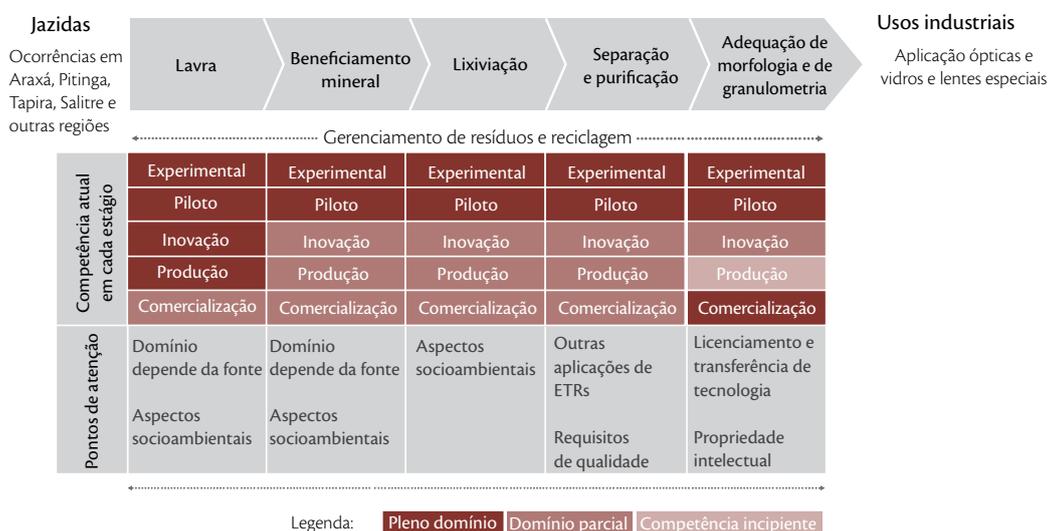


Figura 7. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

Destacam-se, na Figura 7, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes no Brasil para o horizonte 2030.

A exemplo das cadeias anteriores, definiram-se a visão de futuro para 2030 e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão, expressos de acordo com as dimensões de análise do presente estudo.



A visão de futuro da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais no Brasil refere-se à integração a montante a partir de fontes de origem nacional e, a jusante, pelo crescimento da demanda de pós para polimento, vidros e lentes especiais, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento dessa cadeia:

- Viabilizar o mercado de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais);
- Dimensionar reservas para viabilizar produção dos elementos de TRs como marco inicial do desenvolvimento da cadeia;
- Promover políticas públicas de incentivo industrial e de CT&I voltadas para a fabricação de pós para polimento e vidros e lentes especiais;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira;
- Criar incentivos para investimentos na produção local e/ou atração de empresas para produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes;
- Ampliar e consolidar a infraestrutura de laboratórios e unidades de pesquisa. Incentivar a implantação de instalações industriais de acordo com as melhores tecnologias disponíveis;
- Capacitar recursos humanos para subsidiar o desenvolvimento e as inovações para a produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais;
- Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com *know-how* próprio, registro de propriedade intelectual, voltado para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes).

A exemplo das cadeias anteriores, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes, focalizando-se pós para polimento à base de óxido de cério. Esse levantamento, realizado diretamente na base *Derwent Innovations Index*, considerando-se o período de 1981 a 2011, permitiu identificar somente 29 patentes apresentadas em quadro específico no Capítulo 10.

1. Introdução²

A Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação (Setec) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), com o objetivo de subsidiar a inserção do tema Terras Raras na política de CT&I do país, divulgam conjuntamente esta versão do estudo prospectivo *Usos e Aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030*.

Os elementos e compostos de TRs apresentam propriedades químicas e físicas singulares, as quais lhes conferem múltiplas possibilidades de usos industriais de alto conteúdo tecnológico. Os elementos TRs estão incorporados em aplicações como supercondutores, magnetos miniaturizados, catalisadores para refino de petróleo, componentes para carros híbridos e monitores de LCD, entre outros usos.

O assunto das TRs assumiu crescente importância no cenário mundial nos últimos anos em decorrência da quase total dependência de fornecimento pela China – cerca de 97% do consumo mundial em 2011 – e da disparada nos preços resultante das reduções definidas pelo governo chinês nas quotas de exportação para países consumidores. A dependência mundial em relação à China não é recente e, segundo os especialistas, emergiu em função da grande produção chinesa e dos preços mais convenientes por ela ofertados.

O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) já chamou atenção para a vulnerabilidade da economia verde quanto à falta de minerais de TRs. Isso porque muitas das chamadas tecnologias de energia limpa, como os componentes de turbinas eólicas e os veículos elétricos, dependem de materiais com propriedades singulares, como é o caso das TRs. No momento, a disponibilidade de TRs no mercado global encontra-se em risco devido a localização da produção ser basicamente na China, vulnerabilidade a interrupções de fornecimento, além da inexistência de materiais substitutos de desempenho comparável às aplicações de TRs e do baixo índice de reciclagem.

As TRs são um grupo seletivo de 17 elementos químicos da série dos lantanídeos, mais o escândio e o ítrio. Os 15 lantanídeos são: lantânio, cério, praseodímio, neodímio, promécio, samário, európio, gadolínio, térbio, disprósio, hólmio, érbio, túlio, itérbio e lutécio.

² Este Capítulo foi elaborado por Maria Fatima Ludovico de Almeida e Carlos Augusto Caldas de Moraes.



A expressão “terras raras” é imprópria para denominar tais elementos. Foram assim chamados porque seus óxidos se assemelham aos materiais conhecidos como terras. Também a palavra “rara” é considerada inadequada, pois os lantanídeos são mais abundantes do que muitos outros elementos, com exceção do promécio, que não ocorre na natureza. Por exemplo, os elementos túlio (0,5 ppm) e lutécio (0,8 ppm), que são as TRs menos abundantes na crosta terrestre, são mais abundantes do que a prata (0,07 ppm) e o bismuto (0,008 ppm)³.

As inúmeras aplicações das TRs devem-se às suas propriedades ímpares, principalmente as espectroscópicas e magnéticas. As propriedades químicas e físicas dos elementos lantanídeos são muito semelhantes em consequência da sua configuração eletrônica. Todos os átomos neutros têm em comum a configuração eletrônica $6s^2$ e uma ocupação variável do nível 4f (com exceção do lantânio, que não tem nenhum elétron f no seu estado fundamental) por ser energeticamente mais favorável.

Hoje em dia, os usos e as aplicações dos 17 elementos constituintes do grupo das TRs concentram-se em áreas de alta tecnologia, e não são conhecidos até o momento substitutos que proporcionem o mesmo desempenho.

Nas tecnologias relacionadas a energias limpas e controle de emissões atmosféricas, por exemplo, as cadeias produtivas são fortemente dependentes de TRs, 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.

Outro uso estratégico de TRs refere-se aos catalisadores utilizados no refino do petróleo e nos sistemas de exaustão de veículos. Estima-se que a falta de catalisadores que contêm lantânio, uma das TRs, reduziria a produção de derivados do petróleo pelas refinarias em cerca de 7%. Esses são apenas exemplos da ampla gama de usos industriais e aplicações de TRs abordadas neste estudo, segundo uma visão estratégica de longo prazo, pautada nos princípios da sustentabilidade.

Nos últimos anos, tem crescido também o interesse em aplicar as TRs na investigação das propriedades e funções de sistemas bioquímicos e na determinação de substâncias biologicamente ativas.

³ MARTINS, T.S.; ISOLANI, P.C. (2005). Terras raras: aplicações industriais e biológicas. *Química Nova*, v.28, n.1, p.111-117, 2005.

As TRs são usadas principalmente como sondas espectroscópicas no estudo de biomoléculas e suas funções. A título de ilustração, citam-se: traçadores biológicos para acompanhar o caminho percorrido pelos medicamentos no homem e em animais; marcadores em imunologia (fluoroimunoenaios); e agentes de contraste em diagnóstico não invasivo de patologias em tecidos por imagem de ressonância magnética nuclear (RMN).

As TRs podem ser encontradas em muitos países, como China, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Índia, Malásia, Rússia e Brasil. No entanto, são difíceis de extrair em volumes que sejam economicamente viáveis.

As estimativas da produção mundial eram de 124.000 toneladas por ano (t/ano) em 2012, enquanto a demanda atual já atingia 135.000 t/ano, com previsão de crescimento até 210.000 t/ano em 2015⁴. Como os projetos de mineração demoram a iniciar a produção, a expectativa é de que a produção não ultrapasse 160.000 t/ano nos próximos três anos, o que pode levar à escassez desses recursos no curto prazo.

As incertezas quanto à garantia de fornecimento de TRs pela China, em função da sua atual política de quotas de exportação, têm mobilizado os países consumidores a buscarem alternativas de suprimento por meio de acordos de cooperação e parcerias com outros países, além da China, para desenvolvimento de projetos voltados à produção e ao processamento mineral desses recursos e suas aplicações, buscando garantia de fornecimento e domínio científico e tecnológico ao longo de toda a cadeia produtiva.

O Brasil, atualmente, não lavra nem produz nenhum composto de TRs, sendo totalmente dependente da importação. A produção de TRs no Brasil, que já teve posição de destaque na década de 1940, é hoje praticamente nula. No entanto, o país, por suas reservas, teores dos minérios, variedade de depósitos e capacitação tecnológica, apresenta bom potencial para a extração de TRs em jazimentos polimetálicos. No último trimestre de 2010, representantes dos governos do Japão, da Alemanha e da França, em audiências na Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM) do Ministério de Minas e Energia (MME), solicitaram informações sobre o potencial de exploração e produção mineral de TRs no Brasil.

⁴ BLOOMBERG NEWS (2010). *Global rare earth demand to rise to 210,000 metric tons by 2015*, October 18, 2010, Estimate provided by Wang Caifeng, Secretary General of the Chinese Rare Earth Industry Association.



Nesse contexto, o presente estudo prospectivo visa fornecer os direcionadores estratégicos para a estruturação futura de uma agenda com objetivos e ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil.

1.1. Antecedentes

Destacam-se, nesta Seção, as principais iniciativas e os direcionadores de políticas públicas voltados para o desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil. São elas:

- Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos – GTI-ME Portaria Interministerial MME/MCT nº 614, de 30 de junho de 2010;
- Estudo para implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de TRs. ABDI/BMBF-Alemanha, Certi, UFSC/EM, Cetem, IPT, Sociedade Fraunhofer. Cooperação Bilateral Brasil-Alemanha, maio de 2011;
- Edital MCT/CT-Mineral/CNPq nº 44/2010 – apoio à PD&I para cadeia produtiva de TRs e lítio – encerrado;
- Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM 2030) – minerais estratégicos como um dos objetivos do PNM 2030. Lançado em 08 de fevereiro de 2010;
- Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015. Priorizado o Subprograma de PD&I em minerais estratégicos e veículos elétricos;
- Plano Diretor do Cetem: 2011-2015.

1.1.1. Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos (GTI-ME) – Portaria Interministerial MME/MCT nº 614

Constituído por meio da Portaria Interministerial MME/MCT Nº 614, de 30 de junho de 2010, o Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos (GTI-ME) teve como objetivo elaborar propostas de integração, coordenação e aprimoramento das políticas, diretrizes e ações voltadas para minerais estratégicos, dentre eles minérios e minerais contendo TRs, lítio, rochas e minerais aplicados na agricultura (agrominerais) e outros. Ficou estabelecido que os minérios e minerais nucleares, assim como o petróleo e o gás, não seriam tratados pelo GTI-ME.

O GTI-ME considerou que as TRs devem ser objeto de um programa prioritário e imediato por parte do governo federal. Indicou a necessidade de articular as competências existentes no país, dispersas em grupos e centros de pesquisa do setor nuclear, em órgãos militares, universitários, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e do setor privado, para que, alinhados e em conformidade com suas especificidades, participem desse esforço.

O GTI-ME também considerou prioritária a articulação interministerial entre o MME e o MCTI para ampliação dos recursos destinados ao Fundo CT-Mineral, da ordem de R\$ 15 milhões ao ano, que estão muito aquém dos desafios e demandas para o adensamento de conhecimento e agregação de valor nas cadeias produtivas de TRs e suas aplicações industriais.

As recomendações específicas do GTI-ME para as TRs são as seguintes⁵:

- Formação de grupos de trabalho para articulação e coordenação das atividades de desenvolvimento do segmento de TRs (MME, MCTI e MDIC);
- Realização de diagnóstico e estudo prospectivo contando com a participação da universidade, do setor empresarial, de consumidores e de potenciais produtores (MCTI);
- Implementação e/ou fortalecimento de programa de levantamento geológico detalhado, conjugado com o apoio à exploração mineral pelo setor privado (MME e MME/CPRM);
- Formatação de programas de PD&I de longo prazo nas áreas de tecnologia mineral e desenvolvimento de produtos com valor agregado, assegurando e promovendo a interação entre ICTs e empresas (MCTI e MCTI/Cetem);
- Identificação de demanda e integração em projetos inovadores em curso com previsão de grande consumo de TRs, como por exemplo: (i) implementação de uma cadeia produtiva, de inovação e integração industrial, de ímãs de TRs apoiada pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), sob a responsabilidade da Fundação Certi, de Santa Catarina, no contexto da cooperação bilateral Brasil-Alemanha; (ii) MagLev Cobra, da Coppe-UFRJ; e (iii) fabricação de motores elétricos de alto rendimento, das turbinas eólicas, grandes consumidores de TRs (MCTI, MDIC e MME);
- 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 TRs (MCTI, MME e MDIC).

⁵ MME. MCT. (2011). Relatório do Grupo de Trabalho Interministerial MME– MCT de Minerais Estratégicos [GTI_ME]. Brasília: MME. MCT. Dezembro de 2011.



1.1.2. Estudo para implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de terras raras ABDI/BMBF-Alemanha, Certi, UFSC/EM, Cetem, IPT, Sociedade Fraunhofer

Um estudo sobre a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de TRs no Brasil foi contratado pela ABDI junto à Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (Certi), tendo sido iniciado em agosto de 2010 e concluído em maio de 2011. A coordenação executiva alemã ficou a cargo do Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (FhG-IFAM) e a coordenação brasileira foi da Certi, congregando-se apoios tecnológicos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), do Centro de Tecnologia Mineral (Cetem) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), bem como de órgãos do governo federal e do setor empresarial.

O estudo mostrou que é factível implementar no Brasil uma cadeia produtiva de ímãs de TRs e produtos correlatos de forma competitiva (preço, qualidade e inovação) e sustentável (econômica, social e ambiental). Para alcance dessa visão, propôs um conjunto de 15 proposições de ações estruturantes, apontando, no entanto, a necessidade de uma gestão estratégica, suportada por políticas públicas, em função da multiplicidade de esforços necessários, concessões, autorizações e atores a serem engajados.

Os trabalhos realizados em conjunto com o Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (FhG-IFAM) e com instituições da Alemanha colocaram em pauta temas para projetos de P&D com potencial de inovação, como: (i) ímãs para operação em temperaturas elevadas; (ii) ímãs com variações de composições de TRs e seus efeitos sobre o desempenho magnético; e (iii) processos para reciclagem de ímãs de produtos descartados e aplicações possíveis.

1.1.3. Edital MCT/CT-Mineral/CNPq n° 44/2010 – apoio a PD&I para cadeia produtiva de terras raras e lítio

Esse edital foi lançado em 8 de dezembro de 2010 com o objetivo de apoiar atividades de pesquisa científica, tecnológica e de inovação e de capacitação de recursos humanos mediante a seleção de propostas para apoio financeiro a projetos nos temas prioritários do Projeto Tendências Tecnológicas do Setor Mineral e Tecnologias para Arranjos Produtivos Locais de Base Mineral. As inscrições ocorreram no período de 08/12/2010 a 31/01/2011.

Dentre as linhas da Chamada 1, Pesquisa, desenvolvimento tecnológico e inovação aplicados a linhas temáticas, definidas com base no Projeto Tendências Tecnológicas para o Setor Mineral, destaca-se, para fins do presente estudo, a seguinte: exploração, extração, processamento de minérios e minerais contendo terras raras, lítio e silício e separação e purificação de elementos terras raras e suas aplicações em desenvolvimento de processos e produtos de alta tecnologia.

1.1.4. Plano Nacional de Mineração 2030

A política para a produção e exploração de TRs está sendo elaborada dentro dos marcos do Plano Nacional de Mineração 2030. Dentre seus objetivos estratégicos e ações, destacam-se, para fins do presente estudo:

Plano Nacional de Mineração 2030

Objetivo Estratégico: “...5.3 – Estabelece Diretrizes para Minerais Estratégicos”

Ações:

- 1) Realização de levantamento geológico pela CPRM de áreas potenciais para minerais estratégicos carentes e portadores de futuro;
- 2) Apoio à pesquisa mineral e ao fomento para abertura de novas minas em áreas com presença de potássio fosfato e minerais portadores de futuro;
- 3) Promoção de estudos das cadeias produtivas desses minerais, visando à agregação de valor com competitividade nos seus diversos elos;
- 4) Articulação do MME com o MCTI para desenvolver estudos geológicos com o objetivo de ampliar as reservas de urânio do país;
- 5) Criação de grupos de trabalho para acompanhamento de bens minerais estratégicos com enfoque para as oportunidades e ameaças do mercado internacional;
- 6) Articulação interministerial com o setor produtivo para elaboração de programas de longo prazo voltados aos minerais portadores de futuro, objetivando a interação entre ICTs e empresas para a identificação de nichos competitivos de atuação.



1.1.5. Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015

O MCTI atuou em conjunto com o MME para definir ações que visam ao desenvolvimento da cadeia produtiva de minerais estratégicos para o país como TRs, lítio, silício e agrominerais. Essas ações integram a Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação 2012-2015.

Em função do atual cenário mundial, abordado na introdução deste estudo, o MCTI priorizou o apoio ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil, desde a produção de óxidos até a sua aplicação em componentes de produtos de alta tecnologia. No intuito de viabilizar essa meta, o MCTI tem mantido contato com a empresa Vale S.A. a fim de que venha a ser parceira no desenvolvimento e estabelecimento da cadeia produtiva de TRs no país, como também em empreendimentos de desenvolvimento e domínio tecnológico em algumas de suas aplicações industriais.

1.1.6. Novo marco regulatório da mineração

A Comissão de Ciência, Tecnologia, Inovação, Comunicação e Informática (CCT) do Senado estuda a criação de legislação específica para a exploração de TRs e outros minérios considerados estratégicos. No final de dezembro de 2012, foram enviados ao Congresso Nacional os projetos de lei para a criação do novo Marco Regulatório da Mineração e da Agência Nacional de Mineração (ANM) – agência reguladora vinculada ao Ministério de Minas e Energia - e que será responsável pela fiscalização e formulação das regras do setor, substituindo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), que será extinto. No novo Marco Regulatório deverão constar aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.

Finalmente, cabe destacar que uma maior utilização de aplicações de TRs, seja para geração de energia limpa, seja para um maior controle de emissões atmosféricas, associa-se, de forma imediata, às preocupações com questões ambientais. Logo, uma política pública para o desenvolvimento

sustentável da cadeia produtiva de TRs no Brasil deve, necessariamente, estar alinhada às diretrizes gerais do Plano Nacional sobre Mudança do Clima, como destacado em seu artigo 12:

Art. 12. Para alcançar os objetivos da PNMCM, o país adotará, como compromisso nacional voluntário, ações de mitigação das emissões de gases de efeito estufa, com vistas em reduzir entre 36,1% (trinta e seis inteiros e um décimo por cento) e 38,9% (trinta e oito inteiros e nove décimos por cento) suas emissões projetadas até 2020⁶.

1.2. Objetivo e escopo

O presente estudo prospectivo visa fornecer os direcionadores estratégicos para a estruturação futura de uma agenda com ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil.

Seu escopo compreende a construção de cenários prospectivos do mercado global de TRs e a definição do cenário de referência, que serviu de pano de fundo para a construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs no Brasil como um todo. Inclui, ainda, a definição de direcionadores estratégicos – visão de futuro e objetivos de longo prazo – referentes às cadeias produtivas de aplicações consideradas estratégicas para o país, como os casos de ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento e fabricação de vidros especiais.

1.3. Metodologia geral do estudo

A eficácia de um estudo prospectivo está diretamente ligada a um desenho metodológico definido a partir de uma delimitação precisa das questões a serem respondidas, da sistematização do processo, da escolha criteriosa dos participantes e especialistas envolvidos e da avaliação e gestão do processo que permita realizar ajustes e correções de rumo com vistas à melhoria do processo de desenvolvimento como um todo. Descreve-se, nesta Seção, a metodologia adotada no desenvolvimento do estudo prospectivo sobre TRs.

⁶ BRASIL. *Plano Nacional sobre Mudança do Clima*. Brasília, 2008.



A Figura 8 representa o fluxograma geral de execução, que compreendeu as seguintes etapas:

- Revisão de estudos de referência sobre TRs no Brasil e no mundo (etapa 1);
- Pesquisa em base de dados sobre produção científica e propriedade intelectual em TRs em nível mundial: 1981-2011 (etapa 2);
- Definição de uma taxonomia única para o estudo do uso industrial, aplicação de TRs, funcionalidade habilitadora e elementos TRs requeridos (etapa 3);
- Hierarquização e caracterização das cadeias produtivas de interesse estratégico para o Brasil (etapa 4);
- Levantamento dos grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros em TRs (etapa 5);
- Elaboração do panorama nacional dos depósitos de TRs e indicação das competências nas primeiras etapas das cadeias produtivas das aplicações de TRs (etapa 6);
- Elaboração do panorama do mercado mundial de TRs: tendências e incertezas críticas (etapa 7);
- Construção de cenários prospectivos da evolução da cadeia produtiva de TRs em nível mundial e escolha do cenário global de referência (etapa 8);
- Mapeamento dos gargalos e desafios da cadeia produtiva de TRs no Brasil face ao cenário global de referência (etapa 9);
- Construção do roadmap estratégico da cadeia produtiva de TRs como um todo e definição dos direcionadores estratégicos para as cadeias de aplicações de TRs priorizadas: 2012-2030 (etapa 10);
- Edição do relatório final (etapa 11).

Descrevem-se, a seguir, as etapas do fluxograma de execução do estudo.

Etapa 1 - Revisão de estudos de referência sobre terras raras no Brasil e no mundo

O objetivo desta etapa foi identificar e analisar estudos de referência sobre TRs no Brasil e no mundo, tendo em vista:

- O mapeamento de lacunas existentes que mereçam atualização e elaboração de notas técnicas específicas;
- A identificação de descritores-chave para a pesquisa sobre produção científica e propriedade intelectual em TRs em nível mundial;
- A definição de uma taxonomia única, como será apresentado na Seção 1.4 deste Capítulo.

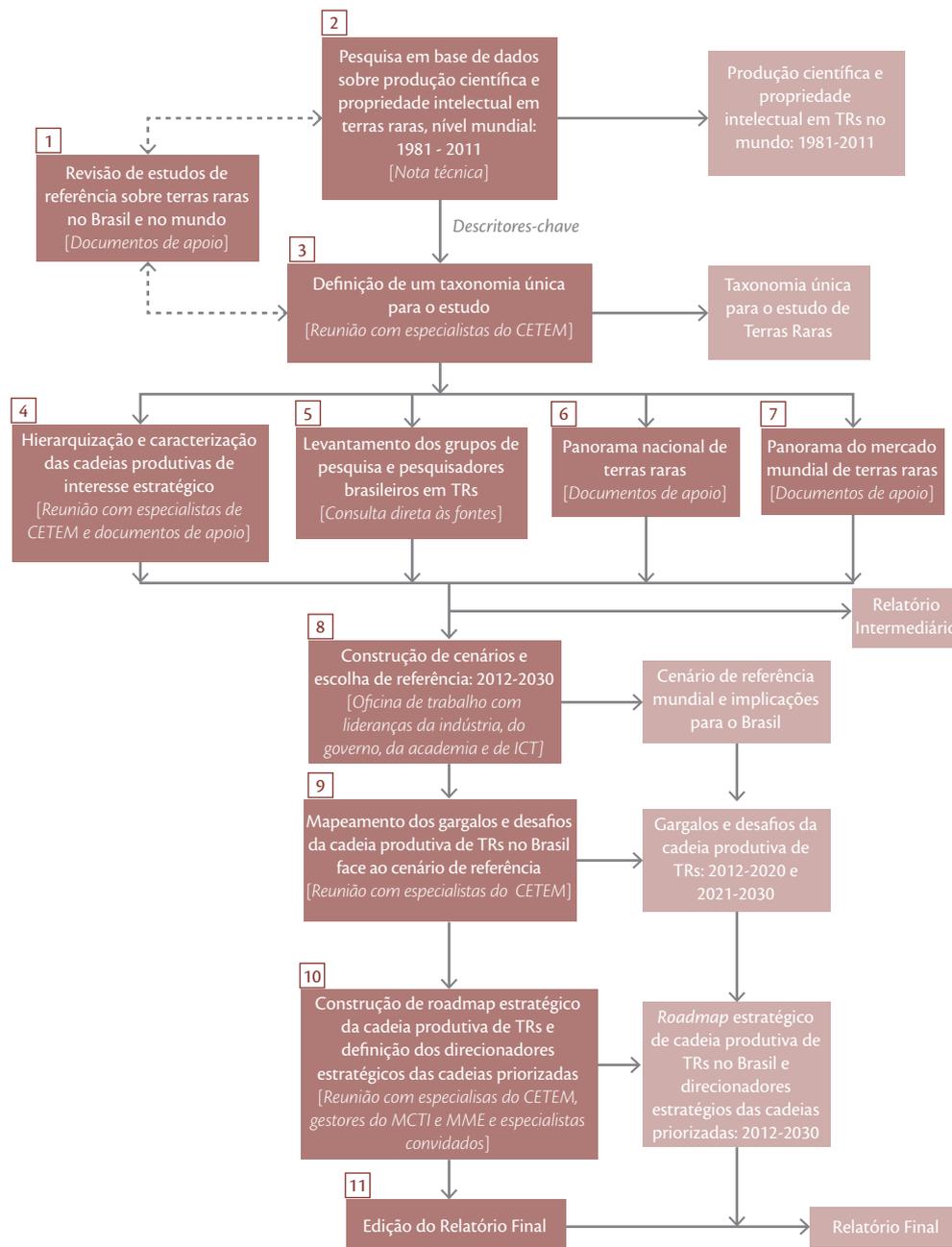


Figura 8. Fluxograma geral de execução do estudo Usos e Aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030



Em uma primeira revisão da literatura especializada e consulta a *sites* de instituições e especialistas atuantes nessa área, foram identificados importantes estudos que serviram de base para a realização das etapas 4, 5, 6 e 7. Os Quadros 1 e 2 apresentam esses documentos.

Quadro 1. Estudos de referência sobre terras raras no mundo

Título	Instituição	Ano de publicação
Critical Elements for New Energy Technologies: an MIT Energy Initiative Workshop Report	MIT (EUA)	2010
Critical Materials Strategy	Department of Energy (EUA)	2010
Critical Raw Materials for the EU	Comissão Europeia (Europa)	2010
The Global Role of Rare Earth Materials	Frost & Sullivan (internacional)	2011
Material risk impact to EU high-tech industries? Rare Earths: Europe-Australia cooperation on trade, security and sustainability	Ernst & Young (internacional)	2010
Rare Earth Elements: opportunities and challenges	Ernst & Young (internacional)	2010
China's Rare Earths Industry and its Role in the International Market	U.S.-China Economic and Security Review Commission Staff Backgrounder (EUA)	2010
China's Rare Earth Elements Industry: What Can the West Learn?	Institute for the Analysis of Global Security (IAGS)	2010
Global rare-earth production: history and outlook	Center for Strategic and International Studies (EUA)	2010
Critical Elements for New Energy Technologies: An MIT Energy Initiative Workshop Report	MIT (EUA)	2010
Technology minerals The rare earths race is on!	Ernst & Young (internacional)	2011
Study on Rare Earths and Their Recycling	Öko-Institut e.V. (Alemanha)	2011
The Rare Earths challenge: how companies react and what they expect for the future	RolandBerger Strategy Consultants (Alemanha)	2011
Critical Rare Earths Global supply & demand projections and the leading contenders for new sources of supply	Technology Metals Research, LLC. (EUA)	2011
Mineral Commodity Summaries 2011	USGS (EUA)	2011
Rare Earth Elements: The Global Supply Chain	Congressional Research Service (EUA)	2012
China's Rare Earth Industry and Export Regime: Economic and Trade Implications for the United States	Congressional Research Service (EUA)	2012
China Rare Earth Permanent Magnet Industry Report, 2011-2012	ResearchInChina (China)	2012
Evaluating Rare Earth Element Availability: A Case with Revolutionary Demand from Clean Technologies	MIT and American Chemical Society (EUA)	2012

Quadro 2. Estudos de referência sobre terras raras no Brasil

Título	Instituição	Ano de publicação
<i>Química e tecnologia de terras raras</i> , livro de autoria de Alcídio Abrão	Cetem (Brasil)	1994
Estudo I - As terras raras no mundo e no Brasil. Importância estratégica Estudo II - Inventário e classificação das ocorrências de terras raras no Brasil. Metalogenia/gitologia das terras-raras Estudo III - Reservas e caracterização químico-mineralógica das ocorrências de terras raras no Brasil Estudo IV - Perspectivas de desenvolvimento da indústria mínero-metalúrgica de terras raras no Brasil	Cetem/MCTI (Brasil)	2010
Perspectivas de Desenvolvimento da Indústria Mínero-Metalúrgica de Terras-Raras no Brasil	Grupo de Trabalho Interministerial – MME-MCTI de Minerais Estratégicos (Brasil)	2010
Lítio e terras raras no Brasil – potenciais de produção e suas limitações. Por Elzvir Azevêdo Guerra – Coordenador do MCT/SETEC/CGTS	Seminário Brasileiro sobre Tecnologias para Veículos Elétricos (Brasil)	2011
Diversas apresentações do I Seminário Brasileiro de Terras Raras	Diversos autores Cetem (Org.) (Brasil)	2011
Estudo para a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de terras raras no Brasil	Certi-Ifam (Brasil)	2011
Sumário Mineral 2011 – Terras Raras	DNPM (Brasil)	2012
Programa de Pesquisa Mineral de TRs da CPRM	CPRM (Brasil)	2012

Etapa 2 - Pesquisa em base de dados sobre produção científica e propriedade intelectual em terras raras em nível mundial: 1981-2011

Esta etapa consistiu do levantamento direto em duas bases de dados internacionais de referência para estudos bibliométricos: (i) *Scopus*, para o levantamento da produção científica; e (ii) *Derwent Innovations Index*, para o levantamento de patentes.

Ao abordar a problemática da delimitação em bases de dados de áreas multidisciplinares como TRs, faz-se necessário descrever os passos seguidos na recuperação dos dados e os recursos que as bases de dados selecionadas oferecem. Para a caracterização da atividade científica internacional em TRs e a elaboração dos filtros de pesquisa, foi fundamental efetuar a delimitação do objeto do estudo bibliométrico, selecionando-se os documentos a analisar e identificando-se as áreas de conhecimento e o período a ser contemplado.



Considerou-se que um horizonte temporal de 30 anos (1981-2011) seria o mais indicado para estudar a atividade científica e a propriedade intelectual no campo das TRs e caracterizar as tendências, os principais tópicos de interesse mundial, os autores, as instituições e as empresas de destaque. Essas informações de alto valor agregado servirão de suporte às análises prospectivas, que serão desenvolvidas em etapas seguintes. Os resultados dessa pesquisa encontram-se reportados nas Seções 2.5 e 2.6 do Capítulo 2 deste relatório.

Etapa 3 - Definição de uma taxonomia única para o estudo uso industrial, aplicação de TRs, funcionalidade habilitadora e elementos TRs requeridos

Esta etapa visou definir uma taxonomia única que possa ser adotada ao longo de todo o desenvolvimento do estudo e baseou-se fundamentalmente em: (i) resultados do levantamento nas bases de dados internacionais (etapa 2); (ii) análise de estudos sobre TRs realizados por diversas instituições de alto nível; e (iii) consultas a especialistas brasileiros atuantes nessa área.

A taxonomia contemplou a sequência: uso industrial, aplicação de TRs, funcionalidade habilitadora e elementos TRs requeridos. O método de escolha foi a análise de conteúdo, verificando-se as nomenclaturas e taxonomias adotadas pelos autores dos estudos e publicações consultadas.

Os resultados desta etapa encontram-se apresentados na Seção 1.4 deste Capítulo.

Etapa 4 - Hierarquização e caracterização das cadeias produtivas de interesse estratégico para o Brasil

A hierarquização foi conduzida de forma participativa, envolvendo as equipes do CGEE e do Cetem. Foram definidos e aplicados quatro critérios para a hierarquização das aplicações, a saber:

- Critério 1: Demanda global da aplicação (tonelagem e valor);
- Critério 2: Ocorrência de recursos minerais contendo TRs no Brasil;
- Critério 3: Importância estratégica para consecução de políticas de governo;
- Critério 4: Garantia de suprimento para setores básicos e defesa.

No processo de hierarquização, os graus atribuídos às cadeias foram: (i) muito importante – grau 5; (ii) média importância – graus 4 e 3; (iii) pouca ou nenhuma importância – 2 ou 1. Os resultados da hierarquização encontram-se reportados na Seção 4.2 do Capítulo 4.

Já a caracterização das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas (ímãs permanentes, catalisadores, entre outras) foi realizada com base em referências nacionais e internacionais e consulta a especialistas atuantes nas respectivas áreas. A caracterização abrangeu o seguinte escopo:

- Breve introdução, destacando a importância estratégica para o Brasil e uma síntese do contexto mundial e brasileiro referente à aplicação em foco;
- Descrição dos usos industriais da aplicação de TRs em foco, classificando-os em: (i) usos consolidados, que se situam na fase de maturidade no ciclo dos produtos; (ii) usos em maturação, referentes a produtos que já se encontram inseridos no mercado, mas ainda estão em fase de crescimento, com inovações incrementais; e (iii) novos usos, que rapidamente vêm sendo introduzidos no mercado;
- Desenho e descrição das etapas da cadeia produtiva da aplicação de TRs em foco (visão geral);
- Indicação do grau de domínio tecnológico e competência associada a cada etapa da cadeia, bem como alertas a outros aspectos a serem considerados na etapa 10 do fluxograma de execução do projeto.

Os resultados desta etapa encontram-se nos Capítulos 6 a 10, referentes aos “Direcionadores Estratégicos das Cadeias Produtivas de Aplicações de TRs”.

Etapa 5 - Levantamento dos grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros em TRs

O levantamento dos grupos de pesquisa e pesquisadores brasileiros em TRs foi realizado por consulta direta a três bases de dados: (i) Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil; (ii) Portal Inovação; e (iii) *Web of Science*.

Um levantamento no Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil (CNPq, 2012), utilizando-se os termos indicados abaixo, levou aos seguintes resultados:

- TRs (65 grupos);
- Lantanídeos (32 grupos);
- Compostos TRs (16 grupos);
- Elementos TRs (11 grupos);



- Óxidos de TRs (10 grupos);
- TRs pesados (7 grupos);
- TRs leves (1 grupo);
- Ímãs permanentes (7 grupos);
- Ímãs de TRs (4 grupos).

Os resultados parciais acima foram cruzados e analisados para identificação e tratamento de ocorrências de grupos de especialistas em dois ou mais dos subconjuntos acima. Para tal, geraram-se nove listas de grupos de pesquisa (correspondentes aos subconjuntos mencionados), visando eliminar as duplicatas e obter o número total de grupos de pesquisa que se encontram indexados no diretório do CNPq, segundo os termos pesquisados. Na sequência, procedeu-se a uma análise detalhada das linhas de pesquisa em cada um dos grupos identificados na primeira etapa, com vistas a identificar aquelas linhas mais diretamente relacionadas aos temas deste estudo e os respectivos especialistas.

Apresentam-se os resultados nos Quadros 10 e 11, com a inclusão de alguns grupos que foram identificados após a pesquisa de especialistas conduzida junto ao Portal Inovação⁷ e inclusões sugeridas pelos relatores dos capítulos sobre as cadeias produtivas de aplicações (Capítulos 6 a 10).

Chegou-se a um total de 496 especialistas, 49 instituições e 113 grupos de pesquisa, com atuação em projetos de P&D associados diretamente aos temas abordados no estudo prospectivo em desenvolvimento pelo CGEE.

Na sequência, em complementação aos resultados obtidos junto às duas bases de dados nacionais, consultou-se a base internacional *Web of Science* com os seguintes objetivos específicos: (i) identificar os pesquisadores brasileiros que publicaram trabalhos sobre TRs registrados nessa base no período de 1981 a 2011; e (ii) identificar as principais instituições brasileiras às quais esses autores estão vinculados, tratando-se adequadamente os acrônimos. Nesse caso, optou-se pelo termo geral *rare earth** e período considerado foi 1981-2011. Essa escolha permite posterior comparação com as informações sobre a produção científica e propriedade intelectual em nível mundial no mesmo período⁸.

⁷ BRASIL, MCTI. *Portal Inovação*. Disponível em: <<http://www.portalinovacao.mct.gov.br>>. Acesso em: junho de 2012.

⁸ ALMEIDA, M.F.L. *Produção científica e propriedade intelectual em terras raras: 1981 – 2011*. Mimeo. Brasília: CGEE, 2012.

Etapa 6 - Elaboração do panorama nacional de terras raras

A elaboração do panorama nacional das ocorrências de TRs no Brasil foi conduzida por consulta direta a especialistas do Cetem e do CPRM e a documentos elaborados nos últimos dois anos, como indicado no Quadro 2. A pesquisa documental abrangeu basicamente o estudo elaborado pelo Cetem em 2010, intitulado *Inventário e Classificação das Ocorrências de Terras Raras no Brasil*, as análises apresentadas no Relatório do Grupo de Trabalho Interministerial MME-MCTI de Minerais Estratégicos (GTI-ME), também de 2010; o trabalho desenvolvido pelo BNDES em 2012; e a publicação anual do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), sob o título *Sumário Mineral – Terras Raras*.

Etapa 7 - Elaboração do panorama do mercado mundial de terras raras

A elaboração do panorama do mercado mundial de TRs baseou-se em consulta aos documentos citados no Quadro 1, a *sites* especializados e às bases de dados Scopus e Derwent Innovation Index. Abrangeu os seguintes escopos: (i) principais usos e aplicações de TRs, com dados e informações de mercado referentes a dois períodos; (ii) oferta e demanda global referente a 2010, 2020 e 2030; (iii) preços de TRs e política de quotas de exportação que vem sendo praticada pela China; (iv) hegemonia atual da China e reposicionamento dos países consumidores; (v) produção científica mundial sobre TRs: 1981-2011; e (vi) propriedade intelectual em tecnologias de TRs: 1981-2011. Os dois últimos itens referem-se aos resultados da etapa 2 do fluxograma apresentado na Figura 8.

Etapa 8 - Construção de cenários prospectivos da evolução da cadeia produtiva de TRs em nível mundial e escolha do cenário global de referência

A construção de cenários prospectivos sobre a evolução da cadeia produtiva de TRs em nível mundial teve como base uma abordagem metodológica que contempla conteúdos propostos por Michel Godet⁹ e pela Global Business Network (GBN)¹⁰, em seis passos, conforme descrito a seguir:

⁹ GODET, M. *Manuel de Prospective Stratégique: tome 1 – une indisciplinée intellectuelle*. 2. ed. Paris: Dunod, 2001.

¹⁰ SCHWARTZ, P. *A arte da previsão: planejando o futuro em um mundo de incertezas*. São Paulo: Ed. Best Seller, 2000.



- Identificação da questão estratégica principal, ou seja, o que se deseja cenarizar (Godet e GBN);
- Análise estrutural para definição e classificação das variáveis em: (i) motrizes; (ii) de ligação; e (iii) de resultado. As autônomas deverão ser descartadas (Godet);
- Descrição dos condicionantes do futuro: tendências, invariantes, mudanças em andamento, fatos portadores de futuro e incertezas críticas (Godet);
- Definição das lógicas dos cenários (segundo a proposição da GBN em dois eixos);
- Descrição dos cenários e escolha do cenário de referência (Godet e GBN);
- Análise das implicações e opções estratégicas para o Brasil, tendo como pano de fundo o cenário de referência (Godet e GBN).

Uma descrição mais detalhada da metodologia adotada e dos resultados gerados nesta etapa encontram-se reportados no Capítulo 3.

Etapa 9 - Mapeamento dos gargalos e desafios da cadeia produtiva de terras raras no Brasil face ao cenário global de referência

O mapeamento dos desafios e gargalos que o Brasil terá que superar teve como pano de fundo o cenário global de referência e os resultados da análise *SWOT* referente ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil em dois períodos: 2012-2020 e 2021-2030. Os resultados desta etapa encontram-se reportados na Seção 4.4 do Capítulo 4.

Etapa 10 - Construção do roadmap estratégico da cadeia produtiva de terras raras e definição dos direcionadores estratégicos das cadeias de aplicações de terras raras prioritizadas

A abordagem conceitual adotada na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs como um todo se baseou no modelo de *foresight* do CGEE, que integra diversas ferramentas prospectivas. Essa abordagem permitiu a construção da visão de futuro e do *roadmap* estratégico com diretrizes e ações para o fortalecimento do posicionamento estratégico do Brasil em setores industriais de interesse estratégico para o país, como é o caso da indústria de TRs.

A visão de futuro deve representar as expectativas e os legítimos interesses das entidades envolvidas (governo, empresas, ICTs e outras partes interessadas) para a evolução de um determinado sistema ou organização. Nessa perspectiva, foi realizada uma reunião na sede do Cetem, no Rio de Janeiro, com a participação das equipes do CGEE e do Cetem e convidados do governo, da academia e da indústria (Anexo 3).

A partir do cenário global de referência e dos resultados da análise estratégica do posicionamento do Brasil no mercado global de TRs nas próximas décadas, construiu-se a visão de futuro (2030) da cadeia produtiva de TRs como um todo. Na sequência, definiram-se os objetivos estratégicos para alcance dessa visão de futuro, expressos de acordo com oito dimensões de análise. Finalmente, consolidou-se o *roadmap* estratégico da cadeia de TRs no Brasil como base para a construção futura dos respectivos *roadmaps* estratégicos das cinco aplicações consideradas estratégicas para o país na próxima década, a saber: (i) ímãs permanentes; (ii) catalisadores; (iii) ligas metálicas; (iv) fósforos; e (v) pós para polimento e fabricação de vidros especiais. Os *roadmaps* resultantes deverão refletir as opiniões e os consensos de representantes do governo, da academia e de empresas em torno das questões críticas apontadas na etapa 9, incluindo a definição de prazos e atores a serem envolvidos na implementação das ações propostas. Uma descrição mais detalhada das etapas seguidas e os conceitos adotados encontram-se no início do Capítulo 5.

Etapa 11 - Edição do relatório final

Esta etapa foi realizada logo após a reunião de construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs e direcionadores estratégicos das cadeias de aplicações de TRs priorizadas (etapa 10). Incorporou conteúdos do relatório intermediário e contribuições geradas no *workshop* de cenários e na reunião de construção do *roadmap* estratégico de TRs no Brasil: 2012-2030.

A elaboração do documento final seguiu as normas de edição do CGEE e abrangeu o escopo definido no termo de referência do projeto.



1.4. Conceitos básicos e taxonomia de usos e aplicações

O conceito de mineral estratégico adotado neste documento é o mesmo do Plano Nacional de Mineração 2030 (PNM-2030) e compreende três situações:

- Minerais de que o país depende e que importa em grande escala, tais como o potássio e o carvão metalúrgico, essenciais para setores vitais da nossa economia;
- Minerais cuja demanda é crescente e que deverá se expandir ainda mais nas próximas décadas por causa do uso em produtos de alta tecnologia, como TRs, lítio e tantalita, entre outros, denominados minerais portadores do futuro;
- Minerais em que o Brasil apresenta vantagens comparativas naturais e liderança internacional em reservas e produção, tais como os minérios de ferro e de nióbio.

Buscou-se definir, no início do presente estudo, uma taxonomia única de usos e aplicações associadas às TRs a partir dos resultados do levantamento nas bases de dados internacionais, de estudos sobre o tema realizados por diversas instituições de alto nível e consultas a especialistas brasileiros atuantes nessa área. A taxonomia contemplou a seguinte sequência de informações: uso industrial, aplicação de TRs, funcionalidade habilitadora e elementos TRs requeridos.

O método adotado foi a análise de conteúdo, verificando-se as nomenclaturas e taxonomias adotadas pelos autores dos estudos e publicações consultadas. Não obstante a grande variedade de aplicações de TRs reconhecidamente importantes no mundo moderno, essas aplicações podem ser divididas em duas grandes categorias, a saber:

- Usos que permitem ou facilitam o processamento de materiais de engenharia ou outros (process enablers). Exemplos de aplicações nessa categoria são: catalisadores para unidades de FCC na indústria do petróleo e catalisadores automotivos;
- Usos de TRs como blocos de construção de produtos de engenharia (technology building blocks). Nessa categoria, encontram-se os ímãs permanentes, com inúmeras aplicações, baterias para armazenamento de energia, fósforos para uso em *displays* de cristal líquido (LCD), para citar alguns exemplos.

1.4.1. Terras raras como facilitadoras do processo

Na primeira categoria, as aplicações finais de TRs inserem-se nos ciclos de vida de outros materiais e componentes, nos quais os elementos TRs não fazem parte da composição propriamente dita dos materiais processados. Há muitos processos específicos que se beneficiam das aplicações de elementos TRs. Exemplos representativos dessa categoria incluem:

- Catalisadores de craqueamento em leito fluidizado (unidades de FCC): são materiais usados na indústria de refino de petróleo para converter óleo bruto em gasolina e outros produtos derivados de maior valor agregado. La e Ce são adicionados aos compostos catalíticos para aumentar sua capacidade de interagir com átomos de hidrogênio (H) encontrados nas moléculas de cadeia longa de hidrocarbonetos.
- Catalisadores automotivos: os veículos modernos utilizam conversores catalíticos para reduzir a emissão de poluentes que resultam do processo de combustão interna. O CeO_2 é o composto usado nesses processos. Em alguns casos, são empregados com La_2O_3 e Nd_2O_3 e, em geral, em conjunto com metais do grupo da platina.
- Pós para polimento e fabricação de vidros especiais: quantidades significativas de CeO_2 (com quantidades pequenas de La_2O_3 e Nd_2O_3 na composição final) são utilizadas no polimento de vidros, espelhos, telas de TV, monitores de computador, bem como as formas para produzir chips de silício. Quando utilizados na forma de pó fino, os óxidos de TRs reagem com a superfície do vidro para formar uma suave camada (o efeito chamado de mecanoquímica), tornando mais fácil o polimento da superfície do vidro e conferindo aos produtos um acabamento de alta qualidade.

1.4.2. Terras raras como blocos de construção de tecnologias

O segundo grupo de utilizações finais para as TRs consiste em incorporar os elementos TRs em complexas ligas e compostos que são, então, utilizados em componentes de engenharia. Esses componentes podem ser utilizados em subconjuntos que, por sua vez, podem ser utilizados para produzir um produto complexo de engenharia ou um dispositivo. Em alguns casos, quantidades relativamente pequenas de elementos TRs são utilizadas no produto final, porém a presença desses elementos, mesmo em quantidades pequenas, torna-se essencial para a funcionalidade e a aplicação final pretendida.



Nessa categoria, incluem-se:

- Ímãs permanentes: a utilização de elementos TRs em certas ligas magnéticas tem propiciado a produção de materiais que geram campos magnéticos muito fortes. Ao mesmo tempo, esses ímãs são capazes de resistir à desmagnetização quando expostos a outros campos magnéticos ou ao aumento de temperatura. Os ETRs presentes nessas ligas, tais como Nd, Pr, Sm, Dy e Tb, efetivamente ajudam a aumentar o ferromagnetismo de metais de transição, tais como o ferro (Fe) e o cobalto (Co). Essas características têm revolucionado a área de magnetismo nos últimos anos, principalmente na produção de motores elétricos de alto desempenho que convertem energia elétrica em movimento mecânico; e também na fabricação de geradores elétricos que, operando em sentido inverso, convertem o movimento mecânico em eletricidade. Motores que empregam ímãs permanentes (PMM) e geradores (PMG) têm sido usados em veículos elétricos híbridos (VEH). Outra aplicação importante refere-se à próxima geração de turbinas eólicas como um meio de eliminar as caixas de câmbio e outros componentes que estão sujeitos a problemas de confiabilidade. Os ímãs nessas grandes turbinas contêm cerca de 150-200 kg de Nd + Pr e cerca de 20-35 kg de Dy por MW de capacidade geradora. Além de serem capazes de produzir tais máquinas elétricas com maior eficiência e com maior desempenho, os ímãs permanentes tornaram possível a miniaturização de motores, alto-falantes, unidades de disco rígido, ferramentas elétricas sem fios e outras aplicações que utilizam ímãs permanentes para operar. As duas famílias mais importantes de ímãs permanentes são aquelas baseadas em compostos de Sm, Co e outros elementos, assim como aquelas com base em compostos de Nd, Fe e boro (B), juntamente com outros elementos TRs como Pr, Dy e Tb.
- Baterias: os compostos de La e níquel (Ni) são utilizados para produzir células de bateria de armazenamento de energia. A presença do lantânio permite a absorção de H na célula e facilita a reversão desse processo eletroquímico, gerando compostos La-Ni-H, os quais são particularmente apropriados para aplicações de baterias recarregáveis. Estão ganhando cada vez mais terreno as baterias baseadas em La-Ni-H por serem muito eficazes e confiáveis no armazenamento de energia elétrica para inúmeras aplicações, como, por exemplo, baterias para carros HEV, que usam aproximadamente 2,3 kg de La por veículo.
- Fósforos: materiais de fósforo emitem luz após serem expostos a elétrons ou a raios ultravioleta (UV). Os *displays* de cristal líquido (LCD), telas de plasma, diodos emissores de luz (LEDs) e lâmpadas fluorescentes compactas (CFL) utilizam esses materiais, gerando produtos muito mais eficientes em termos de consumo de energia. Os compostos que contêm Eu, Y e Tb são frequentemente usados para produzir fósforos.
- Aditivos para vidros: CeO_2 e La_2O_3 são utilizados como aditivos na indústria do vidro para uma variedade de finalidades. São usados para remover a coloração indesejável em um determinado vidro comercial, reduzindo os efeitos da presença de Fe no produto. Também são usados para reduzir a penetração da luz UV, protegendo, assim, o interior dos veículos e outros materiais que se degradam ao longo do tempo em presença de raios UV. Também podem ser utilizados para aumentar o índice de refração das lentes de vidro.

Chegou-se a uma taxonomia contemplando dez aplicações de TRs com os mais diversos usos industriais. As aplicações identificadas foram: (i) ímãs permanentes; (ii) catalisadores; (iii) ligas metálicas ferrosas contendo TRs; (iv) ligas metálicas não ferrosas contendo TRs; (v) fósforos; (vi) pós para polimento; (vii) fabricação de vidros e lentes especiais; (viii) fibras ópticas dopadas com TRs; (ix) baterias de níquel - metal -hidreto - (Ni-MH); e (x) cerâmicos.

O Quadro 3 apresenta a taxonomia utilizada ao longo de todo o estudo.

Quadro 3. Taxonomia única para o estudo prospectivo de terras raras

Uso industrial	Aplicação de TRs	Funcionalidade habilitadora	Elementos TRs requeridos
Veículos elétricos, híbridos, <i>plug-in</i>	Ímãs permanentes	Motores de tração elétrica, substituindo ou suplementando motores de combustão interna	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Motores elétricos em veículos convencionais e avançados	Ímãs permanentes	Redução do consumo de combustível pela diminuição do peso do veículo	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Geração de energia eólica e hidrelétrica	Ímãs permanentes	Geradores sem engrenagem para maior confiabilidade e desempenho	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Ferramentas elétricas sem fio	Ímãs permanentes	Motores elétricos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Sistema integrado automático de partida	Ímãs permanentes	Sistema integrado automático de partida, reduzindo consumo de combustível	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Unidades de discos rígidos para computadores	Ímãs permanentes	Motores elétricos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Dispositivos pessoais móveis sem fio	Ímãs permanentes	Aparelhos compactos, leves e potentes	Nd, Pr, Dy, Tb, Y, Eu, Sm
Equipamentos para diagnóstico por imagem (MRI)	Ímãs permanentes	Geração de campo magnético	Nd, Pr, Dy, Tb, Sm
Unidades de craqueamento catalítico em leito fluidizado (FCC)	Catalisadores	Propiciam sítios ácidos para a matriz catalítica	La, Ce, Pr e Nd
Conversores catalíticos e outras tecnologias para redução de emissões atmosféricas	Catalisadores	Capacidade de oxidação de CO e ozônio para CO ₂ e O ₂	Ce, La
Indústria automotiva	Ligas metálicas ferrosas contendo TRs	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas	Todos ETRs
Indústria aeroespacial, geração de energia nuclear, fabricação e operação de satélites, linhas de transmissão de energia, sistemas de refrigeração magnética, entre outros	Ligas metálicas não ferrosas contendo TRs	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas	Todos ETRs
Lâmpadas fluorescentes compactas e lineares, LEDs, entre outros itens de iluminação	Fósforos	Redução no consumo de energia, com melhoria das características de cor e luminescência	Y, Eu, Tb



Dispositivos pessoais móveis sem fio	Fósforos	<i>Displays</i> em telas planas	Y, Eu, Tb, Gd, Ce
Telas planas de TV e <i>displays</i>	Fósforos (excitados por UV em baixa pressão)	Cores brilhantes – vermelha, verde e azul – em grandes telas planas	Y, Eu, Tb, Gd, Pr, Ce
Detectores de raios X e raios gama	Fósforos	Captura de luz de cintilação e sistemas de detecção	Y, Eu, Tb, La, Ce
Pós para polimento de vidros e lentes	Pós para polimento	Melhoria das propriedades ópticas de vidros e lentes	Ce
Fabricação de vidros e lentes	Fabricação de vidros e lentes especiais (mudanças de propriedades físico-químicas de vidros e lentes)	Descoloração de vidros, bloqueio de luz ultravioleta e composição de lentes e vidros especiais (usos em medicina e indústria aeroespacial, dentre outros)	La, Ce, Nd, Pr, Yb, Ho, Er
Fibras ópticas para telecomunicações	Fibras ópticas dopadas com TRs	Amplificação de sinal	Y, Eu, Tb, Er, Nd e Ho
Sensores de gases, incluindo CO	Cerâmicos	Monitoramento e controle de emissões gasosas Melhoria de desempenho de motores a combustão	Y
Lasers para usos diversos (medicina, defesa e outros)	Cerâmicos	Orientação de artefatos de defesa, precisão de corte e incisões	Y, Nd e outros
Dispositivos de armazenagem de energia (capacitores cerâmicos, de tântalo e de outros tipos dopados com TRs)	Cerâmicos	Alta densidade energética em comparação com capacitores convencionais	Todas TRs
Dispositivos de armazenagem de energia	Baterias de níquel - metal -hidreto - (Ni-MH)	Melhor custo-benefício dessa tecnologia, quando comparado a baterias de íons de lítio	La

1.5. Estrutura do estudo prospectivo

O estudo está estruturado em 11 capítulos, incluindo esta introdução.

O segundo Capítulo descreve o panorama mundial de TRs, destacando a tendência de crescimento da demanda de TRs nas próximas décadas e as incertezas quanto à estabilidade dos preços dos elementos TRs e à garantia de suprimento por parte da China, hoje praticamente monopolista da produção mundial desses minerais. Discute o reposicionamento dos países consumidores e detentores de jazidas minerais que contêm TRs, como é o caso de Brasil, EUA, Canadá, África do Sul e Malásia, para citar alguns exemplos. Finalmente, apresenta os resultados da pesquisa em bases de dados internacionais sobre a produção científica e a propriedade intelectual em tecnologias de TRs, em nível mundial, cobrindo o período 1981-2011.

No Capítulo 3, apresenta-se uma síntese do panorama nacional de TRs. O Capítulo 4 reúne os principais resultados da análise da situação atual da cadeia produtiva de TRs, segundo uma perspectiva global, os condicionantes do futuro e as incertezas críticas da evolução dessa cadeia no horizonte 2030. Esses conteúdos serviram de base para a construção de cenários prospectivos múltiplos e escolha do cenário global de referência. Descrevem-se, ainda, os quatro cenários prospectivos globais, incluindo a exposição do cenário de referência. Ao final, reúnem-se os resultados da análise estratégica da cadeia produtiva de TRs no Brasil face ao cenário de referência global.

Os Capítulos 5 a 10 constituem a parte central do estudo. Considerando o cenário global de referência e a análise estratégica do posicionamento do Brasil nas próximas décadas, o Capítulo 5 apresenta a visão de futuro da cadeia produtiva de TRs como um todo e os objetivos estratégicos para alcançar tal visão. Na sequência, desdobram-se os objetivos estratégicos em ações referentes a dois horizontes temporais (2020 e 2030), definindo-se prazos e atores a serem envolvidos. Apresenta-se, assim, o *roadmap* estratégico da cadeia de TRs no Brasil: 2012-2030.

A exemplo da cadeia produtiva de TRs, objeto do Capítulo 5, apresentam-se, nos capítulos subsequentes, a visão de futuro de cada cadeia produtiva e os objetivos estratégicos para alcance dessas visões, expressos de acordo com oito dimensões de análise em todos os cinco casos. As aplicações consideradas estratégicas para o país foram: (i) ímãs permanentes; (ii) catalisadores; (iii) ligas metálicas; (iv) fósforos; e (v) pós para polimento, vidros e lentes especiais.

O Capítulo 11 reúne as principais conclusões e recomendações do estudo.

2. Panorama mundial de terras raras¹¹

Apresenta-se uma síntese do panorama mundial de TRs, destacando a tendência de crescimento da demanda de TRs nas próximas décadas e as incertezas quanto à estabilidade dos preços dos elementos TRs e à garantia de suprimento por parte da China, hoje praticamente monopolista da produção mundial desses minerais.

¹¹ Este Capítulo foi elaborado por Carlos Augusto Caldas de Moraes e Maria Fatima Ludovico de Almeida.



Discute-se o reposicionamento dos países consumidores e detentores de jazidas minerais que contêm TRs, como é o caso de Brasil, EUA, Canadá, África do Sul e Malásia, para citar alguns exemplos.

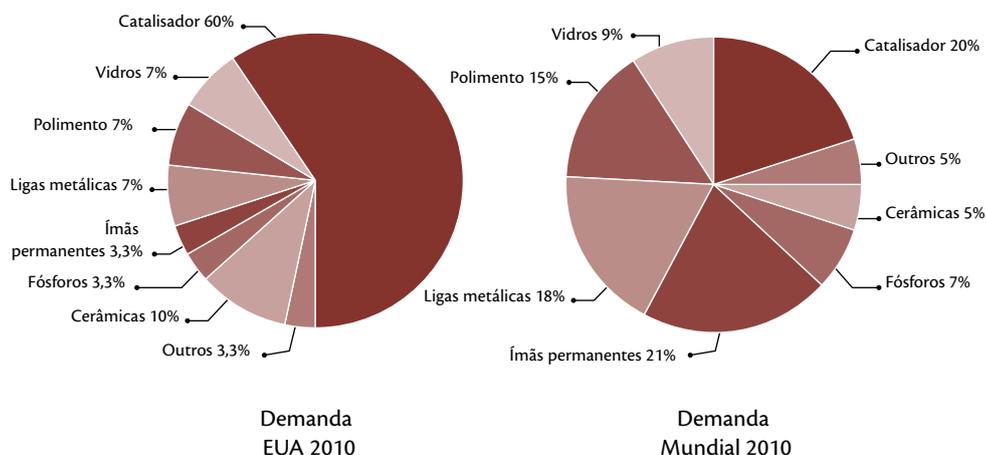
Finalmente, apresentam-se os resultados da pesquisa em bases de dados internacionais sobre a produção científica e a propriedade intelectual em tecnologias de TRs, em nível mundial, cobrindo o período 1981-2011.

2.1. Principais usos e aplicações

Conforme mencionado anteriormente, são dez as aplicações dos 17 elementos de TRs identificadas neste estudo: (i) ímãs permanentes; (ii) catalisadores; (iii) ligas metálicas ferrosas contendo TRs; (iv) ligas metálicas não ferrosas contendo TRs; (v) fósforos; (vi) pós para polimento; (vii) fabricação de vidros e lentes especiais; (viii) fibras ópticas dopadas com TRs; (ix) baterias de níquel - metal -hidreto - (Ni-MH); e (x) cerâmicos.

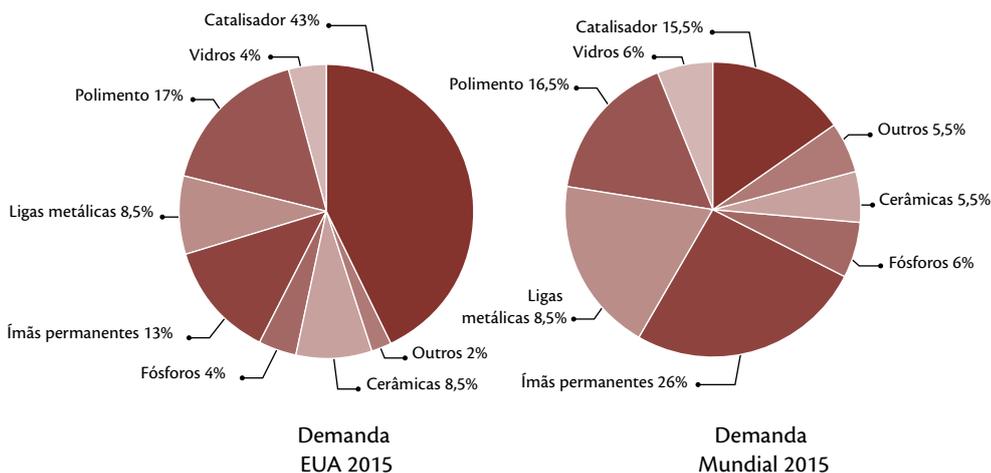
A importância relativa dessas aplicações é destacada em um estudo do Congressional Research Service (2012), dos EUA, que apresenta dados sobre a demanda por TRs nos EUA e no mundo por tipo de aplicação em 2010, além de estimar a demanda para 2015.

As figuras 9 e 10 mostram os dados de 2010 e as estimativas para 2015. A aplicação em baterias – item (viii) acima – é incluída no item Outros.



Fontes: IMCOA (2011); Congressional Research Service (2012).

Figura 9. Demanda de terras raras por aplicação: EUA e mundo (2010)



Fontes: IMCOA (2011); Congressional Research Service (2012).

Figura 10. Estimativa da demanda de terras raras por aplicação: EUA e mundo (2015)

Em 2010, as aplicações de TRs em catalisadores representaram a principal aplicação nos EUA (60%) e a segunda no mundo (20%). Ímãs permanentes, ligas metálicas e pós para polimento, com um total de 54%, são outras aplicações que se destacam no cenário mundial. Já para 2015, é estimado que o quadro mundial apresente uma redução em catalisadores e acréscimos importantes em ímãs permanentes, ligas metálicas e pós para polimento, que passariam a representar cerca de 62% do total.



Um estudo publicado pelo Departamento de Energia dos EUA (2010) enfatizando as aplicações de TRs em energias limpas identificou como possivelmente crítica a oferta no curto e médio prazo (até 15 anos) de alguns dos 17 ETRs. São eles: neodímio (definido como um ETRs leve), disprósio, európio, térbio e ítrio (ETRs pesados). Outras referências incluem também o praseodímio (ETRs leve) como potencialmente crítico.

Um segundo estudo publicado pela Ernst & Young (2011) identificou as principais aplicações desses ETRs críticos (com exceção do praseodímio), dentre as quais predominam ímãs permanentes, ligas metálicas, cerâmicas e fósforos (Quadro 4). O crescimento anual estimado dessas aplicações é elevado nos períodos considerados pelo estudo (2010-2015 e 2015-2020), com predominância de ímãs permanentes e ligas metálicas (Quadro 5).

Quadro 4. Elementos de terras raras: propriedades e aplicações

Terras raras	Propriedades	Aplicações (estimativa de uso por aplicação)
Neodímio	Catalíticas, magnéticas, ópticas e elétricas	Ímãs magnéticos (69,4%) Ligas metálicas (16,5%) Cerâmicas (12%) Outras (15%)
Disprósio	Magnéticas e ópticas	Ímãs magnéticos (5%)
Európio	Ópticas	Fósforos (4,9%)
Térbio	Magnéticas e ópticas	Fósforos (4,6%)
Ítrio	Ópticas	Fósforos (69,2%) Cerâmicas (53%) Outras (19%)

Fontes: Lynas Corporation (2010); Ernst & Young (2011).

Quadro 5. Taxas estimadas de crescimento anual de aplicações selecionadas nos períodos 2010-2015 e 2015-2020

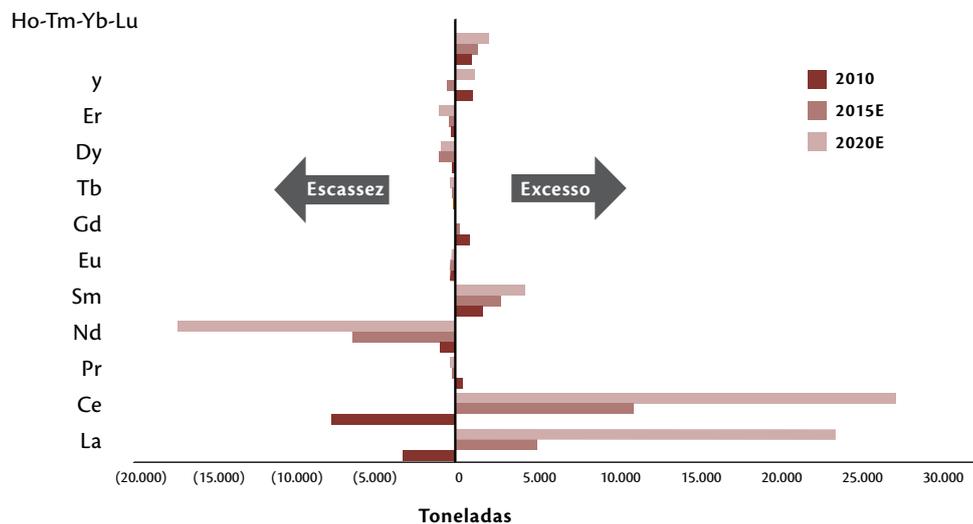
Aplicações	Crescimento anual 2010 – 2015	Crescimento anual 2015-2020
Ímãs magnéticos	10% - 15%	10% - 15%
Ligas metálicas	8% - 12%	5% - 10%
Fósforos	6% - 10%	5% - 7%
Cerâmicas	6% - 8%	6% - 8%
Outras	6% - 8%	8% - 12%

Fontes: Dudley J, Kingsnorth (2010); Ernst & Young (2011).

A crescente demanda em aplicações essenciais, associada à menor participação percentual dos elementos indicados no Quadro 4 nas reservas conhecidas, terá impacto significativo não só na oferta futura desses ETRs, como também nos seus preços.

2.2. Oferta e demanda global: 2010-2020

A Figura 11, extraída do estudo da Ernst & Young (2011) mencionado anteriormente, apresenta, em formato gráfico, uma estimativa de oferta e da demanda de ETRs para o período 2010-2020.



Fonte: Ernst & Young (2011).

Figura 11. Demanda e oferta de terras raras segundo Ernst & Young: 2010-2015-2020

Observando-se a Figura 11, destacam-se as seguintes tendências: (i) excesso de oferta de lantânio e cério (a partir de 2015) e de samário (em menor escala); (ii) significativa escassez de neodímio, crescente a partir de 2010; (iii) escassez do disprósio desde 2010; e (iv) certo equilíbrio entre oferta e demanda, seja nos outros três ETRs – európio, térbio e ítrio –, considerados críticos no estudo do Departamento de Energia dos EUA (2010), seja no praseodímio.



Em outro estudo, que não confirma as estimativas adotadas pela Ernst & Young, a consultoria *Technology Metals Research* (2011) desenvolveu cenários, cujas estimativas médias indicam que, até 2017, os ETRs considerados críticos pelo Departamento de Energia dos EUA suprirão, com folga, as demandas individuais (Figura 12).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
La ₂ O ₃	○	○	○	✓	✓✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓
CeO ₂	○	○	○	✓	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓✓✓
Nd ₂ O ₃	✕	✕	✕	○	○	✓	✓✓	✓✓✓
Eu ₂ O ₃	✕✕	✕✕	✕✕	✕✕	✕	○	✓✓	✓✓
Tb ₄ O ₇	✕	✕	✕	✕	✕	○	✓✓	✓✓✓
Dy ₂ O ₃	✕✕	✕✕	✕✕	✕✕	✕✕	✕✕	○	✓
Y ₂ O ₃	✕✕	✕✕	✕✕	✕✕	✕✕	✕	✓	✓✓
CREO	✕	✕	✕	✕	✕	✓	✓✓	✓✓✓

Oferta como % da demanda: ✕✕ =50-74% : ✕ =75-94% : ○ =75-94% : ✓ =106-125% : ✓✓ =126-150% : ✓✓✓ ≥151%
 CREO = Óxidos de Nd, Eu, Tb, Dy e Y

Fonte: Technology Metals Research - TMR (2011).

Figura 12. Demanda e oferta de terras raras segundo TMR: período de 2010 a 2017

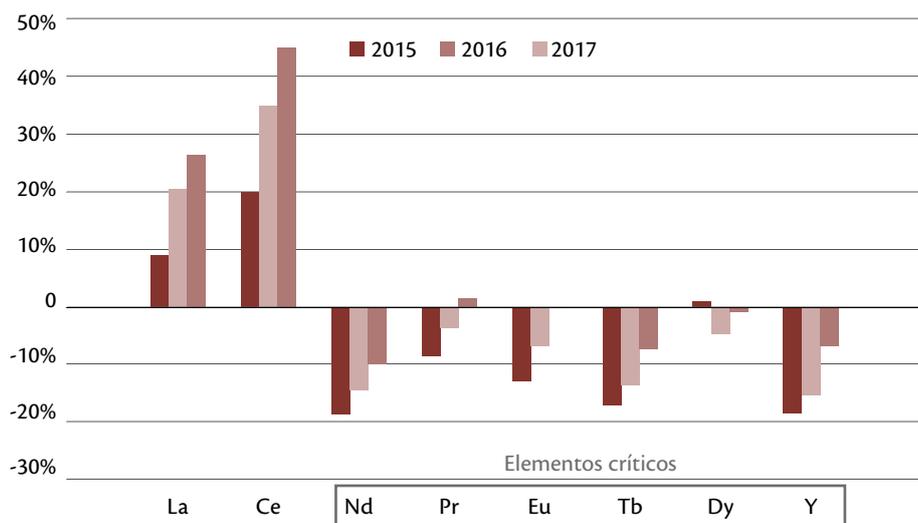
As diferenças entre as estimativas adotadas nos dois estudos – Ernst & Young e TMR – confirmam a dificuldade de projetar a demanda e a oferta para os ETRs individuais em uma situação de predominância da China e de incertezas quanto ao sucesso de novos empreendimentos em outros países (por exemplo, EUA, Austrália, África do Sul e Dinamarca/Groenlândia).

As observações de Alonso et al. (2012) demonstram preocupação com a oferta futura de ETRs “[...] devido às condições [atuais] de oferta monopolística, às práticas ambientalmente insustentáveis na mineração e ao rápido crescimento da demanda”. Segundo os autores, a busca de um futuro sustentável incentivará as aplicações de ímãs permanentes em turbinas eólicas e em veículos elétricos, que demandam intensamente o uso de neodímio e de disprósio, e isso poderia levar a “aumentos significativos e desproporcionais na demanda por esses dois elementos” (ALONSO et al., 2012, p. 1).

Adicionalmente, consideram que a preocupação com a estabilização da concentração de CO₂ na atmosfera pode resultar em aumentos de até 700% no uso de neodímio e de até 2.600% na utilização de disprósio nos próximos 25 anos, caso não haja “reutilização eficiente e reciclagem, ou o desenvolvimento de tecnologias que utilizem menores quantidades de disprósio e neodímio”.

É importante lembrar também que os outros ETRs considerados críticos (ítrio, térbio e európio) são utilizados, com neodímio e outros elementos não críticos, em aplicações industriais que devem apresentar crescimento rápido nos próximos anos. São elas: lâmpadas fluorescentes compactas e lineares; LEDs (entre outros itens de iluminação); dispositivos pessoais móveis sem fio; telas planas de TV e *displays*; detectores de raios-X e raios gama; e fibras ópticas para telecomunicações.

Outra estimativa para a demanda e a oferta de ETRs críticos, que indica escassez desses elementos no período 2015-2017, foi apresentada em evento na Câmara Federal, em 2011, pela empresa canadense-brasileira MBAC (Figura 13).



Fonte: Apresentação MBAC Fertilizantes, 2012.

Figura 13. Estimativa de escassez/excesso de oferta de ETRs críticos: 2015-2017

Muito embora se reconheça a qualidade do estudo da TMR, os fatores comentados acima parecem indicar que as estimativas de escassez de ETRs críticos adotadas pela Ernst & Young (2011) são mais plausíveis.



Um quarto estudo, publicado pela empresa alemã de consultoria Roland Berger (2011), apresenta uma estimativa detalhada da demanda mundial de ETRs por aplicação em 2011, reproduzida na Tabela 1.

Do total estimado de 137 mil toneladas de óxidos, lantânio e cério representam pouco mais de 83 mil toneladas. Nas posições seguintes, encontram-se neodímio (25 mil toneladas), ítrio (15,3 mil toneladas) e praseodímio (9,0 mil toneladas).

Tabela 1. Demanda mundial de óxidos de terras raras em 2011, por aplicação

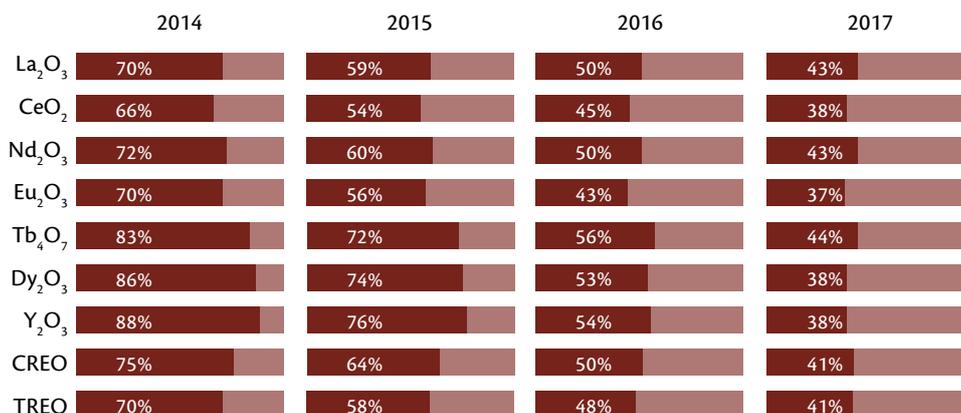
Aplicação	Uso de óxidos de terras raras (mil toneladas)										
	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Outros
Pós para polimento (19,0)		6,0	12,4	0,7							
Aditivos para vidros (8,2)	0,2	2,0	5,4	0,1	0,2						0,3
Cerâmicas (13,6)	7,2	2,3	1,6	0,8	1,6						
Ímãs permanentes (26,8)				5,9	18,8			0,5	0,1	1,5	
Catalisadores automotivos (9,5)		0,5	8,6	0,2	0,3						
Catalisadores para FCC (19,0)		17,1	1,9								
Baterias (14,9)		7,5	5,0	0,5	1,5	0,5					
Ligas metálicas exceto para baterias (9,6)		2,5	5,0	0,5	1,6						
Fósforos (9,5)	6,6	0,8	1,0				0,5	0,2	0,4		
Outros (6,8)	1,3	1,3	2,7	0,3	1,0	0,1		0,1			
Total (137,0)	15,3	39,9	43,5	9,0	25,0	0,6	0,5	0,8	0,5	1,5	0,3

Fonte: Roland Berger (2011).

O estudo da Technology Metals Research [TMR (2011)], mencionado anteriormente, também apresenta estimativas de participação importante da produção de ETRs fora da China, prevendo uma menor dependência dos países em relação ao fornecimento chinês, como ilustra a Figura 14

À exceção dos projetos da empresa Molycorp (Mountain Pass, EUA) e da empresa Lynas (Mount Weld, Austrália), que iniciaram suas operações em 2012, os outros projetos em implantação no mundo não devem entrar em produção antes de 2015. Podem parecer otimistas as estimativas de participação não chinesa na produção mundial até 2017 (entre 63% e 57%, dependendo do ETRs considerado).

A previsão de demanda para 2015 é de 185 mil toneladas, segundo o *Congressional Research Service*, dos EUA.



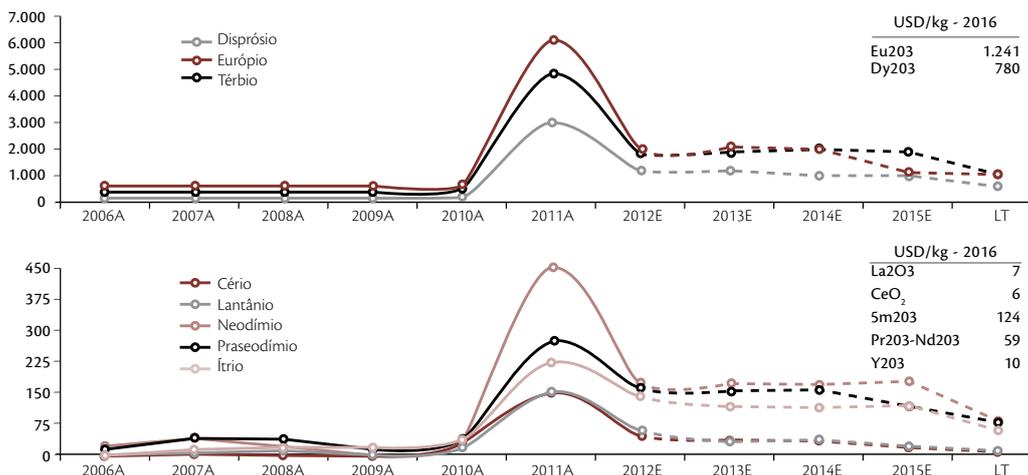
Fonte: TMR - Technology Metals Research (2011).

Notas: CREO = óxidos de Nd, Eu, Tb, Dy e Y; TREO = óxidos de La-Lu + Y.

Figura 14. Estimativa de participação chinesa no fornecimento mundial de terras raras: 2014-2017

2.3. Preços de terras raras

De acordo com estimativas adotadas pela empresa mineradora MBAC, que desenvolve um projeto em Araxá, os preços dos ETRs, embora sujeitos a razoável volatilidade, deverão manter-se abaixo dos altos níveis verificados em 2011, mas acima dos preços vigentes antes de 2010. Lantânio e cério, devido à estimativa de excesso de oferta, deverão manter preços muito baixos de 2016 em diante. A Figura 15 ilustra essa projeção.



Fonte: MBAC Fertilizantes, 2012.

Figura 15. Evolução dos preços históricos e futuros para ETRs selecionados



Após a recente redução (2011-2012), estima-se que os preços apresentarão variações menos significativas nos próximos anos até o início da produção dos novos empreendimentos fora da China.

Ainda segundo a empresa Roland Berger (2011), o desenvolvimento futuro dos preços dos ETRs (leves e pesados) sofrerá a influência de quatro fatores principais, a saber:

- A estratégia percebida da China, que parece ser de incentivar empresas estrangeiras de alta tecnologia a se instalar no país, o que possibilitaria a criação de um virtual monopólio ao longo de toda a cadeia de valor de TRs;
- A possibilidade de fornecimento de ETRs por empresas fora da China, que, caso não se materialize, poderá levar à escassez de elementos pesados;
- A demanda crescente por ETRs nas diversas áreas de alta tecnologia, como superímãs, catalisadores FCC, fósforos para LEDs e baterias; e
- Reações dos outros países, que, segundo o estudo, parecem se concentrar na garantia de suprimento estável e na redução da utilização.

A Figura 16 representa graficamente os fatores que influenciarão o comportamento dos preços de ETRs nos próximos anos, considerando a estratégia da China, os aspectos da demanda e da oferta e também a reação dos outros países, além da China, e dos grandes atores industriais que dependem de TRs para desenvolvimento e fabricação de seus produtos.



Fonte: Roland Berger, 2011.

Figura 16. Fatores que influenciarão o comportamento dos preços de ETRs

O estudo da Ernst & Young (2011), complementando a abordagem da Roland Berger, identifica as estratégias (*key business policies*) de países detentores e não detentores de reservas de TRs. Devido à quantidade de informações, optou-se por destacar os desafios e estratégias-chave desses países nos Quadros 6 e 7.

Quadro 6. Estratégias-chave de países detentores de reservas de ETRs, por país

País	% das reservas mundiais	Desafio	Estratégias-chave
Austrália	1,4%	Manutenção do investimento no setor de mineração e tributação justa sobre as atividades de exploração de recursos naturais	Compromisso de se tornar um fornecedor de ETRs no futuro para países como o Japão, por exemplo. Compromisso de retorno rápido dos pedidos de autorização para atividades de mineração de TRs.
Canadá	Não quantificadas	Desenvolvimento sustentável e uso racional dos recursos minerais Proteção ambiental	Promoção de reciclagem de TRs. Uso de abordagens baseadas na análise do ciclo de vida em atividades de gerenciamento e uso racional de minerais.
China	50%	Estabilidade na oferta de matérias-primas	Definição de cotas de exportação de ETRs e tributação; Consolidação da cadeia produtiva de TRs e efetiva legislação ambiental; Unificação da política de preços.
Índia	2,8%	Em fase de desenvolvimento, formulação de política pública em torno de escassez de oferta	Em fase de desenvolvimento, marco regulatório visando assegurar e aumentar as fontes internas de abastecimento, consolidar capacidades tecnológicas, promover investimentos externos e cooperação internacional e, possivelmente, armazenagem de ETRs.
EUA	11,8%	Cadeia produtiva de TRs competitiva Disponibilidade de ETRs críticos e estratégicos no horizonte de 2015	Domínio de tecnologias de gestão da cadeia de suprimento de TRs e de transformação dos recursos minerais (sigla em inglês, RESTART) e criação de National Defense Authorization Acts; Capacidade de armazenagem; Sistematização da informação estratégica.

Fonte: Ernst & Young (2011).

Quadro 7. Estratégias-chave de países não detentores de reservas de ETRs, por país

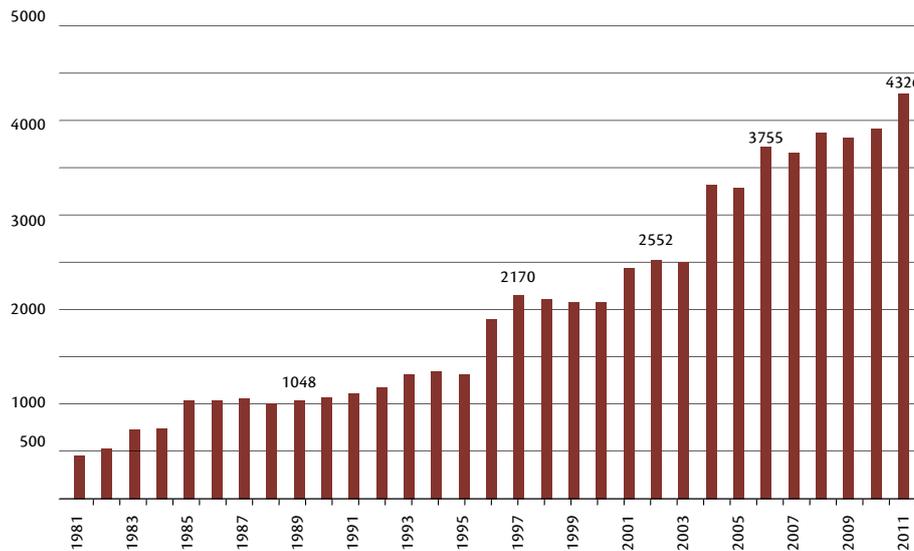
País	% das reservas mundiais	Desafio	Estratégias-chave
União Europeia	-	Mitigação dos impactos da potencial escassez da oferta de matérias-primas	Política de comércio mineral para mercados abertos no exterior; Crescente reciclagem; Sistematização da informação estratégica.
Japão	-	Estabilidade no abastecimento de matérias-primas	Financiamento para exploração mineral em outros países; Garantias de empréstimos voltados para projetos minerais de alto risco; Capacidade de armazenamento; Sistematização da informação estratégica.
Coreia do Sul	-	Garantia de abastecimento confiável de matérias-primas	Suporte financeiro; Acordos de cooperação com países detentores de reservas; Capacidade de armazenamento.

Fonte: Ernst & Young (2011).



2.4. Produção científica mundial sobre terras raras: 1981-2011

A Figura 17 mostra a evolução do número de publicações científicas sobre TRs, considerando-se o período de 1981 a 2011 e focalizando-se os resultados da produção científica em artigos técnicos e trabalhos em congressos.



Fonte: Busca direta na base de dados Scopus. Acesso em: 23 mar. 2012.

Figura 17. Evolução da produção científica referentes ao tema terras raras: 1981-2011

Foram identificadas, no total, 60.609 publicações científicas nesse período. Desse total, 52.453 são artigos publicados em periódicos científicos e 8.156 são trabalhos publicados em anais de congressos.

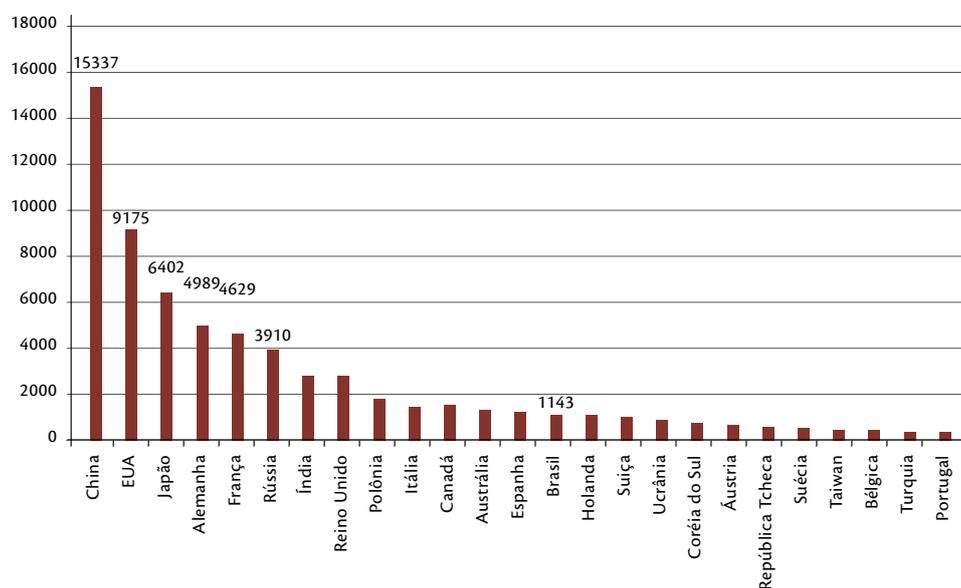
Observa-se que, até 1995, a produção científica permaneceu estável, situando-se na média de 1.000 publicações por ano. Em 1996, o número de publicações deu um salto quantitativo expressivo para 2.000 publicações por ano. A partir de 1991, a produção científica em TRs passou a crescer a uma taxa média anual de 9%. Em 2011, a produção científica em TRs chegou a 4.326 publicações.

Na sequência, na Figura 18, apresentam-se os resultados da análise do conjunto de publicações científicas em relação aos países de origem de seus autores (critério: *top 25*). Como se pode observar, a produção científica acompanha a hegemonia da China como principal exportador de TRs em nível

mundial. O número de publicações daquele país alcançou a marca de 15.537 no período considerado na análise bibliométrica.

EUA, Japão, Alemanha, França e Rússia situam-se na faixa de 9.000 a 4.000 publicações no período.

O Brasil aparece em 14º lugar, com 1.143 artigos publicados em periódicos ou em anais de congressos, considerando o mesmo período: 1981-2011. Adiante, será mostrada, em maior nível de detalhe, a produção científica brasileira em TRs, contemplando os seguintes campos: ano de publicação; instituições às quais os autores estão afiliados; autores; e principais palavras-chave.



Fonte: Busca direta na base de dados *Scopus*. Acesso em: 23 mar. 2012.

Figura 18. Produção científica sobre terras raras por país de origem: 1981-2011

Muito importante para o presente estudo, no sentido de se estabelecer a taxonomia única com a terminologia que foi adotada ao longo do projeto, foi conhecer as palavras-chave utilizadas pela própria base de dados Scopus para indexar as publicações científicas. Esse tipo de informação auxiliou o refinamento da estratégia de busca e das análises subsequentes. Como exemplo, as palavras-chave¹² podem oferecer importantes subsídios para saber quais países, autores e instituições

¹² Intencionalmente, as palavras-chave foram transcritas no idioma inglês, tal como apresentadas na base de dados Scopus, para fins de formulação de novas estratégias de busca, focalizando-se itens específicos da pesquisa.



têm publicado sobre um determinado tópico do tema TRs, considerado crítico, em nível global, e estratégico para o país.

Na seqüência, mostra-se, na Tabela 2, a classificação das 60.609 publicações científicas por área de conhecimento, conforme o sistema de indexação da base Scopus, no período considerado.

Tabela 2. Publicações científicas referentes ao tema terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981 - 2011 (critério: *top 10*)

Área do conhecimento	Nº de publicações
Ciência dos materiais	21.972
Física e Astronomia	21.068
Química	14.689
Engenharia	11.428
Ciências planetárias e Geociências	8.361
Engenharia química	3.005
Bioquímica genética e Biologia molecular	1.818
Energia	1.750
Ciência ambiental	1426
Ciência da computação	834

Fonte: Busca direta na base de dados Scopus, período 1981-2011.

Constata-se que um número significativo de publicações associa-se diretamente a quatro áreas específicas: Ciência dos Materiais, Física e Astronomia, Química e Engenharia (21.972, 21.068 14.689 e 11.428 publicações, respectivamente). As demais áreas situam-se em patamares inferiores a 10.000 publicações. Ressalta-se que uma determinada publicação pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Esses resultados, juntamente com a análise das principais palavras-chave, segundo as quais a base Scopus indexa as publicações, são especialmente úteis para a definição da taxonomia única para o estudo prospectivo de usos e aplicações de TRs no Brasil.

A Tabela 3 apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação às instituições de origem de seus autores (critério: *top 25*).

Tabela 3. Publicações científicas referentes ao tema terras raras, classificadas por instituição de origem: 1981-2011

Instituição	Nº de publicações
CNRS Centre National de la Recherche Scientifique (França)	1.028
Russian Academy of Sciences (Rússia)	935
Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet (Rússia)	715
Chinese Academy of Sciences (China)	708
Tohoku University (Japão)	652
Changchun Institute of Applied Chemistry/ Chinese Academy of Sciences (China)	622
University of Tokyo (Japão)	580
Zhejiang University (China)	504
Osaka University (Japão)	480
University of Science and Technology Beijing (China)	443
University of Science and Technology of China (China)	415
Jilin University (China)	407
Tsinghua University (China)	392
Peking University (China)	408
Shandong University (China)	387
Iowa State University (EUA)	390
Kyoto University (Japão)	387
Institute of Physics Chinese Academy of Sciences (China)	374
Harbin Institute of Technology (EUA)	366
Argonne National Laboratory (EUA)	366
Northwestern University (EUA)	334
Central South University China (China)	340
China University of Geosciences (China)	331
Northeastern University China (China)	324
Universidade de São Paulo (Brasil)	317

Fonte: Busca direta na base de dados Scopus, período 1981-2011.

Do conjunto das 25 instituições listadas (critério *top 25*), 14 são da China, seguidas das instituições japonesas (4), americanas (3) e russas (2). As instituições com maior número de publicações são: o Centre National de la Recherche Scientifique (França), com 1.028 publicações; a Russian Academy of Sciences (Rússia), com 935 publicações no período; e a Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet (Rússia), com 715 publicações.



Destaca-se, para fins da análise bibliométrica, que o total de instituições chegou a 2.930 instituições. A Universidade de São Paulo situa-se na 25ª posição do *ranking* das instituições, com 317 publicações. A Tabela 4 apresenta a análise do conjunto de publicações científicas em relação aos títulos dos periódicos (critério: *top 25*).

Tabela 4. Publicações científicas referentes ao tema terras raras, classificadas por título de periódico: 1981-2011

Periódico	Nº de publicações
Journal of Alloys and Compounds	3.235
Journal of Rare Earths	2.927
Journal of Magnetism and Magnetic Materials	2.094
Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering	1.121
Journal of Applied Physics	1.008
Physical Review B Condensed Matter and Materials Physics	857
Journal of Solid State Chemistry	748
Journal of the Less Common Metals	741
Journal of Luminescence	606
Physical Review B	579
Physica B Condensed Matter	572
Physica C Superconductivity and Its Applications	558
Geochimica et Cosmochimica Acta	525
Chemical Geology	512
Journal of Non Crystalline Solids	509
Journal of Physics Condensed Matter	507
Solid State Communications	492
Materials Research Society Symposium Proceedings	473
Zhongguo Xitu Xuebao Journal of the Chinese Rare Earth Society	449
IEEE Transactions on Magnetics	411
Materials Science Forum	362
Applied Physics Letters	357
Optical Materials	353
Journal of Crystal Growth	351
Zeitschrift Fur Anorganische Und Allgemeine Chemie	313

Fonte: Busca direta na base de dados Scopus. Acesso em: 23 mar. 2012.

Nesta Tabela, destacam-se cinco periódicos em relação ao indicador nº de publicações no período de 1981 a 2011. São eles: *Journal of Alloys and Compounds*; *Journal of Rare Earths*; *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*; *Proceedings of SPIE the International Society for Optical Engineering*; e *Journal of Applied Physics*, com mais de 1.000 artigos científicos publicados sobre o tema TRs nesse período.

2.5. Propriedade intelectual em tecnologias de terras raras: 1981-2011

Apresentam-se, a seguir, os resultados do levantamento de patentes referentes ao tema TRs no período de 1981 a 2011.

Como mencionado, esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, adotando-se uma estratégia de busca que iniciou com o termo *rare earth** ou *rare-earth** para, em seguida, refinar os resultados obtidos com o uso de ferramentas estatísticas disponibilizadas na própria base de dados. Identificou-se um total de 51.609 patentes, que foram classificadas por proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado a seguir.

A Tabela 5 mostra os principais proprietários (critério *top 25*), de um total de 20.745 proprietários, conforme indicação da base consultada.

Tabela 5. Proprietários de patentes referentes ao tema terras raras: 1981-2011

Depositante	Nº de patentes
Hitachi Ltd	1.770
Sumitomo	1.549
Toshiba KK	1.158
TDK Corp	941
Nippon Steel Corp	916
Matsushita Elec Ind Co Ltd	790
Kawasaki Steel Corp	783
NEC Corp	772
Shinetsu Chemical Ind Co Ltd	562
Fujitsu Ltd	535
Seiko Epson Corp	517
Kobe Steel Ltd	493
Kyocera Corp	439
Daido Tokushuko	400
Nippon Telegraph & Telephone Corp	375
Matsushita Denki Sangyo KK	370
Toyota Jidosha KK	365
Murata MFG Co	345
General Electric	321
Epson Corp	296
Sony Corp	296
Fuji Photo Film	279
Canon KK	260
Mitsubishi Materials	251
Sharp KK	245



Conforme mostra a Tabela 5, a maioria das empresas proprietárias de patentes no TRs raras é japonesa, ao contrário do que revelaram os resultados da análise bibliométrica sobre a produção científica em igual período. A empresa líder é a Hitachi Ltd, com 1.770 patentes, seguida da Sumitomo, com 1.549 patentes e das empresas Toshiba e TDK e a Nippon Steel, com 1.158, 941 e 916 patentes, respectivamente. Em um segundo patamar, na faixa de 800 a 500 patentes, situam-se as empresas: Matsushita Elec Ind Co Ltd, Kawasaki Steel Corp, NEC Corp, Shinetsu Chemical Ind Co Ltd, Fujitsu Ltd e Seiko Epson Corp. Os demais proprietários situam-se na faixa de 500 a 245. Ficaram de fora desse *ranking* 20.720 proprietários.

Na sequência, a Tabela 6 apresenta os resultados da análise das 51.609 patentes, classificadas segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP), em um total de 1.514 códigos da ICP.

Tabela 6. Patentes referentes ao tema terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério *top 10*)

Classe ICP	Nº de patentes	%
C22C-038/00	4.626	8,96
H01F-001/08	2.690	5,21
H01F-001/053	2.483	4,81
H01F-041/02	2.249	4,35
C01F-017/00	1.401	2,71
G11B-011/10	1.259	2,44
B22F-001/00	1.256	2,43
C22C-038/58	1.185	2,29
H01F-001/032	1.153	2,23
C22C-033/02	1.021	1,97

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Na análise das patentes por código da ICP, constatou-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: C22C-038/00 – Ligas ferrosas, por ex., ligas de aço (ligas de ferro fundido); e H01F-001/08 – Ímãs; indutâncias; transformadores; seleção de materiais específicos devido a suas propriedades magnéticas; ímãs prensados, sinterizados ou aglutinados.

Outras três classes destacam-se no *ranking* das dez classes com maior número de patentes sobre TRs. São elas: C01F-017/00 – Compostos de metais de TRs, i.e., escândio, ítrio, lantânio ou do grupo dos lantanídeos; G11B-011/10 – Gravação sobre, ou reprodução de, um mesmo transporte de dados

em que, para estas duas operações, utilizando gravação por magnetização ou desmagnetização e a B22F-001/00 –Tratamento especial de pó metálico, por ex., para facilitar seu trabalho, para melhorar suas propriedades; pós-metálicos *per se*, por ex., misturas de partículas de composições diferentes.

A Tabela 7 apresenta o conjunto das 51.609 patentes classificadas por área de conhecimento, adotando-se o critério *top 10*.

Tabela 7. Patentes referentes ao tema terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981- 2011 (critério: *top 10*)

Áreas	Nº de patentes	%
Química	44.566	86,35
Engenharia	38.039	73,70
Instrumentos e instrumentação	31.477	60,99
Metalurgia e Engenharia metalúrgica	17.092	33,12
Energia e combustíveis	9.826	19,04
Ciência dos polímeros	7.531	14,59
Ciência e tecnologias de imagem	3.416	6,62
Ciência da computação	3.180	6,16
Ótica	2.036	3,94
Comunicação	2.007	3,88

Fonte: Busca direta da base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Ao se analisarem as informações sobre as áreas de conhecimento segundo as quais as patentes sobre TRs foram classificadas pela base de dados, observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente às áreas de Química, Engenharia e Instrumentação, com 86,35%, 73,70% e 60,99%, respectivamente.

Em um segundo patamar, situam-se as áreas de Metalurgia e Engenharia Metalúrgica; Energia e Combustíveis; e Ciência dos Polímeros, com percentuais na faixa de 33,12% a 14,6%.

Nesse *ranking*, as demais áreas apresentam indicadores inferiores a 10% do total de patentes classificadas segundo o sistema da base Derwent Innovations Index. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.



Os resultados da análise bibliométrica da produção científica relacionada ao tema TRs permitiram revelar os países, instituições e autores que mais publicaram sobre o tema no período 1981-2011, em nível mundial. Já a análise de patentes indicou que a maioria dos proprietários de patentes no período considerado é de origem japonesa, enquanto a predominância na produção científica é da China.

A análise de conteúdo das palavras-chave, segundo as quais as publicações científicas foram indexadas pela base Scopus, abriu a possibilidade de se identificarem agrupamentos de tópicos de interesse para o Brasil. Nesse sentido, a análise conduzida para a produção científica mundial foi replicada para as palavras-chave de publicações de autores brasileiros. Dessa análise preliminar, pelo menos quatro agrupamentos foram identificados nos dados da produção científica, em nível mundial, e três em nível nacional. São eles: (i) TRs, ETRs, óxidos e compostos de TRs; (ii) magnetismo, ímãs permanentes e palavras associadas a essa propriedade; (iii) fotoluminescência, luz e fósforos; e (iv) catálise e catalisadores.

Adicionalmente, as análises que enfatizaram as áreas de conhecimento e palavras-chave propiciaram um interessante cruzamento com taxonomias de usos e aplicações apresentadas em diversas publicações, o que resultou na definição de uma taxonomia única, como apresentado na Seção 1.4 do Capítulo 1.

2.6. Principais tendências e incertezas críticas do mercado global de terras raras

Nas Seções 2.1 a 2.3, buscou-se retratar o panorama atual do mercado global de TRs como ponto de partida para a identificação das principais tendências e mudanças em andamento que condicionarão a evolução das cadeias produtivas de TRs nos horizontes considerados pelo estudo prospectivo. Pela sua importância como elemento-chave da criação dos diagramas de cenários prospectivos múltiplos (a ser realizada na etapa 8 do fluxograma apresentado na Figura 8), destaca-se, por último, uma relação preliminar das incertezas críticas do mercado global de TRs.

Apresentam-se, no Quadro 8, as tendências e mudanças em andamento referentes ao panorama mundial de TRs.

Quadro 8. Síntese das tendências e mudanças em andamento no panorama mundial de terras raras

Variável	Eventos e mudanças em andamento
Economia verde	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da conscientização social em relação à escassez de fontes de combustíveis fósseis. Busca de eficiência energética, otimização do uso e conservação de recursos naturais. • Preocupação social com os riscos representados pelos elementos radioativos que acompanham as TRs. • Divulgação dos riscos ambientais e desastres favorecem o crescimento da economia verde. Desenvolvimento e uso de tecnologias limpas que empregam TRs. • Responsabilidade socioambiental das diversas partes interessadas (governos, indústrias, academia, entre outros). • Recuperação econômica de TRs por processos de reciclagem de produtos já utilizados (aproveitamento econômico do lixo eletrônico, como melhor exemplo). Quanto maior a produção de TRs, maior será a geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais.
Sociedade da informação	<ul style="list-style-type: none"> • Ampliação do uso de redes. Amplo uso de mídias digitais. • Intensificação no uso de sistemas de controle na área de defesa e segurança. Indústria de dispositivos eletrônicos dependente do fornecimento de TRs. Uso intensivo de TRs em equipamentos sofisticados de comunicação. • A miniaturização de equipamentos vem contribuindo para aumentar a demanda de TRs.
Governança global	<ul style="list-style-type: none"> • Questionamentos dos EUA, da Comunidade Europeia e do Japão junto à OMC em relação à política de quotas de exportação de TRs pela China. • Questões geopolíticas associadas à produção de TRs necessitam de governança global eficiente. Observa-se, porém, que instituições internacionais (OMC, ONU e outras) têm pouco poder coercitivo para solucionar os atuais problemas no mercado global de TRs.
Mercado global de aplicações que contenham ou usem TRs	<ul style="list-style-type: none"> • Crescimento mundial da classe média. Uso intensivo de redes e mídias digitais e consumo consciente em relação à preservação ambiental e ao uso racional de recursos naturais. • Expectativa de demanda crescente das atuais aplicações que contenham ou usem TRs e surgimento de novas aplicações baseadas em TRs. Exemplos incluem carros elétricos, turbinas eólicas, terminais touch screen, equipamentos de diagnósticos médicos avançados, motores e geradores compactos na indústria automotiva e na defesa. • Tendência de concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs. • O cenário atual é marcado pela hegemonia da China como país fornecedor do mercado global de aplicações que contenham ou usem TRs. Há dúvidas quanto à continuidade do suprimento de TRs na forma de óxidos ou ligas, com fragilidade das cadeias de suprimento e produtivas. Otan e outras alianças necessitam de acesso às matérias-primas para uso de TRs em seus equipamentos de defesa.
Novos materiais concorrentes ou substitutos de TRs	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidade no ritmo das pesquisas e inovações tecnológicas associadas a aplicações que contenham ou usem TRs traz incertezas quanto ao surgimento de novos materiais substitutos de TRs. • Nota-se um aumento do incentivo à busca de materiais alternativos como resposta à dependência da China em relação ao fornecimento de TRs.
Reservas e produção mundial de TRs	<ul style="list-style-type: none"> • A produção é concentrada em poucos países, sendo que a China possui 36,5% das reservas mundiais de TRs, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e pelos EUA. A China hoje lidera a produção mundial, com mais de 97% do mercado global. • Prevê-se o aumento de reservas provadas nos próximos anos e crescimento gradual da produção em outros países, além da China, como, por exemplo, Brasil, Canadá, Austrália e Vietnã. • Os países consumidores de TRs começam a financiar a produção em países que possuem reservas. Considera-se hoje a probabilidade de os países potenciais produtores de TRs fornecerem para a China no futuro. • Melhor conhecimento da geologia dos depósitos de ETRs. Maior caracterização de minérios de ETRs. Viabilização econômica dos coprodutos. Possível desarticulação das cadeias produtivas que dependam de TRs.
Preços internacionais de TRs	<ul style="list-style-type: none"> • Elevação recente dos preços internacionais de compostos de TRs devido à diminuição de quotas de exportações pela China que começaram a ser implantadas no final de 2010. • Tendência à estabilização dos preços no futuro próximo devido à queda do monopólio da China e à disseminação ampla da reciclagem de produtos que contenham TRs. Surgimento de nova estrutura de custos a partir da ampliação do número de países produtores e diversificação da cadeia de suprimento de TRs.
Políticas nacionais de países produtores e processadores de TRs	<ul style="list-style-type: none"> • China: diminuição de quotas de exportações pela China com risco de desabastecimento no mercado global de ETRs. A política chinesa é orientada para a integração horizontal da cadeia produtiva de TRs em seu território, atraindo indústrias que utilizam TRs. • Países consumidores: o risco à soberania nacional dos países consumidores estimula iniciativas no sentido de redução da dependência do fornecimento de TRs pela China. Países que importam TRs da China buscam reduzir dependência externa pela verticalização das cadeias produtivas em nível global com formação de parcerias estratégicas entre países com reservas ou recursos e países dependentes de TRs. Consideram-se os impactos das cadeias produtivas de TRs nas políticas ambientais nacionais. Prevê-se o surgimento de marcos regulatórios nos países produtores e consumidores de TRs, além da China. Exemplos de mecanismos incluem royalties e incentivos de natureza tributária.



Como mencionado, pela sua importância para a construção de cenários prospectivos múltiplos, destacam-se, no Quadro 9, as principais incertezas associadas ao mercado global de TRs, considerando-se o horizonte de 2030.

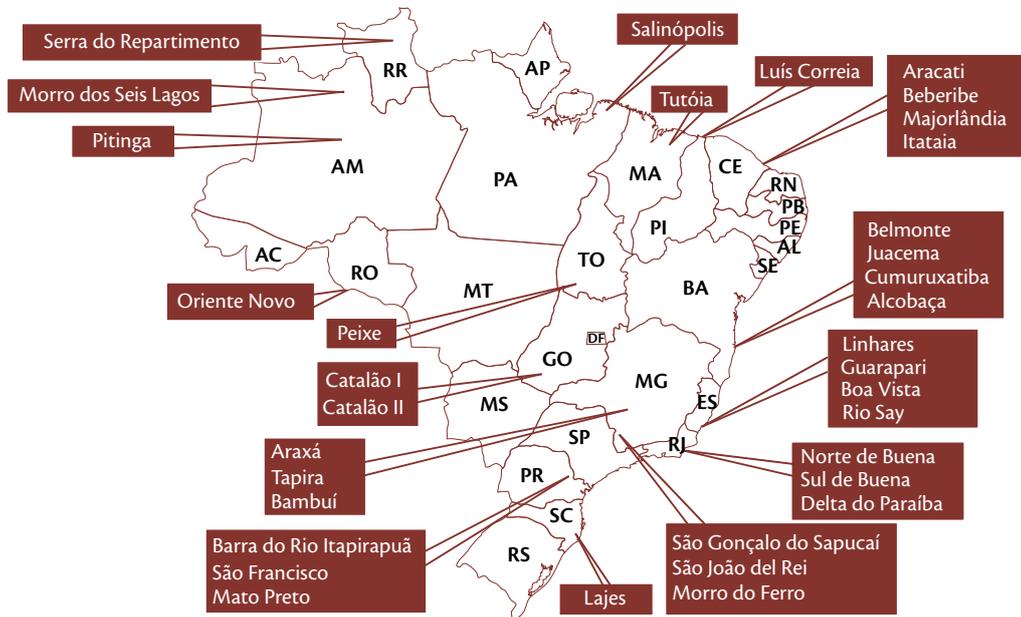
Quadro 9. Incertezas críticas associadas ao mercado global de terras raras

Variável	Incertezas críticas
Economia verde	O uso de TRs possibilitará a aplicação de tecnologias energeticamente mais eficientes, compressores herméticos para refrigeração, geradores eólicos, mancais magnéticos e outras aplicações limpas?
Sociedade da informação	Não foram identificadas incertezas críticas em relação a essa variável.
Governança global	Como será exercido o poder coercitivo de instituições internacionais (OMC, ONU e outras) para solucionar problemas no mercado global de TRs?
Mercado global de aplicações que contenham ou usem ETRs	Haverá fornecimento estável de TRs (óxidos e ligas metálicas) para países consumidores? Haverá concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs?
Novos materiais concorrentes ou substitutos de TRs	Surgirão novos materiais substitutos de TRs com economicidade e desempenho desejado?
Reservas e produção mundial de TRs	Permanecerá a hegemonia chinesa e seu controle sobre o mercado global de TRs? Até quando? A produção ficará concentrada em poucos países? Ou haverá diversificação das fontes de suprimento? Haverá continuidade e garantia do suprimento de matérias-primas, ou seja, TRs na forma de compostos?
Preços internacionais de TRs	Poderá ocorrer volatilidade de preços de TRs com forte impacto no desenvolvimento de projetos fora da China? Os preços serão regulados pela entrada de novos produtores de TRs, além da China?
Políticas nacionais de países produtores e processadores de TRs	Haverá diminuição de quotas de exportações pela China? Haverá risco de desabastecimento no mercado global de TRs? Qual será o risco à soberania nacional dos mais diferentes países dependentes do fornecimento externo de TRs?

3. Panorama nacional de terras raras¹³

3.1. Ocorrências de terras raras no Brasil

Muito embora sejam numerosas as ocorrências de TRs no Brasil, existe a necessidade de um esforço significativo no sentido de determinar sua real importância econômica e sua viabilidade técnica de exploração.



Fonte: MCTI, apresentação no CT-Mineral (2010).

Figura 19. Ocorrências de ETRs no Brasil

Um estudo do British Geological Service, publicado em 2010, apresenta estimativas de ocorrências de ETRs no Brasil (resultados não medidos), confirmando-se o enorme potencial de produção de TRs no país.

¹³ Este Capítulo foi elaborado por Carlos Augusto Caldas de Moraes e Maria Fatima Ludovico de Almeida.



A Tabela 8 mostra a distribuição geográfica dessas ocorrências.

Tabela 8. Ocorrências de ETRs no Brasil

Ocorrência	Quantidade (t)	Teor de óxidos de TRs (%)	Quantidade total de óxidos de TRs (t)
Araxá (MG)	450.000.000	1,80	8.100.000
Catalão I (GO)	10.000.000	0,90	90.000
Pitinga (AM)	164.000.000	13,60	246.000
Poços de Caldas (MG)	-	-	115.000
Seis Lagos (AM)	2.900.000.000	1,50	43.500.000
Tapira (MG)	5.200.000	10,5	546.000
Total	3.529.200.000		52.597.000

Fonte: MCTI, apresentação no CT-Mineral (2010).

3.2. Reservas

As informações sobre as reservas de TRs no Brasil são apresentadas no documento do DNPM, sob o título *Sumário Mineral com Dados de 2010 – Terras Raras*, de 2012. As reservas medidas do Brasil atingem apenas 40.000 toneladas (Tabela 9).

Tabela 9. Reservas de terras raras no Brasil¹⁴

Discriminação	Reservas (10 ³ t)	Produção (t)		
		2010 ⁽¹⁾	2011 ⁽²⁾	%
Países	2011 ⁽²⁾	2010 ⁽¹⁾	2011 ⁽²⁾	%
Brasil	40(1)	249	290(3)	0,2
China	55.000	130.000	130.000	97,5
Índia	3.100	2.800	3.000	2,3
Austrália	1.600	-	-	-
Estados Unidos	13.000	-	-	-
CEI(2)	19.000	n.d.	n.d.	n.d.
Malásia	30	30	30	0,0
Outros países	22.000	n.d.	n.d.	n.d.
Total	113.770	133.079	133.320	100

Fonte: DNPM (2012).

¹⁴ O DNPM/MME incluirá em seu Sumário Mineral de Terras Raras, referente ao ano de 2013, a informação de que a reserva lavrável em OTR (DNPM: RAL 2013 e Processos Minerários) no Brasil atingiu 22 milhões de toneladas em 31/12/2012, correspondendo a 16,21% das reservas mundiais. Isso dá ao país a segunda maior reserva de óxidos de TRs leves do mundo. A empresa CBMM, de Araxá-MG, estima a possibilidade de produção de 90 mil toneladas de OTR por ano.

3.3. Grupos de pesquisa e especialistas em terras raras no Brasil¹⁵

Inicialmente, procedeu-se à pesquisa diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq¹⁶. Realizou-se, em seguida, uma análise de conteúdo, visando identificar as coocorrências dos grupos de pesquisa em mais de um dos oito subconjuntos analisados. Em uma análise de conteúdo mais detalhada, foi possível também identificar em cada grupo de pesquisa as principais linhas de PD&I relacionadas aos temas do estudo em foco e os especialistas envolvidos.

Apresentam-se os resultados nos Quadros 10 e 11 com a inclusão de alguns grupos que foram identificados após a pesquisa de especialistas conduzida junto ao Portal Inovação¹⁷ e inclusões sugeridas pelos relatores dos capítulos sobre as cadeias produtivas de aplicações (Capítulos 6 a 10).

Chegou-se a um total de 496 especialistas, 49 instituições e 113 grupos de pesquisa.

Quadro 10. Grupos de PD&I com linhas de pesquisa em terras raras

Grupo de Pesquisa	Instituição	Estado
Análise por Ativação com Nêutrons de Materiais Geológicos	CNEN	São Paulo
Desenvolvimento de Materiais e Lasers de Estado Sólido	CNEN	São Paulo
Desenvolvimento e Otimização de Processos Hidrometalúrgicos	CNEN	Minas Gerais
Grupo de Materiais Nanoestruturados Funcionais	CNEN	São Paulo
Materiais e Desenvolvimento Sustentável	CNEN	São Paulo
Nanociência, Física de Superfícies e Espectroscopia Mössbauer	CNEN	Minas Gerais
Processos Químicos	CNEN	Rio de Janeiro
Química Supramolecular e Nanotecnologia de Elementos F	CNEN	São Paulo
Radioecologia e Radioproteção Ambiental	CNEN	São Paulo
Síntese e Purificação de Compostos de Interesse Nuclear	CNEN	São Paulo
Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Vidros e Compósitos	CNEN	São Paulo
Materiais Luminescentes	Unesp	São Paulo
Luminescência de Materiais e Sensores	Unesp	São Paulo
Defeitos em Semicondutores e Dielétricos	Unesp	São Paulo
Grupo de Compósitos e Cerâmicas Funcionais	Unesp	São Paulo

¹⁵ ALMEIDA, M.F.L. *Grupos de pesquisa e especialistas em terras raras no Brasil*. Mimeo. Brasília: CGEE, 2012.

¹⁶ CNPq. *Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil*. Disponível em: < <http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/>>. Acesso em: 10 jun. 2012.

¹⁷ BRASIL, MCTI. *Portal Inovação*. Disponível em:<<http://www.portalinovacao.mct.gov.br>>. Acesso em: junho de 2012.



Grupo de Pesquisa	Instituição	Estado
Laboratório de Materiais Fotônicos – LAMF	Unesp	São Paulo
Bio-hidrometalurgia	Unesp	São Paulo
Bioprocessos Aplicados à Mineração e Meio Ambiente	Unesp	São Paulo
Centro Multidisciplinar em Materiais de Catalão	UFG	Goiás
Nano Óptica	UFPE	Pernambuco
Óptica Não Linear	UFPE	Pernambuco
Catálise e Organometálicos	UFPE	Pernambuco
Desenvolvimento de Materiais Avançados em Nível Molecular	UFPE	Pernambuco
Grupo de Arquitetura de Nanodispositivos Fotônicos	UFPE	Pernambuco
Química Teórica e Computacional	UFPE	Pernambuco
Elementos do Bloco-F	USP	São Paulo
Estrutura e Função de Materiais Ópticos	USP	São Paulo
Laboratório de Terras Raras	USP	São Paulo
Materiais para Aplicações Avançadas	USP	São Paulo
Grupo de Eletroquímica	USP	São Paulo
Evolução do Manto Litosférico da Placa Sul-Americana - Isótopos e Petrologia Experimental	UFRGS	Rio Grande do Sul
Espectroscopia Mössbauer	UFRGS	Rio Grande do Sul
Grupo de Desenvolvimento de Energias Renováveis	UFRGS	Rio Grande do Sul
Eletroquímica	UFRGS	Rio Grande do Sul
Grupo de Pesquisa em Química Organometálica Aplicada	UFMG	Minas Gerais
Laboratório de Microanálises do Consórcio Física-Geologia-Química/UFMG-CDTN/CNEN	UFMG	Minas Gerais
Laserorguim - Laboratório de Síntese, Eletrossíntese Orgânica e Química Medicinal	UFMG	Minas Gerais
Química de Coordenação de Terras Raras	UFMG	Minas Gerais
Grupo de Magnetismo	UFS	Sergipe
Arquitetura molecular e simulação computacional	UFS	Sergipe
Desenvolvimento e Otimização de Materiais	UFS	Sergipe
Grupo de Preparação e Caracterização de Materiais	UFS	Sergipe
Compostos Inorgânicos e Organometálicos das Terras Raras	UFSCar	São Paulo
Cristalografia, Estereodinâmica e Modelagem Molecular	UFSCar	São Paulo
Síntese, Reações e Mecanismos de Compostos Inorgânicos	UFSCar	São Paulo
Grupo de Materiais Cerâmicos Especiais	UFSCar	São Paulo
Desenvolvimento de Catalisadores e Processos para Produção de Combustíveis	UFSCar	São Paulo
Complexos Inorgânicos com Íons Lantanídeos (III)	UFES	Espírito Santo
Grupo de Síntese de Compostos de Coordenação de Metais D e F	UFES	Espírito Santo

Grupo de Pesquisa	Instituição	Estado
Síntese, Caracterização e Estudo do Comportamento Térmico de Complexos Lantanídicos	UFES	Espírito Santo
Magnetismo de Nanoestruturas e Interações Hiperfinas em Sólidos	UFES	Espírito Santo
Propriedades Físicas de Materiais	UERJ	Rio de Janeiro
Física da Matéria Condensada	UERJ	Rio de Janeiro
Magnetismo	UERJ	Rio de Janeiro
Luminescência dos Sólidos	UERJ	Rio de Janeiro
Bioprocessos e Tecnologia Ambiental	UERJ	Rio de Janeiro
Fundamentos de Engenharia Química e Engenharia de Processo	UERJ	Rio de Janeiro
Grupo de Espectroscopia Óptica e Optoeletrônica Molecular	PUC-Rio	Rio de Janeiro
Dispositivos Fotônicos em Fibras e Vidros	PUC-Rio	Rio de Janeiro
Grupo de Tecnologias Nucleares Aplicadas	IFS	Sergipe
Grupo de Ciência e Tecnologia em Alimentos	IFS	Sergipe
Grupo de Fotônica e Fluidos Complexos	UFAL	Alagoas
Dispositivos Fotônicos Integrados	UFAL	Alagoas
Espalhamento de Luz e Medidas Elétricas	UFC	Ceará
GQMAT- Grupo de Química de Materiais Avançados	UFC	Ceará
Grupo de Materiais	UFMS	Mato Grosso do Sul
Química de Superfície e Moléculas Bioativas	UFMS	Mato Grosso do Sul
Laboratório de Baixas Temperaturas	UFRJ	Rio de Janeiro
Óptica dos Sólidos	UFRJ	Rio de Janeiro
Laboratório de Tecnologias do Hidrogênio	UFRJ	Rio de Janeiro
Catálise	UFRJ	Rio de Janeiro
Eletroquímica e Corrosão	UFRN	Rio Grande do Norte
Química Inorgânica e Materiais	UFRN	Rio Grande do Norte
Desenvolvimento de processos sustentáveis: catálise, termodinâmica e reatores	UFU	Minas Gerais
Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores – LNMIS	UFU	Minas Gerais
Granitos e Mineralizações Associadas	UnB	Distrito Federal
Metalogênese do Pré-Cambriano do Brasil	UnB	Distrito Federal
Materiais Híbridos	Unifesp	São Paulo
Óptica Biomédica	Unifesp	São Paulo
Laboratório de Materiais Funcionais – LMF	Unicamp	São Paulo
Laboratório de Materiais e Baixas Temperaturas	Unicamp	São Paulo
Férmions Pesados, Supercondutores e Sistemas Nanoestruturados	CBPF	Rio de Janeiro
Grupo de Estrutura Eletrônica e Fenômenos Coletivos na Matéria Condensada	CBPF	Rio de Janeiro
Caracterização Tecnológica de Minérios e Materiais	Cetem	Rio de Janeiro
Química Analítica	Cetem	Rio de Janeiro



Grupo de Pesquisa	Instituição	Estado
Laboratório de Tecnologia em Materiais Fotônicos e Optoeletrônicos	Ceeteps	São Paulo
Estudo de Fases Magnéticas em Nanoestruturas Terras Raras	IFMA	Maranhão
Química de Coordenação de Sistemas Macrocíclicos	IFPE	Pernambuco
Grupo de Estudo de Materiais Magnetocalóricos	UEM	Paraná
Grupo de Pesquisa	Instituição	Estado
Estudo e Desenvolvimento de Materiais	UEMS	Mato Grosso do Sul
Materiais Cerâmicos	UENF	Rio de Janeiro
Grupo de Pesquisa em Síntese Orgânica e Inorgânica	UEPB	Paraíba
Grupo de Óptica e Espectroscopia	UEPG	Paraná
Termoquímica de Materiais	UFCG	Paraíba
Grupo de Estudos em Cinética e Catálise - GECCAT	UFBA	Bahia
Grupo de Estudos de Paleovertebrados (GEP)	UFBA	Bahia
Grupo de Materiais Fotônicos	UFRB	Bahia
Física da Matéria Condensada	UERN	Rio Grande do Norte
LABMAT - Grupo Interdisciplinar de Materiais	UFSC	Santa Catarina
Laboratório de Materiais Inorgânicos	UFSM	Rio Grande do Sul
Sol-Gel	Unifran	São Paulo
Química e Recursos Renováveis	UTFPR	Paraná
Eletroquímica Industrial e Meio ambiente	UFF	Rio de Janeiro
Gerenciamento Costeiro	UFF	Rio de Janeiro
Grupo de Espectroscopia de Materiais	UFJF	Minas Gerais
Estrutura e Propriedades de Cristais Iônicos e Moleculares	UFOP	Minas Gerais
Grupo de Compostos de Coordenação e Química de Superfície – GCCQS	UFPB	Paraíba
Grupo de Fotônica	UFRPE	Pernambuco
Metrologia de Materiais e Nanotecnologia	Inmetro	Rio de Janeiro
Catálise	INT	Rio de Janeiro
Materiais Cerâmicos	UCS	Rio Grande do Sul
Laboratório de Dispositivos Orgânicos (Lador)	Inmetro	Rio de Janeiro
Grupo de Pesquisa em Eletromagnetismo - GEMA	Univasf	Bahia
Total: 113 grupos de pesquisa	49 instituições	17 estados e DF

Os grupos de pesquisa em TRs concentram-se nas regiões Sudeste (60%) e Nordeste (25%). As regiões Sul, Centro-Oeste e Norte contam, respectivamente, com 9%, 5% e 1% dos grupos identificados, como representado na Figura 20.

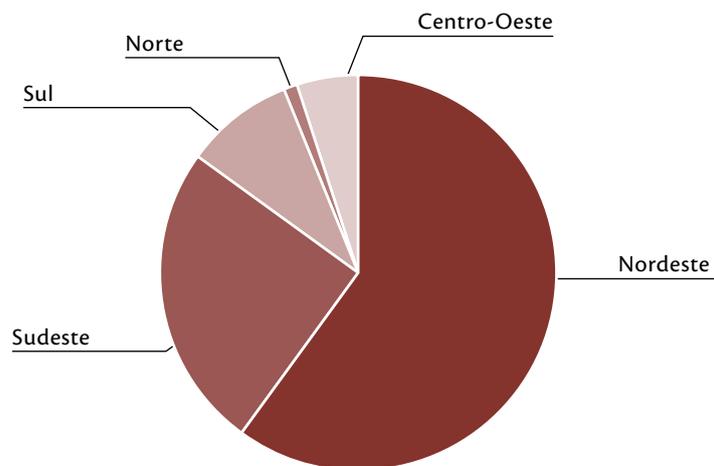


Figura 20. Distribuição regional dos grupos de pesquisa em terras raras no Brasil

Quadro 11. Principais instituições brasileiras com linhas de pesquisa em terras raras

Instituição	Nº de Grupos de Pesquisa
Comissão Nacional de Energia Nuclear - CNEN	11
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - Unesp	7
Universidade Federal de Goiás - UFG	1
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE	6
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ	6
Universidade de São Paulo - USP	5
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar	5
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ	4
Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG	4
Universidade Federal de Sergipe - UFS	4
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS	4
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES	4
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio	2
Instituto Federal de Sergipe - IFS	2
Universidade Federal de Alagoas - UFAL	2
Universidade Federal do Ceará - UFC	2
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS	2
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN	2
Universidade Federal de Uberlândia - UFU	2
Universidade de Brasília - UnB	2
Universidade Federal de São Paulo - Unifesp	2
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas - CBPF	2



Instituição	Nº de Grupos de Pesquisa
Centro de Tecnologia Mineral - Cetem	2
Universidade Estadual de Campinas - Unicamp	2
Universidade Federal da Bahia - UFBA	2
Universidade Federal Fluminense - UFF	2
Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia - Inmetro	2
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB	1
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Ceeteps	1
Instituto Federal do Maranhão - IFMA	1
Instituto Federal de Pernambuco - Reitoria - IFPE	1
Universidade Estadual de Maringá - UEM	1
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - UEMS	1
Universidade Estadual da Paraíba - UEPB	1
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG	1
Universidade Federal de Campina Grande - UFCG	1
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN	1
Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF	1
Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP	1
Universidade Federal da Paraíba - UFPB	1
Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE	1
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC	1
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM	1
Universidade de Franca - Unifran	1
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR	1
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF	1
Instituto Nacional de Tecnologia - INT	1
Universidade de Caxias do Sul - UCS	1
Universidade Federal do Vale do São Francisco - Univasf	1
Total de instituições: 49	113 grupos de pesquisa

Embora os resultados obtidos nesta etapa tenham sido de grande valia para os objetivos do estudo prospectivo e para a futura implementação dos *roadmaps* estratégicos das cadeias produtivas de TRs no Brasil, cabe destacar que alguns especialistas que atuavam no passado estão hoje desenvolvendo outros temas de pesquisa no Brasil e participando de grupos não associados aos termos pesquisados. Recomenda-se análise posterior dos resultados gerados, por parte de especialistas envolvidos no projeto, para eventual inclusão de novas informações julgadas necessárias para compor o mapeamento das competências brasileiras em TRs.

4. Cenário global de terras raras e implicações para o Brasil: 2012-2030¹⁸

Visando cumprir a oitava etapa da metodologia, o CGEE realizou, nos dias 16 e 17 de maio de 2012, em Brasília, o *workshop* “Terras Raras: Construção de Cenários Prospectivos Globais e Escolha do Cenário de Referência – 2012-2030”. Esse evento, que contou com a participação de mais de 60 representantes do governo, da indústria, da academia e de ICTs, teve por objetivos:

- Identificar tendências, perspectivas e incertezas críticas associadas ao panorama mundial de TRs: situação atual e condicionantes do futuro;
- Construir cenários alternativos e escolher o cenário de referência mundial;
- Analisar as implicações e opções estratégicas para o Brasil, tendo como pano de fundo o cenário de referência mundial e a cadeia causal resultante do trabalho preparatório;
- Promover troca de informações e conhecimento entre as instituições envolvidas.

O presente Capítulo reúne os principais resultados obtidos durante o *workshop* e encontra-se estruturado em quatro seções. Inicialmente, descreve-se, na Seção 4.1, a metodologia de prospecção adotada na construção de cenários. Na Seção 4.2, apresentam-se os resultados da análise da situação atual da cadeia produtiva de TRs, segundo uma perspectiva global, os condicionantes do futuro e as incertezas críticas da evolução dessa cadeia no horizonte 2030.

Na sequência, a Seção 4.3 refere-se à construção dos cenários prospectivos múltiplos e à escolha do cenário global de referência. Particularmente, focaliza os resultados da construção propriamente dita de quatro cenários prospectivos globais, incluindo a descrição do cenário de referência, escolhido por processo de votação em plenária durante o *workshop*. Na Seção 4.4, reúnem-se os resultados da análise estratégica da cadeia produtiva de TRs no Brasil, tendo como pano de fundo o cenário de referência global.

¹⁸ Este Capítulo foi elaborado por Maria Fatima Ludovico de Almeida e traz contribuições de especialistas participantes do *workshop* “Terras Raras: Cenários Prospectivos Globais e Cenário de Referência: 2012-2030”.



4.1. Metodologia de prospecção adotada

Existem diversos métodos e abordagens para construção de cenários prospectivos, todos com o objetivo de obter configurações de futuros alternativos de médio e longo prazo que deverão ser utilizados como instrumentos no planejamento em nível macro (países e regiões), em nível setorial (setores da economia) e em nível empresarial (empresas públicas e privadas).

Devido à crescente turbulência e à complexidade dos ambientes nos quais as organizações estão inseridas, a construção de cenários vem crescendo em importância e uso, tanto em nível internacional quanto no Brasil. De fato, os cenários têm sido amplamente utilizados nas organizações devido à sua flexibilidade, facilidade operacional e possibilidade de aplicação diversificada a custos relativamente baixos.

Dentre os objetivos da construção de cenários, destacam-se:

- Enriquecer o debate sobre questões críticas relacionadas ao futuro de um sistema e reduzir as incertezas inerentes ao sistema considerado;
- Desenvolver e analisar novas opções de futuro frente a mudanças do ambiente externo e interno;
- Tornar as decisões de risco mais transparentes;
- Propiciar uma visão de futuro que possa ser compartilhada pelos atores envolvidos ou interessados na questão que está sendo cenarizada.

A construção de cenários prospectivos sobre a evolução da cadeia produtiva de TRs em nível mundial teve como base uma abordagem metodológica que contempla conteúdos propostos por Michel Godet¹⁹ e pela Global Business Network (GBN)²⁰, em seis passos, conforme descrito a seguir.

- Identificação da questão estratégica principal, ou seja, o que se deseja cenarizar (Godet e GBN);
- Análise estrutural para definição e classificação das variáveis em: (i) motrizes; (ii) de ligação; e (iii) de resultado. As autônomas deverão ser descartadas (Godet);
- Descrição dos condicionantes do futuro: tendências, invariantes, mudanças em andamento, fatos portadores de futuro e incertezas críticas (Godet);
- Definição das lógicas dos cenários (segundo a proposição da GBN em dois eixos);
- Descrição dos cenários e escolha do cenário de referência (Godet e GBN);
- Análise das implicações e opções estratégicas para o Brasil, tendo como pano de fundo o cenário de referência (Godet e GBN).

¹⁹ GODET, M. *Manuel de Prospective Stratégique: tome 1 – une indisciplinée intellectuelle*. 2. ed. Paris: Dunod, 2001.

²⁰ SCHWARTZ, P. *A arte da previsão: planejando o futuro em um mundo de incertezas*. São Paulo: Ed. Best Seller, 2000.

A Figura 21 mostra o modelo conceitual adotado na construção do cenário prospectivo global de TRs, considerando-se o horizonte de 2030.

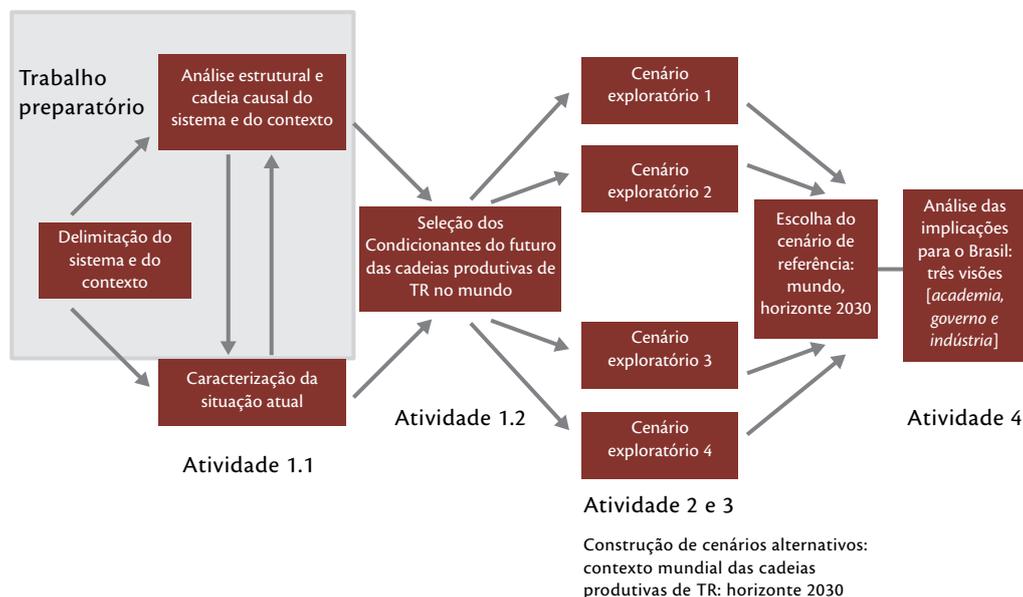


Figura 21. Modelo conceitual para construção do cenário prospectivo global de referência: horizonte 2030

Como pode ser observado na Figura 21, no canto superior esquerdo, um trabalho preparatório foi conduzido pela equipe do CGEE em conjunto com lideranças do Cetem. Esse trabalho compreendeu a delimitação do sistema e do contexto a serem cenarizados e a análise estrutural e o desenho da cadeia causal do sistema e de seu contexto.

A delimitação do sistema e do contexto foi conduzida com apoio da técnica de *brainwriting* e resultou em um conjunto de 16 variáveis, sendo oito referentes ao contexto e oito, ao sistema, como será apresentado adiante.

A análise estrutural consistiu das seguintes etapas: (i) identificação e descrição das variáveis-chave (internas e externas ao sistema); (ii) julgamento sobre as relações entre as variáveis dentro da matriz de análise estrutural; (iii) classificação das variáveis pela ferramenta MICMAC, proposta por Godet; (iv) desenho do plano motricidade-dependência da matriz de influências indiretas e do gráfico de influências indiretas.



A inclusão da análise estrutural nessa etapa apoiou-se no fato de que a cadeia causal das variáveis do sistema considerado, desenhada com o apoio de ferramenta consagrada nas áreas de planejamento estratégico e prospecção, propiciaria robustez ao processo de cenarização e, posteriormente, uma integração mais fácil dos cenários focais (evolução das cadeias produtivas de TRs no Brasil no horizonte considerado) com o cenário de referência global (definido durante o *workshop* e reportado na Seção 4.4 deste Capítulo).

A seguir, descrevem-se, de forma sucinta, as atividades 1 a 4, como mostrado na Figura 21:

Atividade 1 - Caracterização da situação atual e identificação dos condicionantes do futuro da evolução das cadeias produtivas de terras raras no mundo: 2012-2030

As análises da situação atual e dos condicionantes do futuro, em nível mundial, das cadeias produtivas de TRs, no horizonte 2012-2030, foram realizadas por quatro grupos mistos de especialistas (governo, academia/ICTs e indústria). O produto gerado nessa primeira atividade foi uma lista de fatos da situação atual e de condicionantes do futuro, incluindo as incertezas críticas, no horizonte considerado.

Foi proposto o mesmo enunciado para os quatro grupos, que apresentaram os resultados dos trabalhos ao final. Durante as apresentações, identificaram-se os pontos comuns e as divergências entre grupos. Esses resultados constituíram insumos para a proposição de diagramas de cenários, segundo metodologia GBN – objeto da atividade 2.

Atividade 2 – Proposição de diagramas de cenários alternativos com base na metodologia Global Business Network (GBN)

Essa atividade foi conduzida por quatro grupos mistos (de composição distinta dos formados para a atividade 1). Com foco nas incertezas críticas, de grande impacto para a evolução das cadeias produtivas de TRs em nível mundial, foi solicitado a esses grupos que propusessem diagramas para construção de cenários, de acordo com a metodologia GBN.

Os diagramas resultantes foram apresentados em plenária pelos grupos, buscando-se chegar a um diagrama de escolha, que foi a base para a construção de cenários prospectivos globais.

Atividade 3 – Construção dos cenários prospectivos globais

Essa atividade foi conduzida por quatro grupos mistos (de composição distinta das atividades anteriores). Cada grupo ficou responsável pela descrição de um cenário, já que o diagrama de escolha previa a construção de quatro cenários (Figura 22). A cadeia causal fornecida pela equipe do CGEE serviu de apoio para a descrição das trajetórias das variáveis em cada cenário.

Após a apresentação dos grupos, foi escolhido, por votação em plenária, o cenário de referência mundial.

Atividade 4 – Análise das implicações e opções estratégicas para o Brasil, tendo como pano de fundo o cenário de referência mundial e a cadeia causal

Essa atividade foi conduzida por três grupos setoriais (governo, academia/ICTs e indústria). Cada grupo analisou as implicações e opções estratégicas para o Brasil, tendo como pano de fundo o cenário de referência mundial. Essa análise compreendeu:

- A identificação de ameaças e oportunidades para a indústria de TRs no Brasil (vindas do cenário de referência);
- O levantamento das principais forças e fraquezas do país em relação ao desenvolvimento das cadeias produtivas de TRs consideradas estratégicas;
- A proposição do posicionamento estratégico do país, com bases nas análises anteriores.

Ao final da atividade 4, os grupos apresentaram suas visões.



4.2. Situação atual, condicionantes do futuro e incertezas críticas

Nesta Seção, apresentam-se os resultados do *workshop* referentes à atividade 1 – Caracterização da situação atual e identificação dos condicionantes do futuro da evolução das cadeias produtivas de TRs no mundo: 2012-2030²¹.

Inicialmente, busca-se retratar a situação atual da indústria minero-metalúrgica de TRs no mundo para, em seguida, identificar as principais tendências, invariantes, mudanças em andamento e os fatos portadores de futuro que condicionarão a evolução das cadeias produtivas de TRs nos horizontes considerados: 2020 e 2030. Pela sua importância como elemento-chave da criação dos diagramas de cenários prospectivos múltiplos, destacam-se, por último, as incertezas críticas em relação a cada uma das variáveis do contexto global.

4.2.1. Situação atual: cena de 2012

Apresentam-se, no Quadro 12, os eventos e as mudanças em andamento referentes à situação atual da cadeia produtiva de TRs no mundo.

Quadro 12. Situação atual do contexto global da cadeia produtiva de terras raras

Variável	Eventos da situação atual
Economia verde	<p>Aumento da conscientização social em relação à escassez de fontes de combustíveis fósseis. Busca de eficiência energética, otimização do uso e conservação de recursos naturais.</p> <p>Preocupação social com os riscos representados pelos elementos radioativos que acompanham as TRs.</p> <p>Divulgação dos riscos ambientais e desastres favorecem o crescimento da economia verde. Desenvolvimento e uso de tecnologias limpas que empregam TRs.</p> <p>Responsabilidade socioambiental das diversas partes interessadas (governos, indústrias, academia, entre outros).</p> <p>Recuperação econômica de TRs por processos de reciclagem de produtos já utilizados (aproveitamento econômico do lixo eletrônico, como melhor exemplo). Quanto maior a produção de TRs, maior será a geração de resíduos sólidos e os impactos ambientais.</p>
Sociedade da informação	<p>Ampliação do uso de redes. Amplo uso de mídias digitais.</p> <p>Intensificação no uso de sistemas de controle na área de defesa e segurança. Indústria de dispositivos eletrônicos dependente do fornecimento de TRs. Uso intensivo de TRs em equipamentos sofisticados de comunicação.</p> <p>A miniaturização de equipamentos vem contribuindo para aumentar a demanda de TRs.</p>

²¹ Os resultados individuais dos grupos integram a memória digital referente ao estudo, disponível no CGEE.

Governança global	<p>Questionamentos dos EUA, Comunidade Europeia e Japão junto à OMC em relação à política de quotas de exportação de TRs pela China.</p> <p>Questões geopolíticas associadas à produção de TRs necessitam de governança global eficiente. Observa-se, porém, que instituições internacionais (OMC, ONU e outras) têm pouco poder coercitivo para solucionar os atuais problemas no mercado global de TRs.</p>
Mercado global de aplicações que contenham ou usem TRs	<p>Crescimento mundial da classe média. Uso intensivo de redes e mídias digitais e consumo consciente em relação à preservação ambiental e ao uso racional de recursos naturais.</p> <p>Expectativa de demanda crescente das atuais aplicações que contenham ou usem TRs e surgimento de novas aplicações baseadas em TRs. Exemplos incluem carros elétricos, turbinas eólicas, terminais touch screen, equipamentos de diagnósticos médicos avançados, motores e geradores compactos na indústria automotiva e na defesa.</p> <p>Tendência de concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs.</p> <p>O cenário atual é marcado pela hegemonia da China como país fornecedor do mercado global de aplicações que contenham ou usem TRs. Há dúvidas quanto à continuidade do suprimento de TRs na forma de óxidos ou ligas, com fragilidade das cadeias de suprimento e produtivas. Otan e outras alianças necessitam de acesso às matérias-primas para uso de TRs em seus equipamentos de defesa.</p>
Novos materiais concorrentes ou substitutos de TRs	<p>Velocidade no ritmo das pesquisas e inovações tecnológicas associadas a aplicações que contenham ou usem TRs traz incertezas quanto ao surgimento de novos materiais substitutos de TRs.</p> <p>Nota-se um aumento do incentivo à busca de materiais alternativos como resposta à dependência da China em relação ao fornecimento de TRs.</p>
Reservas e produção mundial de TRs	<p>A produção é concentrada em poucos países, sendo que a China possui 36,5% das reservas mundiais de TRs, seguida pela Comunidade dos Estados Independentes (CEI) e pelos EUA. A China hoje lidera a produção mundial, com mais de 97% do mercado global.</p> <p>Prevê-se o aumento de reservas provadas nos próximos anos e crescimento gradual da produção em outros países, além da China, como, por exemplo, Brasil, Canadá, Austrália e Vietnã.</p> <p>Os países consumidores de TRs começam a financiar a produção em países que possuem reservas. Considera-se hoje a probabilidade de os países potenciais produtores de TRs fornecerem para a China no futuro.</p> <p>Melhor conhecimento da geologia dos depósitos de ETRs. Maior caracterização de minérios de ETRs. Viabilização econômica dos coprodutos. Possível desarticulação das cadeias produtivas que dependam de TRs.</p>
Preços internacionais de TRs	<p>Elevação recente dos preços internacionais de compostos de TRs devido à diminuição de quotas de exportações pela China que começaram a ser implantadas no final de 2010.</p> <p>Tendência à estabilização dos preços no futuro próximo devido à queda do monopólio da China e à disseminação ampla da reciclagem de produtos que contenham TRs. Surgimento de nova estrutura de custos a partir da ampliação do número de países produtores e diversificação da cadeia de suprimento de TRs.</p>
Políticas nacionais de países produtores e processadores de TRs	<p>China: diminuição de quotas de exportações pela China com risco de desabastecimento no mercado global de ETRs. A política chinesa é orientada para a integração horizontal da cadeia produtiva de TRs em seu território, atraindo indústrias que utilizam TRs.</p> <p>Países consumidores: o risco à soberania nacional dos países consumidores estimula iniciativas no sentido de redução da dependência do fornecimento de TRs pela China. Países que importam TRs da China buscam reduzir dependência externa pela verticalização das cadeias produtivas em nível global com formação de parcerias estratégicas entre países com reservas ou recursos e países dependentes de TRs. Consideram-se os impactos das cadeias produtivas de TRs nas políticas ambientais nacionais. Prevê-se o surgimento de marcos regulatórios nos países produtores e consumidores de TRs, além da China. Exemplos de mecanismos incluem royalties e incentivos de natureza tributária.</p>

4.2.2. Condicionantes do futuro: horizontes 2020 e 2030

No Quadro 13, descrevem-se os condicionantes da evolução futura das cadeias produtivas de TRs no mundo, considerando dois horizontes distintos: 2020 e 2030. Esses resultados constituíram insu-
mos importantes para a etapa de descrição dos cenários, como poderá ser observado na Seção 4.3.



Quadro 13. Condicionantes da evolução futura das cadeias produtivas de terras raras no mundo: horizontes 2020 e 2030

Variável	Condicionantes do futuro 2012-2020	Condicionantes do futuro 2021-2030
Economia verde	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento da conscientização social sobre a escassez de fontes de energia (TEN). Pressões cada vez maiores para atendimento das necessidades da população mundial, demandando cada vez mais a adoção dos princípios da ecoeficiência (TEN). O uso de TRs possibilita a aplicação de tecnologias energeticamente mais eficientes, compressores herméticos para refrigeração, geradores eólicos, mancais magnéticos e outras aplicações (TEN). • Pressão crescente quanto à redução dos impactos ambientais associados à produção de TRs (INV). Preocupação social com os riscos representados pelos elementos radioativos que acompanham os TRs (MAN). A atividade de mineração de TRs carece de ações mais sustentáveis. Há o dilema entre custo e responsabilidade socioambiental (INV). • Busca por coleta seletiva, descarte adequado e reciclagem de produtos contendo TRs (INV). 	<ul style="list-style-type: none"> • Ampla divulgação e conscientização da sociedade em relação aos riscos e desastres ambientais, em geral, favorecem o crescimento da economia verde (INV). • Conscientização social por escassez de fontes de energia (INV). • Mapeamento dos riscos representados pelos elementos radioativos que acompanham as TRs e criação de marcos regulatórios em diversos países (TEN). • Intensificam-se inovações baseadas em TRs energeticamente mais eficientes (TEN). • Atividade mineradora implementa ações mais sustentáveis, mesmo enfrentando dilema entre custo e responsabilidade socioambiental (INV). • Incentivos à coleta seletiva, descarte adequado e reciclagem de produtos contendo TRs (INV). • Inovações direcionadas para o aproveitamento integral de recursos minerais com 'baixos teores' de TRs, bem como para a integração de cadeias produtivas minerais distintas (TEN).
Sociedade da informação	<ul style="list-style-type: none"> • Inclusão digital da população mundial (INV). • Uso intensivo de TRs em equipamentos sofisticados de comunicação (INV). • Aumento do uso de computação móvel (TEN). • Autonomia de armazenagem de energia (TEN). • Aumento da necessidade e capacidade de armazenamento de dispositivos externos (TEN). • Aumento de uso de armazenamento em nuvens (TEN) e miniaturização de equipamentos contribuem para o aumento da demanda de TRs (TEN). 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclusão digital da população mundial (INV). • Uso intensivo de TRs em equipamentos sofisticados de comunicação (INV). • Arrefecimento no crescimento da demanda por TRs resultante da utilização de Oleds (MAN).
Governança global	<ul style="list-style-type: none"> • Recrudescimento das tensões mundiais (TEN). • Pouco poder coercitivo por parte de instituições internacionais (OMC, ONU e outras) para solucionar os atuais problemas no mercado global de TRs (TEN). • Pressões por parte de EUA, Japão e países europeus junto à OMC quanto à política comercial da China para TRs (MAN). 	<ul style="list-style-type: none"> • Recrudescimento das tensões mundiais (TEN). • Pressões por parte de EUA, Japão e países europeus junto à OMC quanto à política comercial da China para TRs (TEN). • O exercício do poder de instituições internacionais (OMC, ONU e outras) para solucionar problemas no mercado global de TRs constitui incerteza crítica (INC).
Mercado global de aplicações que contenham ou usem TRs	<ul style="list-style-type: none"> • Hegemonia da China como país fornecedor do mercado global de aplicações que contenham ou usem TRs (INV). • Surgimento de novos fornecedores de TRs e parcerias estratégicas em nível global (MAN). • Concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs (TEN). • Grande aumento da demanda com a inclusão social nos países emergentes (MAN). • Desenvolvimento de novas aplicações baseadas em tecnologias emergentes (FPF). • Aumento da fração de mercado de carros elétricos (TEN). 	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidação de novos fornecedores de TRs e formação de parcerias estratégicas em nível global (TEN). • Atração por parte de outros países produtores de indústrias <i>high-tech</i> que utilizam TRs (MAN). • Demanda crescente por parte dos países emergentes (TEN). • Desenvolvimento de novas aplicações baseadas em novas tecnologias, como, por exemplo, nanotecnologia (TEN). • Aumento da participação de carros elétricos no mercado automotivo (TEN). • Estabilidade (ou não) do fornecimento de TRs (óxidos e ligas metálicas) (INC). • Concentração (ou não) na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs (INC).

Variável	Condicionantes do futuro 2012-2020	Condicionantes do futuro 2021-2030
Novos materiais concorrentes ou substitutos de TRs	<ul style="list-style-type: none"> Aumento do incentivo à busca de materiais alternativos como resposta à hegemonia da China (MAN). Aumento de eficiência energética reduz as necessidades de uso de TRs (TEN). Espera-se o surgimento de novos ímãs melhores que os atuais baseados em TRs (TEN). Surgimento de novos materiais substitutos de ETRs com economicidade e desempenho como incerteza crítica (INC). 	<ul style="list-style-type: none"> Aumento de eficiência energética reduz as necessidades de uso de TRs (INV). Uso de novos ímãs melhores que os atuais baseados em TRs (INV). Surgimento dos supercondutores à temperatura ambiente (FPF). Surgimento de novos materiais substitutos de TRs com economicidade e desempenho como incerteza crítica (INC).
Reservas e produção mundial de TRs	<ul style="list-style-type: none"> A produção continua concentrada em poucos países na década (INV). Esforço mundial no sentido de descobrir novas jazidas e de dimensionar reservas: EUA, Canadá, África do Sul, Brasil, Austrália, Groenlândia e outros países (MAN). Aumento das reservas e crescimento gradual da produção em outros países (MAN). 	<ul style="list-style-type: none"> Surgimento de novos atores no desenvolvimento de reservas e na produção mundial de TRs (TEN). Fornecimento por parte de novos produtores de TRs para a China a preços competitivos (MAN). O Brasil, dentre outros países, deverá ter cuidado em não ser um exportador de commodities, semelhante às exportações de ferro. Hegemonia chinesa (ou não) no mercado global de TRs (INC). Concentração da produção de ETRs em poucos países (INC). Continuidade e garantia do suprimento (ou não) de TRs na forma de compostos (INC).
Preços internacionais de TRs	<ul style="list-style-type: none"> Alteração do equilíbrio entre oferta e demanda, com oferta maior do que a demanda, causando grande impacto nos preços internacionais de TRs (TEN). Não haverá bolha de preço semelhante à de 2011. Os preços permanecerão estáveis com redução da volatilidade dos preços (TEN). Espera-se queda nos preços de TRs para valores não inferiores a 2006 (TEN). Surgimento de bolsa mundial para cotação e venda de TRs (FPF). 	<ul style="list-style-type: none"> Preços regulados pela entrada de novos produtores de TRs, além da China (INC). Ocorrência (ou não) de nova onda de volatilidade de preços de TRs com forte impacto no desenvolvimento de projetos fora da China (INC).
Políticas nacionais de países produtores e processadores de TRs	<ul style="list-style-type: none"> China: política restritiva quanto ao suprimento de TRs aos países consumidores, ou seja, manutenção da política de quotas para exportação (INV). Busca a integração horizontal da cadeia produtiva em seu território, atraindo cada vez mais indústrias que utilizam TRs (INV). Preços de TRs no mercado interno bem inferiores aos preços praticados no mercado externo (TEN). Algumas iniciativas de aquisição de terras em países com potencial de jazidas de TRs (Brasil, inclusive) (FPF). Países consumidores: iniciativas no sentido de redução da dependência do fornecimento de TRs pela China (MAN). Verticalização das cadeias produtivas em nível global com formação de parcerias estratégicas entre países com reservas ou recursos e países dependentes de TRs (FPF). Esforços de PD&I direcionados para substitutos de TRs (FPF). Consideram-se os impactos das cadeias produtivas de TRs nas políticas ambientais nacionais (TEN). Surgimento de marcos regulatórios nos países produtores e processadores de ETRs, além da China. Exemplos de mecanismos incluem royalties de taxaço e tributos (TEN). Crescente importância da sustentabilidade socioambiental (TEN). Formalização e legalização da produção de TRs. Combate ao contrabando (TEN). Política de aproveitamento de fontes secundárias de TRs, como, por exemplo, Coreia, Suécia e Japão (TEN). 	<ul style="list-style-type: none"> Estabelecimento de parcerias estratégicas internacionais ao longo de cadeias produtivas (TEN). Formação de estoques reguladores nacionais e internacionais (TEN). Crescente importância da sustentabilidade socioambiental (INV). Formalização e legalização da produção de TRs. Combate ao contrabando (INV). Política de aproveitamento de fontes secundárias de TRs, como, por exemplo, Coreia, Suécia e Japão (INV). Redução de quotas de exportações pela China (INC). Risco de desabastecimento (ou não) no mercado global de TRs (INC). Criação de políticas restritivas (ou não) em outros países produtores, como EUA, Canadá, Austrália e Brasil, vista como incerteza crítica (INC). Risco (ou não) à soberania nacional dos mais diferentes países dependentes do fornecimento externo de TRs (INC).

Legenda: INV – invariante; TEN – tendência consolidada; MAN – mudanças em andamento; FPF – fato portador de futuro.

Nota: Definições de condicionantes de futuro encontram-se no glossário ao final deste documento.



4.2.3. Incertezas críticas: elementos fundamentais para a construção de cenários prospectivos

Define-se, para fins deste estudo, incerteza crítica como fenômeno ou situação do contexto mundial com alto grau de incerteza e alto impacto potencial para o futuro da cadeia produtiva de TRs no horizonte considerado.

Pela sua importância para a construção de cenários prospectivos múltiplos, destacam-se, no Quadro 14, as principais incertezas associadas à evolução da cadeia produtiva de TRs no mundo, considerando-se o horizonte 2030.

Quadro 14. Incertezas críticas da evolução da cadeia produtiva de terras raras no mundo: horizonte 2030

Variável	Incertezas críticas: horizonte 2030
Economia verde	<ul style="list-style-type: none"> O uso de TRs possibilitará a aplicação de tecnologias energeticamente mais eficientes, compressores herméticos para refrigeração, geradores eólicos, mancais magnéticos e outras aplicações limpas?
Sociedade da informação	<ul style="list-style-type: none"> Não foram apontadas incertezas críticas em relação a essa variável.
Governança global	<ul style="list-style-type: none"> Como será exercido o poder coercitivo de instituições internacionais (OMC, ONU e outras) para solucionar problemas no mercado global de TRs?
Mercado global de aplicações que contenham ou usem ETRs	<ul style="list-style-type: none"> Haverá fornecimento estável de TRs (óxidos e ligas metálicas) para países consumidores? Haverá concentração na China de indústrias de alta tecnologia que utilizam TRs?
Novos materiais concorrentes ou substitutos de TRs	<ul style="list-style-type: none"> Surgirão novos materiais substitutos de TRs com economicidade e desempenho desejado?
Reservas e produção mundial de TRs	<ul style="list-style-type: none"> Permanecerá a hegemonia chinesa e seu controle sobre o mercado global de TRs? Até quando? A produção ficará concentrada em poucos países? Ou haverá diversificação das fontes de suprimento? Haverá continuidade e garantia do suprimento de matérias-primas, ou seja, TRs na forma de compostos?
Preços internacionais de TRs	<ul style="list-style-type: none"> Poderá ocorrer volatilidade de preços de TRs com forte impacto no desenvolvimento de projetos fora da China? Os preços serão regulados pela entrada de novos produtores de TRs, além da China?
Políticas nacionais de países produtores e processadores de TRs	<ul style="list-style-type: none"> Haverá diminuição de quotas de exportações pela China? Haverá risco de desabastecimento no mercado global de TRs? Qual será o risco à soberania nacional dos mais diferentes países dependentes do fornecimento externo de TRs? Serão estabelecidas políticas restritivas por parte de outros países produtores (EUA, Austrália, Canadá, África do Sul e Brasil, por exemplo)?

4.3. Cenários prospectivos globais e cenário de referência: 2012-2030

Definem-se cenários prospectivos como descrições de futuros qualitativamente distintos para um sistema e seu contexto e dos caminhos ou trajetórias que os ligam à situação inicial desse sistema e seu contexto. No caso deste estudo prospectivo, referem-se à evolução da cadeia produtiva de TRs em uma perspectiva global. Compreendem a descrição da situação de origem (cena de 2012) e dos acontecimentos que conduzem à situação futura. Esse conjunto de acontecimentos ou jogo de hipóteses deve apresentar uma coerência interna.

A partir do conjunto de incertezas críticas elencadas no Quadro 14, foram gerados por grupos distintos quatro diagramas de cenários prospectivos com base na proposta metodológica da Global Business Network. Do conjunto de diagramas gerados, foi selecionado, em plenária, o diagrama que seria a base para o exercício de cenarização propriamente dito, conforme representado na Figura 22.

A descrição dos quatro cenários prospectivos associados ao diagrama da Figura 22 compreendeu os seguintes componentes: (i) filosofia; (ii) trajetória do sistema no período 2012-2020; (iii) trajetória do sistema no período 2021-2030; (iv) principais atores; (v) condições de plausibilidade da trajetória no período 2012-2020; (vi) condições de plausibilidade da trajetória no período 2021-2030.

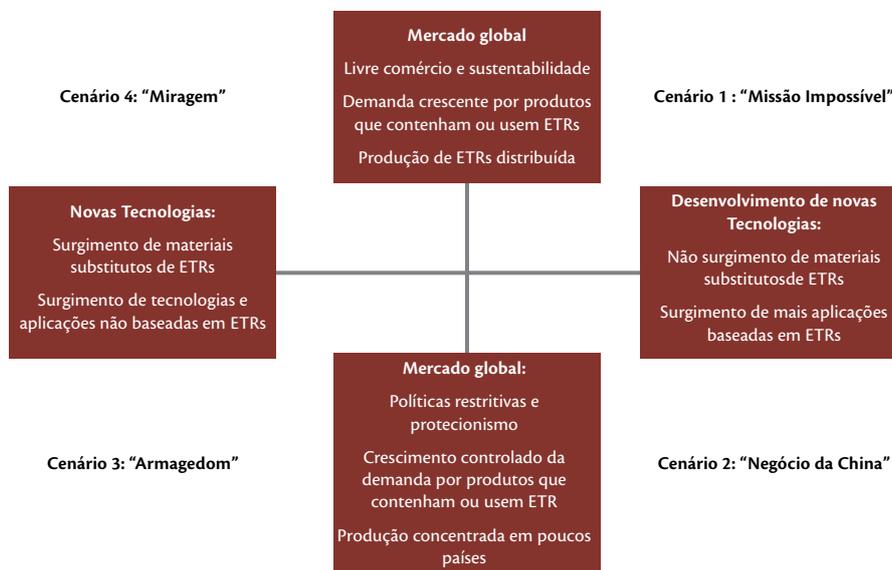


Figura 22. Diagrama de escolha para a construção de cenários prospectivos globais da cadeia produtiva de terras raras: horizonte 2030



A filosofia sintetiza o movimento ou a direção fundamental do sistema considerado. Traduz a ideia-força do cenário, como, por exemplo, desenvolvimento sustentável.

A trajetória é o percurso ou caminho do sistema considerado no horizonte de tempo estabelecido. Descreve o movimento ou a dinâmica desse sistema a partir da cena inicial até a cena final.

Os atores são entidades ou grupos de influência, organizações públicas ou privadas, instâncias de decisão, classes sociais, agentes econômicos.

As condições de plausibilidade sustentam as trajetórias preconizadas em cada período.

Apresenta-se, a seguir, a descrição dos quatro cenários alternativos referentes à evolução da cadeia produtiva de TRs no mundo, horizonte 2030.

4.3.1. Cenário “Missão Impossível”

O Quadro 15 apresenta a descrição do cenário “Missão Impossível”.

Quadro 15. Descrição do cenário “Missão Impossível”

Componente	Descrição
Filosofia do cenário	Neste cenário, prevalece o livre-comércio com crescente oferta e demanda de matérias-primas e produtos que usam ou contêm TRs. O mercado é interpretado como livre (sem restrições), crescente e distribuído, tanto dos produtos que utilizam ou contêm TRs, como também de produtos intermediários de base mineral da cadeia produtiva de TRs. Não há substituição de TRs por novos materiais, e a demanda por novos produtos e aplicações que utilizem ou contêm TRs continua em crescimento até o horizonte 2030 em função de desenvolvimentos segundo os princípios da economia verde e da sociedade do conhecimento, cada vez mais inclusiva.
Trajetória do sistema no período 2012-2020	Em função da demanda e da produção de energias alternativas não poluentes, do mercado crescente de produtos e atividades baseadas em tecnologias de informação e comunicação (TICs) e não havendo materiais que venham a substituir TRs, mantém-se a hegemonia da China com tendência de crescimento, no que diz respeito à produção mundial, tanto das matérias-primas quanto dos produtos que utilizam ou contêm TRs. No entanto, as minas de Mountain Pass (EUA) e Mount Weld (Austrália) estão em processo de reativação, com participação significativa na produção mundial. Essas reativações estão sendo concretizadas por alianças estratégicas com grandes empresas consumidoras de ETRs (ex. Siemens e Lynas). As legislações ambientais são mais rigorosas para os processos de extração e processamento de TRs, mas também para os processos de fabricação de produtos que contêm ou usam TRs. Novos recursos minerais encontram-se em fase de prospecção, e novas reservas estão em definição em países como Brasil, EUA, Canadá e África do Sul, além de outros países já citados no panorama mundial (Capítulo 2). O Brasil começa a investir nas cadeias produtivas de TRs consideradas estratégicas para o país. Os preços de TRs não apresentam mais volatilidade, como consequência do comércio livre.

Componente	Descrição
Trajectoria do sistema no período 2021-2030	A demanda por energias alternativas não poluentes continua crescente, assim como a produção de matérias-primas e de tecnologias que utilizam ou contêm TRs. O mercado de produtos e serviços baseados em tecnologias de informação e comunicação (TICs) continua em amplo crescimento, não havendo ainda materiais que venham a substituir TRs em termos econômicos e de desempenho. A China perde sua hegemonia no mercado global de TRs devido à significativa diversificação da produção em outros países, com destaque para Brasil, Austrália, Canadá e EUA. Sinalizam-se novamente tendências de crescimento no que diz respeito à produção tanto das matérias-primas quanto dos produtos que utilizam ou contêm TRs. As legislações ambientais das diversas regiões produtoras mantêm-se rigorosas para os processos de mineração e beneficiamento, como também para os processos industriais baseados em TRs. Os preços de TRs continuam estáveis como consequência de medidas bem-sucedidas voltadas para o livre-comércio. A produção de ETRs e aplicações industriais encontram-se bem distribuídas e sem nenhuma hipótese de surgimento de materiais substitutos de TRs. A Bolsa de Mercadorias de TRs está em operação. Ocorre a descentralização de produtos industrializados com TRs, envolvendo investimentos em unidades fabris em países produtores de TRs, além da China.
Principais atores	Governos de países produtores e processadores de TRs (China, EUA, Austrália, Brasil, entre outros); OMC, ONU, OCDE, países consumidores, empresas de alta tecnologia baseadas em TRs, empresas <i>joint-ventures</i> para produção e processamento de TRs.
Condições de plausibilidade no período 2012-2020	Expansão da pesquisa e produção mineral em outros países, além da China; queda de barreiras comerciais mundiais; formação de centros tecnológicos para pesquisa e formação de recursos humanos; incentivos financeiros e fiscais por parte dos países produtores de TRs, além da China; acordos internacionais que permitam acesso às tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio; e formação de empresas <i>joint-ventures</i> resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de TRs.
Condições de plausibilidade no período 2021-2030	Expansão da pesquisa e produção mineral em outros países; controle para evitar barreiras comerciais mundiais; manutenção de centros tecnológicos para pesquisa e formação de RH; incentivos financeiros e fiscais e manutenção dos acordos internacionais firmados no período 2012-2020; atuação competitiva e sustentável de empresas <i>joint-ventures</i> resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de TRs.

4.3.2. Cenário “Negócio da China”

O Quadro 16 apresenta a descrição do cenário “Negócio da China”.

Quadro 16. Descrição do cenário “Negócio da China”

Componente	Descrição
Filosofia do cenário	Manter as TRs como insubstituíveis, aumentar a demanda de aplicações industriais que contenham ou usem TRs e garantir a hegemonia da China com atuação coadjuvante de alguns poucos países.
Trajectoria do sistema no período 2012-2020	Intensifica-se o uso de TRs pelo aumento da demanda por tecnologias sustentáveis (economia verde) e produtos de alta tecnologia (sociedade da informação), somado à ausência de materiais substitutos. A falta de mecanismos efetivos de governança global mantém a hegemonia chinesa com a sua política de quotas de exportação. Observa-se volatilidade dos preços, que inviabiliza investimentos em novos empreendimentos. Dessa maneira, evita-se a entrada de outros países produtores no mercado, fato acentuado pela ausência de políticas nacionais e programas estruturantes para o desenvolvimento das respectivas indústrias de TRs e de outros minerais estratégicos. Intensifica-se na China a verticalização da cadeia de produção de TRs e a atração de empresas de alta tecnologia baseada em TRs. A China vale-se de mecanismos para postergar o julgamento do contencioso na OMC e enfatiza os direitos de propriedade intelectual (DPI) referentes a novas aplicações.
Trajectoria do sistema no período 2021-2030	A China vale-se dos mesmos mecanismos do período 2010-2012 para perpetuar sua hegemonia, principalmente pela manutenção da verticalização da cadeia de produção de TRs e a atração de empresas de alta tecnologia baseada em TRs. Prossegue adotando mecanismos para postergar o julgamento do contencioso na OMC e intensifica a proteção de propriedade intelectual em novas aplicações.



Principais atores	Governo chinês, OMC, países consumidores, empresas de alta tecnologia baseadas em TRs e países potenciais produtores de TRs.
Condições de plausibilidade no período 2012-2020	Manutenção e intensificação da política do governo chinês para TRs. Fraco poder coercitivo das instituições de governança global (OMC, ONU e outras) e baixa eficácia das públicas efetivas dos países consumidores e potenciais produtores no sentido de enfrentar a posição hegemônica e protecionista da China.
Condições de plausibilidade no período 2021-2030	Manutenção e intensificação da política do governo chinês para TRs. Ausência de mecanismos efetivos de governança global e falta de políticas e baixa eficácia das públicas efetivas dos países consumidores e potenciais produtores no sentido de enfrentar a posição hegemônica e protecionista da China.

4.3.3. Cenário “Armagedon”

O Quadro 17 apresenta a descrição do cenário “Armagedon”.

Quadro 17. Descrição do cenário “Armagedon”

Componente	Descrição
Filosofia do cenário	É um cenário que se apresenta de forma restritiva, controlado e concentrado, sendo altamente protecionista devido ao papel da China. O aparecimento de novos materiais substitutivos às TRs e a não existência de usos alternativos para estas geram um cenário de “Armagedon”, de juízo final. No entanto, este é um cenário que pode gerar oportunidades em termos de desenvolvimento tecnológico (novos materiais).
Trajatória do sistema no período 2012-2020	O desenvolvimento de novos materiais sustentáveis que prescindam do uso de TRs acarreta queda na demanda ou ainda, no pior dos casos, ausência de demanda. Ademais, legislações ambientais extremamente rigorosas levam ao fechamento de empreendimentos minerais. Consolidam-se, nesse período, as tendências de intensificação do uso de redes, mídias digitais e de aplicações avançadas de tecnologias de informação e comunicação, porém com base em materiais que não utilizam ETRs. As ações e os mecanismos de governança global não são capazes de reverter esse cenário desfavorável para novas aplicações e usos de ETRs. Como consequência, o mercado global de aplicações que contenham ou usem ETRs é decrescente, tendendo a zero. Surgem novos materiais substitutos para as TRs, o que agrava ainda mais a situação da indústria de TRs em nível global. As reservas permanecem nos mesmos níveis, sem investimentos na pesquisa de novas, e a produção encontra-se decrescente, restringindo-se às zonas de grandes reservas. Observa-se um descontrole na política de preços e total falta de tendências. Com relação às políticas nacionais de países produtores, incluindo a China, há um total desalinhamento, prevalecendo a visão de que “usa quem tem”.
Trajatória do sistema no período 2021-2030	O desenvolvimento de novos materiais sustentáveis que prescindam do uso de TRs acarreta queda na demanda ou ainda, no pior dos casos, ausência de demanda. Ademais, legislações ambientais extremamente rigorosas levam ao fechamento de empreendimentos minerais. Consolidam-se, nesse período, as tendências de intensificação do uso de redes, mídias digitais e de aplicações avançadas de tecnologias de informação e comunicação, porém com base em materiais que não utilizam ETRs. As ações e os mecanismos de governança global não são capazes de reverter esse cenário desfavorável para novas aplicações e usos de ETRs. Como consequência, o mercado global de aplicações que contenham ou usem ETRs é decrescente, tendendo a zero. Surgem novos materiais substitutos para as TR, o que agrava ainda mais a situação da indústria de TRs em nível global. As reservas permanecem nos mesmos níveis, sem investimentos na pesquisa de novas, e a produção encontra-se decrescente, restringindo-se às zonas de grandes reservas. Observa-se um descontrole na política de preços e total falta de tendências. Com relação às políticas nacionais de países produtores, incluindo a China, há um total desalinhamento, prevalecendo a visão de que “usa quem tem”.
Principais atores	OCDE, União Europeia, EUA, Austrália, Japão, BRICs e OMC. Desenvolvedores de novos materiais: academia, centros de pesquisas públicos e privados e empresas afins, com ou sem interesses no uso de ETRs.
Condições de plausibilidade nos períodos 2012–2020 e 2021-2030	Desenvolvimento crescente de novos materiais por meio de tecnologias disruptivas, materiais esses que não utilizam ou contêm ETRs.

4.3.4. Cenário “Miragem”

O Quadro 18 apresenta a descrição do cenário “Miragem”.

Quadro 18. Descrição do cenário “Miragem”

Componente	Descrição
Filosofia do cenário	Este cenário considera a dimensão de mercado global liberalizado e, por consequência, mais competitivo e sustentável. Considera, ainda, o surgimento de novos materiais e tecnologias substitutas que diminuem a demanda por TRs.
Trajectoria do sistema no período 2012-2020	As pressões sociais pela adoção de práticas e preceitos compatíveis com as do desenvolvimento sustentável fortalecem a economia verde. A comunicação móvel, fixa e o uso de redes de comunicação de dados ganham novos impulsos de crescimento. Nesse contexto, os países produtores de TRs praticam o livre-comércio internacional, sem que ocorram pressões de desabastecimento. Simultaneamente, surgem novos materiais substitutos de TRs, concorrendo favoravelmente para a descompressão sobre os preços e a redução da demanda de produtos à base de TRs. As reservas e a produção de TRs continuam crescendo moderadamente, sem sobressaltos característicos dos anos recentes. Em consequência, os preços estarão alinhados e regulados. Em nível global, observa-se um alinhamento harmônico entre os países produtores de TRs.
Trajectoria do sistema no período 2021-2030	A continuidade das pressões sociais pela adoção de práticas e preceitos de sustentabilidade consolida a economia verde. A comunicação móvel, fixa e o uso de redes de comunicação de dados permanecem em crescimento. Continua o desenvolvimento de novas aplicações tecnológicas sem o uso de TRs. Permanece o alinhamento em nível mundial entre os países produtores de TRs com a retração do monopólio chinês. Início do processo de alteração do equilíbrio entre oferta e demanda, com oferta maior do que a demanda, causando grande impacto nas políticas e nos preços. Nesse contexto, observa-se forte tendência para se atingir o equilíbrio da oferta com a demanda, aliviando as pressões do comércio internacional. Os países produtores praticam o livre-comércio internacional, sem que ocorram pressões de desabastecimento. Persiste o desenvolvimento de novos materiais substitutos, concorrendo favoravelmente para a descompressão sobre os preços e redução da demanda de produtos à base de TRs. As reservas e a produção de TRs continuam crescendo moderadamente, sem os sobressaltos característicos dos anos de crise. Em consequência, os preços permanecem alinhados e regulados.
Principais atores	Países detentores de reservas. Empresas de mineração, de alta tecnologia, de transformação. Consumidores. Organizações de governança global (OMC, ONU). Centros de CT&I.
Condições de plausibilidade no período 2012-2020	Investimento maciço em CT&I na busca de tecnologias limpas, novos materiais e tecnologias substitutas que diminuam a demanda por TRs. Acordos internacionais que permitam acesso às tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio.
Condições de plausibilidade no período 2021-2030	Surgimento de tecnologias limpas, novos materiais e tecnologias substitutas que diminuam a demanda por TRs. Acordos internacionais que permitam acesso às tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio.

4.3.5. Cenário global de referência: trajetória mista

Com base na descrição dos cenários prospectivos globais associados ao diagrama de escolha (itens 4.3.1 a 4.3.4), elegeu-se, em plenária, aquele que seria o cenário de referência para fins da análise do posicionamento estratégico do Brasil em face desse cenário.

A Figura 23 mostra os resultados da votação, durante o *workshop*, que indicaram que o cenário de referência teria uma trajetória mista.

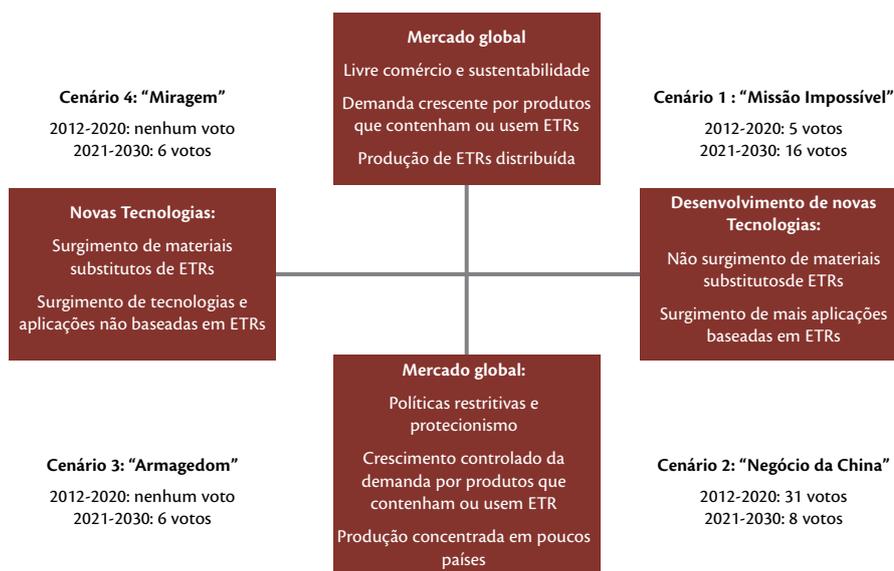


Figura 23. Escolha do cenário global de referência da cadeia produtiva de terras raras: trajetória mista

Como pode ser observado na Figura 23, no primeiro período (2012-2020), prevalecerá a lógica do cenário “Negócio da China”, cuja descrição encontra-se no Quadro 16 particularmente na linha Trajetória do sistema no período 2012-2020.

No entanto, mudanças políticas e iniciativas empreendidas por países detentores de jazidas minerais contendo TRs, como é o caso do Brasil, fortalecem o posicionamento estratégico desses países, que estabelecem parcerias com países que dominam tecnologias limpas para produção de TRs e aplicações industriais baseadas em TRs.

Partindo-se desses pressupostos, no segundo período (2021-2030), prevê-se uma ruptura na trajetória do cenário “Negócio da China”, com a entrada de novos atores no mercado global. Prevalecem o livre-comércio e a sustentabilidade da cadeia produtiva de TRs com crescente demanda e oferta de matérias-primas e de produtos que usem ou contenham TRs. A descrição dessa parte da trajetória encontra-se no Quadro 15, particularmente na linha Trajetória do sistema no período 2021-2030.

4.4. Implicações estratégicas para o Brasil: gargalos e desafios, horizontes 2020 e 2030

Apresenta-se, a seguir, a consolidação das visões do governo, academia/ICTs e indústria sobre as implicações estratégicas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil face ao cenário global de referência descrito no Quadro 16 (trajetória 2012-2020 do cenário “Negócio da China”) e na Seção 3.4 (trajetória 2021-2030 do cenário “Missão Impossível”).

Para a análise das implicações para o Brasil, decorrentes da materialização futura do cenário global de referência, utilizou-se a matriz *SWOT* por ser uma ferramenta simples para verificar a posição estratégica do país no contexto global em questão, conforme indicado na Figura 24.



Figura 24. Esquema gráfico da matriz *SWOT*: forças, fraquezas, ameaças e oportunidades

Considerando-se que a trajetória da cadeia produtiva de TRs no cenário global de referência é mista, optou-se por apresentar a matriz *SWOT* referente à análise estratégica do Brasil para os dois horizontes temporais considerados: 2020 e 2030. Buscou-se, desse modo, evidenciar as ameaças e oportunidades para o país em cada uma das trajetórias do cenário de referência:

- Cenário “Negócio da China” no período 2012-2020;
- Cenário “Missão Impossível” no período 2021-2030.



Os Quadros 19 e 20 representam respectivamente as matrizes *SWOT* referentes a esses dois períodos.

Quadro 19. Matriz *SWOT* da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: período 2012-2020

<p>Forças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto potencial geológico e viabilização das reservas já conhecidas. • Implementação do novo marco regulatório da mineração. • Competência técnico-científica para o desenvolvimento de tecnologias para as cadeias produtivas, porém dispersa em outras atividades. • Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal - ENCTI 2012-2015, PBM, PAC - CPRM 2010-2014 e PNM 2030. • Recursos minerais contendo TRs são abundantes no país. Presença de grandes empresas de mineração. • Evidências de reservas possíveis de TRs no país, embora haja informações contraditórias. • Mapeamento do potencial estratégico de cadeias produtivas de aplicações de TRs, como, por exemplo, ímãs permanentes, catalisadores e ligas metálicas. • Mercado consumidor de produtos que utilizam ou contêm TRs em tendência de crescimento. • Disponibilidade de competência tecnológica para fazer frente aos desafios tecnológicos das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas para o país. No entanto, a maioria dos especialistas em TRs encontra-se dedicada a atividades de outros setores. 	<p>Fraquezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • A falta de políticas de Estado nas décadas anteriores prejudicou o desenvolvimento da indústria de bens minerais estratégicos. Falta de iniciativas nas décadas anteriores (governamental e do setor privado) voltadas para TRs terá que ser revertida no período 2012-2020. • Falta de fomento ao investimento de risco. Arcabouço jurídico complexo. Deficiente ordenamento territorial associado à atividade de mineração. • Recursos humanos especializados encontram-se dedicados a atividades de outros setores. Necessidade urgente de recursos humanos capacitados em todos os níveis, em quantidade adequada. • Baixo orçamento governamental para PD&I e desenvolvimento industrial da cadeia produtiva de TRs no país. • Custo Brasil. Infraestrutura de transporte precária nas regiões de maior potencial mineral. Pressão das comunidades do entorno das atividades produtivas em busca de ganhos sociais.
<p>Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> • A falta de mecanismos efetivos de governança global mantém a hegemonia chinesa no mercado global de TRs com sua política de quotas de exportação. No início do período, a volatilidade dos preços em nível global traz incertezas e inibe investimentos na cadeia produtiva de TRs no Brasil. • A falta de garantia de suprimento de TRs por parte da China gera dependência externa do Brasil de cadeias estratégicas como ímãs, catalisadores e ligas metálicas. Questões ambientais e política de quotas para exportação da China levam à redução da produção em alguns segmentos e desabastecimento de TRs no Brasil. • Intensifica-se na China a verticalização da cadeia de produção de TRs a jusante, pela atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs. Esse movimento aumenta o consumo interno de TRs na China e ganhos de escala em diversas cadeias de aplicações de TRs, gerando dificuldades e barreiras à inserção competitiva e sustentável do Brasil no mercado global como fornecedor de TRs e suas aplicações. Isso poderá restringir os investimentos no Brasil. • Ameaça de quadro recessivo mundial impactando todas as atividades de TRs, incluindo as iniciativas empreendidas nas cadeias produtivas de ímãs permanentes, catalisadores e ligas metálicas no Brasil. • A China vale-se de mecanismos para postergar o julgamento do contencioso na OMC e enfatiza os direitos de propriedade intelectual (DPI) relativos a novas aplicações. Pirataria tecnológica intensificada. • Falta de alternativas de materiais substitutos de TRs. As soluções geradas no período são de desempenho inferior quando comparadas às tecnologias e aos materiais que utilizam ou contêm TRs. 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • No decorrer do período, não ocorre bolha de preço semelhante à de 2011. Os preços tendem à estabilidade, com queda para valores não inferiores a 2006. Oportunidade para investimentos no Brasil em pesquisas geológicas. • Acordos internacionais favorecem o acesso às tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Início da formação de empresas joint-ventures resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de TRs. • Estabelecimento de parcerias internacionais, visando ao desenvolvimento de reservas e de cadeias produtivas consideradas estratégicas para o país, a saber: ímãs permanentes, em continuidade aos esforços de cooperação Brasil-Alemanha iniciados em 2011; integração a montante das cadeias de catalisadores; integração vertical da cadeia de pós para polimento e fabricação de vidros especiais, com suprimento interno de TRs de origem nacional; desenvolvimento de segmentos das cadeias produtivas de ligas metálicas portadoras de TRs e fósforos de TRs. • Intensifica-se no mundo e no Brasil o uso de TRs pelo aumento da demanda por tecnologias sustentáveis (economia verde) e por produtos de alta tecnologia (sociedade da informação), somado à ausência de materiais substitutos de TRs. • Intensificam-se as atividades de exploração de jazidas e identificam-se e dimensionam-se novas reservas de TRs que contribuem para a viabilização da cadeia produtiva no país.

A seguir, o Quadro 20 indica as principais forças e fraquezas, ameaças e oportunidades referentes ao período 2021-2030.

Quadro 20. Matriz SWOT da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: período 2021-2030

<p>Forças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recursos minerais contendo TRs são abundantes no país e explorados de forma sustentável. Identificam-se e dimensionam-se novas reservas de TRs que contribuem para a viabilização de outras cadeias produtivas no país, como fibras ópticas, cerâmicos e baterias. • Formação de parcerias e joint-ventures para exploração sustentável de TRs no país e desenvolvimento dessas cadeias produtivas devido à tendência de crescimento do mercado consumidor de produtos com base em TRs. • A indústria minero-metalúrgica de TRs no país cumpre os regulamentos e requisitos legais tanto ambientais quanto de segurança e saúde ocupacional, respeitando as restrições na produção de TRs decorrentes da sua associação a radionuclídeos. • A legislação ambiental mantém-se rigorosa para os processos de produção mineral e para os processos industriais que têm TRs como matérias-primas, constituindo uma vantagem competitiva para o país no caso de exportações para países europeus, EUA e Japão. • Fortalecimento de competência tecnológica fazendo frente aos desafios tecnológicos das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas para o país. 	<p>Fraquezas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Risco de descontinuidade das políticas públicas implementadas no período 2012-2020. • Necessidade de maior agressividade por parte dos empresários do setor. • Necessidade de contínuo aperfeiçoamento de mão de obra qualificada, evitando-se o quadro desfavorável e a evasão para outros setores, como observado em décadas anteriores. • Geração de resíduos da exploração de TRs.
<p>Ameaças</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ambiente de comércio internacional competitivo, levando à redução dos preços até patamares que possam inviabilizar a produção interna. • Novos concorrentes aparecem devido ao cenário favorável ao livre-comércio e à distribuição mais equilibrada do mercado global de TRs. Ameaça de concorrência externa acentuada devido a desequilíbrios entre oferta e demanda no mercado global de TRs. Possibilidade de novo dumping chinês. • Em nível global, as legislações ambientais mantêm-se rigorosas para os processos de produção e para os processos industriais das cadeias produtivas de aplicações de ETRs. O Brasil deverá acompanhar essa tendência ou ficará fora do mercado global por questões socioambientais. • Ênfase nos direitos de propriedade industrial (DPI) de tecnologias mais avançadas por parte de outros países podem levar à dependência tecnológica do Brasil em relação a segmentos de cadeias produtivas de aplicações de ETRs consideradas estratégicas. Ameaça de pirataria tecnológica por parte da China, porém mais branda do que no período 2012-2020. • Não há ameaça de surgimento de materiais substitutos de ETRs. 	<p>Oportunidades</p> <ul style="list-style-type: none"> • A China perde a hegemonia no mercado global de TRs devido à diversificação da produção significativa em outros países. O Brasil tem oportunidade de reforçar seu papel estratégico no fornecimento de TRs, matérias-primas e produtos finais das cadeias produtivas de ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento e fabricação de vidros especiais, além de desenvolver cadeias produtivas de outras aplicações industriais, como fibras ópticas, cerâmicos e baterias. • A demanda por energias alternativas não poluentes continua crescente, o que aquece o mercado de aplicações industriais de TRs, tanto o consumo interno quanto o mercado para exportações. Mercados de produtos baseados em TICs continuam em amplo crescimento. • Os preços de TRs continuam estáveis como consequência do livre-comércio. A Bolsa de Mercadorias de ETRs está em plena operação. • Vencimento de patentes gera novas oportunidades de produção no Brasil, como ocorrido no período 2012-2020.

A partir do mapeamento das ameaças, oportunidades, forças e fraquezas referentes aos dois períodos da análise estratégica, foi possível identificar um conjunto de gargalos e oportunidades para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil, como será apresentado no Quadro 21.



Quadro 21. Gargalos e desafios o país em relação ao cenário global de referência: períodos 2012-2020 e 2021-2030

Dimensão de análise (Brasil)	Gargalos e desafios: 2012-2020	Gargalos e desafios: 2021-2030
<p>ME – Mercado de aplicações de TRs: demanda e oferta interna de produtos que contêm/usam TRs</p>	<p>Demanda crescente de produtos que contêm/usam TRs no mundo estimula no Brasil a atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs, com foco em cadeias consideradas estratégicas (ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais). O Brasil passa gradativamente a ter expressão no mercado global como fornecedor de ímãs permanentes, fósforos de TRs, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais.</p>	<p>Mercado consumidor de produtos que utilizam ou contêm TRs em tendência de crescimento. O Brasil mantém-se competitivo como um dos países fornecedores, tanto de aplicações de TRs (ímãs, catalisadores, dentre outras) quanto de produtos finais das cadeias produtivas. Consolidação de parcerias e <i>joint-ventures</i> para exploração sustentável de TRs no país e desenvolvimento de novas cadeias produtivas de aplicações de TRs (cerâmicos, baterias, fibras ópticas, vidros e lentes). Surgimento de novos concorrentes devido ao cenário favorável ao livre-comércio e ao maior equilíbrio de forças no mercado global de TRs. Ameaça de concorrência externa acentuada em função de uma possível superoferta de TRs. Possibilidade de novo <i>dumping</i> chinês.</p>
<p>RP – Reservas e produção de TRs no Brasil</p>	<p>Mapeamento das ocorrências de TRs no Brasil. Confirmação de novas reservas e ampliação das reservas já conhecidas. Identificação de novas reservas. PAC - CPRM 2010-2014. Projetos de exploração no país por empresas privadas com aumento da produção, porém ainda com participação reduzida do país na produção mundial de TRs.</p>	<p>Recursos minerais em TRs abundantes no país e explorados de forma sustentável. Evidências de reservas possíveis de TRs em mais de uma região do país. Mercado consumidor de produtos que utilizam TRs em tendência de crescimento. Consolidação de parcerias e <i>joint-ventures</i> para exploração sustentável de TRs no país. A indústria minero-metalúrgica de TRs e as atividades das cadeias produtivas de aplicações de TRs no país cumprem os regulamentos e requisitos legais tanto ambientais quanto de segurança e saúde ocupacional.</p>
<p>PO – Política nacional para TRs: levantamento geológico, industrial e de CT&I</p>	<p>Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal - ENCTI 2012-2015, PBM, PAC - CPRM 2010-2014 e PNM 2030. Intensificação dos programas de geologia básica e de recursos minerais voltados aos minerais estratégicos. Foco no desenvolvimento e confirmação de recursos e reservas minerais. Política de CT&I: Programa Nacional de PD&I voltado para o fortalecimento da infraestrutura laboratorial, formação e capacitação de pessoal e projetos de PD&I. Estabelecimento, à semelhança dos setores petróleo e elétrico, de mecanismos de financiamento de PD&I pelas empresas em cooperação com universidades e ICTs.</p>	<p>Continuidade das políticas públicas para a consolidação da cadeia produtiva de TRs e verticalização de cadeias produtivas consolidadas estratégicas. Foco na ampliação do conhecimento de reservas minerais. Política de fomento voltada para a intensificação da pesquisa de produção de TRs e aplicações industriais que usem ou contenham TRs (novas cadeias produtivas, como cerâmicos, baterias, e fibras ópticas). Fortalecimento das ICTs públicas e privadas.</p>
<p>PO – Política nacional para TRs: levantamento geológico, industrial e de CT&I (cont.)</p>	<p>Política industrial: definição e início da implementação da política industrial de estruturação da cadeia produtiva de TR em suas fases: processamento mineral, processamento químico e processos industriais. Estímulo à formação de parcerias publico-privadas. Incentivo à verticalização e organização industrial da cadeia produtiva de TR e atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs.</p>	
<p>MR – Marco regulatório: papel da CNEN (quanto aos minerais radioativos), SMS</p>	<p>Implementação do novo marco regulatório mineral com efetivo cumprimento das obrigações associadas aos direitos minerários. Reavaliação do papel da CNEN como parceira das empresas, ICTs e universidades no equacionamento das questões relativas a TRs associadas aos minerais radioativos. Interpretação da legislação ambiental quanto às atividades de mineração de TRs.</p>	<p>Atualização sistemática do marco legal referente às TRs. A legislação ambiental deve se manter rigorosa para os processos de produção mineral para os processos industriais que envolvem TRs, constituindo uma força para o país.</p>

<p>INV – Investimentos nas cadeias produtivas, formação de empresas, parcerias público-privadas</p>	<p>A falta de mecanismos efetivos de governança global mantém a hegemonia chinesa no mercado global de TRs com sua política de quotas de exportação. No início do período, a volatilidade dos preços em nível global traz incertezas e inibe investimentos na indústria minero-metalúrgica de TRs no Brasil. Os países detentores de reservas e com competência tecnológica, como o Brasil, passam a investir no desenvolvimento de reservas e na produção mineral, atraindo investidores de cadeias produtivas de aplicações baseadas em TRs. No entanto, devido à verticalização da cadeia de produção de TRs já em curso na China, os investimentos no Brasil deverão focalizar algumas cadeias produtivas, como ímãs permanentes e catalisadores, por exemplo.</p>	<p>A China perde sua hegemonia no mercado global de TRs devido à diversificação da produção significativa em outros países. O Brasil tem oportunidade de reforçar seu papel estratégico no fornecimento de TRs, matérias-primas e produtos finais das cadeias produtivas de ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas e polidores. Desenvolvimento de cadeias produtivas de outras aplicações industriais, como fibras ópticas, cerâmicos e baterias.</p>
<p>INF – Infraestrutura física para as cadeias produtivas de aplicações de TRs</p>	<p>O custo Brasil limita a instalação das cadeias produtivas de aplicações de TRs, situação que se reverte ainda nesse período. Rede de transportes (infraestrutura precária nas regiões de maior potencial mineral). Pressão das comunidades do entorno das atividades produtivas em busca de ganhos sociais. Formam-se parcerias público-privadas para desenvolvimento de infraestrutura física adequada para as cadeias produtivas de TRs.</p>	<p>Consolidam-se parcerias público-privadas para manutenção de infraestrutura física adequada para as cadeias produtivas de TRs.</p>
<p>RH – Recursos humanos</p>	<p>Necessidade de qualificação de pessoal nas áreas de conhecimento associadas a TRs por meio de incentivos e mecanismos para formação e capacitação de RH no Brasil e no exterior (nível médio, graduação e pós-graduação). Criação de programas de intercâmbios internacionais e atração de especialistas estrangeiros. Todavia, há disponibilidade de competência tecnológica para fazer frente aos desafios tecnológicos das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas para o país.</p>	<p>Necessidade de contínuo aperfeiçoamento de mão de obra qualificada, evitando-se o quadro desfavorável e a evasão para outros setores, como observado em décadas anteriores. Continuidade de iniciativas voltadas para o fortalecimento de competência tecnológica fazendo frente aos desafios tecnológicos das cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas para o país.</p>
<p>TE – Tecnologia de produtos finais que contém/ usam TRs; avanços tecnológicos nas etapas iniciais das cadeias produtivas de aplicações de TRs</p>	<p>Acordos internacionais favorecem o acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Início da formação de empresas <i>joint-ventures</i> resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de TRs. Baixo orçamento para o desenvolvimento de tecnologias para as cadeias produtivas de aplicações de TRs. Vencimento de patentes gera possibilidades de produção no Brasil (exemplo: patente Hitachi de magnetos bonded expira em 2014). Dificuldades no processo de propriedade intelectual. Avaliação de propostas para institucionalização da Rede Brasileira de Terras Raras.</p>	<p>Ênfase nos direitos de propriedade industrial (DPI) de tecnologias mais avançadas, por parte de outros países, pode levar à dependência tecnológica do Brasil em relação a segmentos de cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas. Ameaça de pirataria tecnológica por parte da China, porém mais branda do que no período 2012-2020. No entanto, vencimento de patentes gera novas oportunidades de produção no Brasil, como ocorrido no período 2012-2020. Atuação efetiva da Rede Brasileira de Terras Raras.</p>

Como previsto na metodologia geral do estudo *Usos e Aplicações de Terras Raras no Brasil: 2012-2030*²², os resultados apresentados nos Quadros 19 e 20 constituíram importantes insumos para uma análise SWOT mais aprofundada, tanto no nível da cadeia produtiva de TRs como um todo quanto no nível das cadeias produtivas consideradas prioritárias para serem desenvolvidas ou verticalizadas no período 2012-2020. Serviram, portanto, de suporte à construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs e dos direcionadores estratégicos para o desenvolvimento das cadeias produtivas das aplicações que são focos do presente estudo. São elas: ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais.

²² ALMEIDA, M.F.L. *Subsídios metodológicos para o estudo prospectivo “Usos e Aplicações de Terras-Raras no Brasil: 2012 - 2030”*. Brasília: CGEE. Mimeo. Abril de 2012.



5. Roadmap estratégico da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: 2012-2030²³

Considerando o cenário global de referência e a análise estratégica do posicionamento do Brasil nas próximas décadas, apresentam-se, inicialmente, os resultados da análise do nível de competência associada às etapas iniciais da cadeia produtiva de TRs no país. Esses conteúdos constituem uma parte comum a todas as cadeias de aplicações de TRs priorizadas para serem desenvolvidas durante o período 2013-2020.

Na sequência, define-se a visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil (horizonte 2030) e, em seguida, estabelecem-se os objetivos estratégicos para alcance dessa visão, expressos de acordo com as seguintes dimensões de análise:

- Mercado de aplicações de TRs;
- Reservas e produção de TRs no Brasil;
- Política nacional para TRs;
- Marco regulatório: papel da CNEN (quanto aos minerais radioativos), aspectos de SMS e controle de emissões atmosféricas;
- Investimentos nas cadeias produtivas, formação de empresas, parcerias público-privadas;
- Infraestrutura física para as cadeias produtivas de aplicações de TRs;
- Recursos humanos;
- Tecnologia de produtos finais que contêm/usam TRs; avanços tecnológicos nas etapas iniciais das cadeias produtivas de aplicações.

Finalmente, consolida-se o *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs no Brasil que reúne as ações propostas para o período de 2012-2030, incluindo prazos e atores a serem envolvidos.

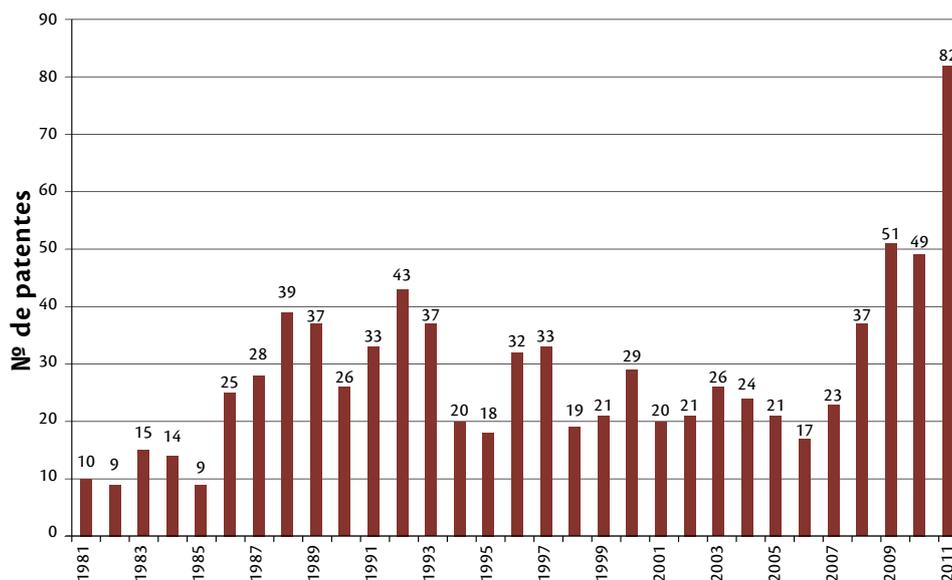
23 Este Capítulo foi elaborado por Maria Fatima Ludovico de Almeida e Carlos Augusto Caldas de Moraes e traz as contribuições dos especialistas que participaram das reuniões de construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: 2012-2030.

5.1. Etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras: processos comuns às cadeias de aplicações prioritizadas

Uma vez que os processos associados às primeiras etapas da cadeia produtiva de TRs encontram-se bem descritos em trabalhos anteriores do Cetem^{24,25}, buscou-se levantar informações estratégicas referentes à propriedade intelectual de tais processos até a separação dos óxidos, considerando-se o período de 1981 a 2011. Esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, adotando-se a seguinte estratégia de busca: IP = C22B-059.

O campo IP refere-se à subclasse da Classificação Internacional de Patentes selecionada, e a subclasse C22B-059 compreende as patentes sobre processos de obtenção de metais TRs. Identificou-se um total de 868 patentes, classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado a seguir.

A Figura 25 mostra a evolução das patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de TRs até a separação dos óxidos durante o período 1981-2011.



Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 abr. 2012.

Figura 25. Evolução das patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras

²⁴ ABRÃO, A. *Química e tecnologia das terras-raras*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994.

²⁵ VIEIRA, E.V.; LINS, F.F. *Concentração de minérios de terras-raras: uma revisão*. Séire Tecnologia Mineral, n. 73. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997.



A Tabela 10 mostra os principais depositantes de patentes (critério *top 50*) de um total de 661 depositantes indexados na referida base de dados.

Tabela 10. Depositantes de patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras: 1981-2011

Depositante	Nº de patentes
Rhone Poulenc Chim	40
Shinetsu Chem Ind Co Ltd	21
Nippon Mining Co	19
Showa Denko K	18
Sumitomo Metal Mining Co	18
Beijing Non-Ferrous Metal Inst	17
Commissariat Energie Atomique	16
Mitsubishi Materials Corp	15
Agency of Ind Sci & Technology	12
Asahi Chem Ind Co Ltd	10
Mitsui Mining & Smelting Co Ltd	10
Rosredmet Stock Co	9
Grirem Advanced Material Co Ltd	8
Rhone Poulenc Ind	8
Rhone Poulenc Specialites Chim	8
Shinetsu Chem Co Ltd	8
Taiheiyo Kinzoku KK	8
As Russia Kola Rare Elements & Minerals	7
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	7
Grirem Advanced Materials Co Ltd	7
Kobe Steel Ltd	7
Mitsubishi Chem Ind Ltd	7
Santoku Kinzoku Kogyo KK	7
Univ Inner Mongolia Sci&Technology	7
Zots N V	7
Baotou Jingrui New Material Co Ltd	6
Cas Changchun Applied Chem Inst	6
Inoue Japax Res Inc	6
Mitsubishi Chem Corp	6
Tosoh Corp	6
Akad Wissenschaften DDR	5

Depositante	Nº de patentes
CCI KK	5
Chem Techn Res Inst	5
Daido Tokushuko KK	5
General Motors Corp	5
Nippon Mining&Metals Co Ltd	5
Seitetsu Chem Ind Co Ltd	5
Shestakov S V	5
Sumitomo Light Metal Ind Co	5
Sumitomo Metal Ind Ltd	5
Sumitomo Special Metals Co Ltd	5
Univ Iowa State Res Inc	5
Univ Sichuan	5
General Electric Co	4
Guangzhou Res Inst Nonferrous Metals	4
Japan Sci&Technology Agency	4
Jiangxi Mingda Functional Materials Co	4
Jiangyin Jiahua New Material Resource Co	4
Jintan Xinan Chem Ind Inst	4
Kigam Korea Inst Geoscience&Mineral	4

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 abr. 2012.

Conforme pode ser visto na Tabela 10, identificam-se diversas empresas de origem japonesa, como Shinetsu, Sumitomo e Mitsubishi, mas também empresas de base europeia, como a francesa Rhône Poulenc, e empresas americanas, como a General Electric Co.

As empresas que lideram o *ranking* são a Rhone Poulenc Chim (40 patentes) e quatro empresas japonesas: Shinetsu Chem Ind Co Ltd (21 patentes); Nippon Mining Co (19 patentes); Showa Denko K (18 patentes) e Sumitomo Metal Mining (também com 18 patentes).

Em um segundo patamar, na faixa de 17 a 10 patentes, identificam-se duas agências governamentais e um centro de P&D chinês – Beijing Non-Ferrous Metal Institute –, com 17 patentes.

Com número inferior a dez patentes, encontram-se instituições acadêmicas chinesas, como a Univ Inner Mongolia Sci & Technology e Univ Sichuan, e a americana University of Iowa State Res Inc.



Na sequência, a Tabela 11 mostra os resultados da análise das 868 patentes, classificadas segundo as subclasses e os respectivos códigos da ICP em um total de 832 códigos da ICP.

Tabela 11. Patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981- 2011 (critério *top 10*)

Classe ICP	Nº de patentes	%
C22B-059/00	868	100
C01F-017/00	256	29,5
C22B-003/00	217	25,0
C22B-007/00	151	17,4
C22B-003/26	99	11,4
B01D-011/04	74	8,5
C22B-003/44	58	6,7
C22B-060/02	54	6,2
C22B-003/38	45	5,2
C22B-003/04	43	4,9

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 abr. 2012.

Na análise das patentes por código da ICP, constatou-se que a subclasse ICP de maior representatividade é a C22B-059/00 – Obtenção de metais de terras raras (100%), seguida das subclasses C01F-017/00 – Compostos de metais de terras raras, i.e., escândio, ítrio, lantânio, ou do grupo dos lantanídeos; C22B-003/00 – Extração de compostos metálicos de minérios ou concentrados por processos a úmido; C22B-007/00 – Processamento de matérias-primas outras que não minérios, por ex., sucata, a fim de produzir metais não ferrosos ou seus compostos; C22B-003/26 – Tratamento ou purificação de soluções, por ex., obtidas por lixiviação por extração líquido-líquido usando compostos orgânicos e B01D-011/04 – Extração com solventes de soluções líquidas.

As demais subclasses que se destacam nesse *ranking* sobre processos associados às primeiras etapas da cadeia produtiva de TRs pertencem à classe C22B – Produção ou refino de metais (produção de pó metálico ou suas suspensões) e pré-tratamento de matérias-primas. São elas: C22B-003/44 – Extração de compostos metálicos de minérios ou concentrados por processos químicos; C22B-060/02 – Obtenção do tório, do urânio ou dos outros actinídeos; C22B-003/38 – Tratamento ou purificação de soluções contendo fósforo e C22B-003/04 – Extração de compostos metálicos de minérios ou concentrados por processos a úmido por lixiviação.

A Tabela 12 apresenta o conjunto das 868 patentes classificadas por área de conhecimento, adotando-se o critério *top 10*.

Tabela 12. Patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981- 2011 (critério: top 10)

Áreas	Nº de patentes	%
Química	863	99,4
Metalurgia e Engenharia Metalúrgica	800	92,2
Engenharia	397	45,7
Instrumentação	169	19,5
Ciência dos Polímeros	68	7,8
Ciência Nuclear	43	5,0
Energia e Combustíveis	31	3,6
Recursos Hídricos	31	3,6
Segurança, Meio Ambiente e Saúde Ocupacional	20	2,3

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 abr. 2012.

Observa-se que as áreas Química e Metalurgia e Engenharia Metalúrgica se destacam com percentuais entre 99,4% e 92,0%. As outras áreas apresentam percentuais abaixo de 50% do total de patentes. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Complementando-se a análise de patentes em nível mundial, procedeu-se de forma participativa²⁶ à avaliação do nível de competência atual do Brasil em relação às etapas iniciais da cadeia produtiva de TRs, a saber: (i) lavra; (ii) beneficiamento mineral; (iii) lixiviação; e (iv) separação e purificação.

Na Figura 26, identifica-se a atual competência brasileira nos processos produtivos, associadas às etapas iniciais da cadeia produtiva de TRs.

²⁶ Reunião realizada no Cetem com a participação das equipes do CGEE e do Cetem e convidados especialistas que atuam nas diversas áreas tecnológicas das cadeias produtivas de aplicações de TRs.

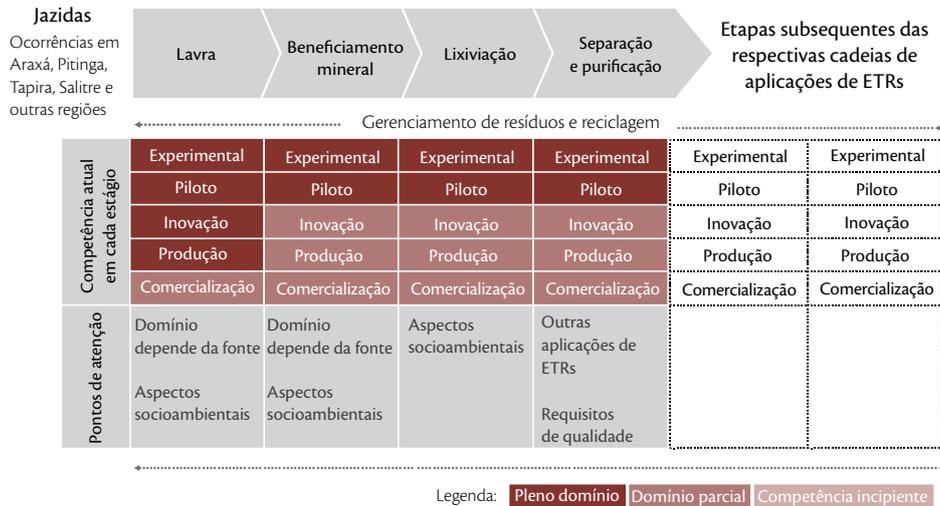


Figura 26. Competência atual nos estágios das etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras no Brasil

Destacam-se, na Figura 26, além do grau de domínio em cada uma dessas etapas, os pontos de atenção que foram considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs apresentado na Seção 5.4.

Como pode ser observado, o Brasil se encontra hoje em posição favorável nos estágios experimental e piloto em todas as quatro etapas iniciais. Nos estágios de inovação até comercialização, predomina o domínio parcial.

Para fins de construção do *roadmap* estratégico, cabe destacar a necessidade urgente de pesquisa geológica e caracterização mineral e tecnológica das jazidas de TRs no Brasil.

5.2. Cadeias de aplicações de terras raras priorizadas para o período 2012-2020

Tendo em vista o objetivo geral do estudo de fornecer as bases para a estruturação de uma agenda com diretrizes e ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento de usos e aplicações de TRs apontadas como as mais promissoras e estratégicas para o Brasil, buscou-se hierarquizar, de forma participativa, as cadeias produtivas de aplicações de TRs. Para tal, foram definidos quatro critérios, a saber:

- Critério 1 – demanda global da aplicação (tonelagem e valor);
- Critério 2 – ocorrência de recursos minerais contendo TRs no Brasil;
- Critério 3 – importância estratégica para consecução de políticas de governo;
- Critério 4 – garantia de suprimento para setores básicos e defesa.

No processo de hierarquização, os graus atribuídos às cadeias foram:

- Muito importante – grau 5;
- Média importância – graus 4 e 3;
- Pouca ou nenhuma importância – 2 ou 1.

O Quadro 22 apresenta os resultados da hierarquização das cadeias produtivas de aplicações de TRs, alinhada à visão de futuro preconizada neste estudo.

As cadeias consideradas as mais estratégicas foram as de ímãs permanentes, catalisadores e ligas metálicas portadoras de TRs, com 20 pontos, seguidas das cadeias de fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais (com 16 pontos). Em um terceiro patamar, situam-se as cadeias de fibras ópticas, cerâmicos e baterias de níquel-metal-hidreto (Ni-MH), em uma faixa de 11 a 10 pontos.

Esses resultados constituem importantes indicações para as opções estratégicas que integram o *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs, particularmente no que tange ao objetivo estratégico de viabilizar as cadeias produtivas de aplicações de TRs de forma sustentável e competitiva.

**Quadro 22.** Hierarquização das cadeias produtivas de aplicações de terras raras no Brasil

Cadeia produtiva de aplicação de TRs	Critério 1: Demanda global da aplicação (tonelagem e valor)	Critério 2: Recursos minerais de TRs no Brasil (vantagem competitiva natural)	Critério 3: Importância estratégica para consecução de políticas de governo	Critério 4: Garantia de suprimento para setores básicos e defesa	Ranking
Ímãs permanentes	5	5	5	5	20
Catalisadores	5	5	5	5	20
Ligas metálicas portadoras de TRs	5	5	5	5	20
Fósforos de TRs	3	3	5	5	16
Pós para polimento e fabricação de vidros e lentes	5	5	3	3	16
Fibras ópticas	1	4	3	3	11
Cerâmicos	3	4	1	3	11
Baterias de níquel- metal- hidreto (Ni-MH)	1	5	1	3	10

Nota: Os graus foram: 5 – muito importante; 4 e 3 – média importância; 2 e 1 – pouca ou nenhuma importância.

As cadeias com pontuação entre 20 e 16 foram priorizadas para o período 2012-2020.

5.3. Visão de futuro e objetivos estratégicos: 2030

Nos estudos prospectivos do CGEE, define-se visão de futuro como algo concreto que a organização, setor ou país deseja alcançar num determinado espaço temporal. Nesse caso, a visão é uma descrição clara de intenções estratégicas do País em um prazo determinado e é representada pela declaração sobre o futuro da cadeia produtiva de terras raras no horizonte determinado.

Com base nessa definição, os participantes das reuniões de construção de *roadmaps* estratégicos²⁷ realizaram um *brainstorming* de ideias e expressões que – no seu entender – deveriam ser consideradas na construção da visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil: horizonte 2030. Em um segundo momento, conduziu-se uma atividade para mesclar ou combinar palavras e expressões semelhantes e/ou relacionadas entre si para se chegar àqueles termos considerados os mais

²⁷ Reuniões realizadas na sede do Cetem, no Rio de Janeiro, com participação das equipes do CGEE, Cetem, MCTI, MME e consultores técnicos. A relação dos participantes dessas reuniões encontra-se no Anexo 3.

importantes, essenciais para se proceder a um último processo de redação da visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil: horizonte 2030, como apresentado a seguir.

Visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil: horizonte 2030

Autossuficiência e inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de terras raras a partir do aproveitamento racional, eficiente e integral desses recursos minerais, com domínio científico e tecnológico ao longo de toda a cadeia produtiva, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Uma vez definida a visão de futuro, buscou-se elencar um conjunto de objetivos que – na percepção dos participantes das reuniões – deverão orientar estrategicamente o gerenciamento das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças identificadas, conduzindo a cadeia produtiva de TRs no Brasil a alcançar a visão no horizonte considerado.

O Quadro 23 retrata, de forma sucinta, a situação atual e a situação em 2030 como pontos de apoio para a definição dos objetivos estratégicos por dimensão de análise.

Quadro 23. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030

Dimensão de análise	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
ME – Mercado de aplicações de TRs	<p>Mercado de aplicações suprido por importações.</p> <p>Grande potencial de desenvolvimento, em especial nos setores de energia, automotivo, iluminação, TICs, refino de petróleo e defesa.</p>	<p>Viabilizar as cadeias produtivas de aplicações de TRs de forma sustentável e competitiva.</p>	<p>Ampliação e diversificação da cadeia produtiva de TRs, que se mantém atrativa e sustentável. Foco nos setores de energia, automotivo, iluminação, TICs, refino de petróleo e defesa.</p>
RP – Reservas e produção de TRs no Brasil	<p>O conhecimento das reservas nacionais é incipiente e as informações são contraditórias. Não há produção mineral de TRs.</p> <p>Há registros de ocorrências de TRs em Araxá, Catalão e Pitinga, Tapira, Salitre e em outras regiões.</p> <p>Resíduos industriais que contêm TRs não são explorados.</p> <p>Reciclagem econômica de produtos que contêm TRs ainda não está ocorrendo.</p>	<p>Realizar mapeamento de ocorrências e identificação e dimensionamento das reservas e viabilizar a produção e o processamento mineral de TRs.</p>	<p>Reservas minerais de TRs conhecidas e bem definidas.</p> <p>A disponibilidade de TRs no país é satisfatoriamente conhecida, e a produção é realizada de maneira rentável e sustentável, atendendo às demandas da indústria nacional e propiciando a obtenção de excedentes para exportação.</p> <p>Ciclo de vida de produtos da cadeia produtiva de TRs inclui reciclagem e gerenciamento de resíduos.</p>
PO – Política nacional para TRs	<p>Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal: ENCTI 2012-2015, PBM-2012 2014, PAC CPRM 2010-2014 e PNM-2030.</p>	<p>Promover políticas públicas de cunho mineral, industrial e de CT&I voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p>	<p>Continuidade das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs revisadas em função das prioridades estratégicas do país e dos avanços tecnológicos alcançados.</p> <p>Verticalização de cadeias produtivas de aplicações de TRs, consideradas estratégicas.</p>



Dimensão de análise	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
MR – Marco regulatório	Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor. Restrições na produção de TRs decorrentes da sua associação a radionuclídeos.	Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs. Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.	Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável. Equacionadas as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.
INV – Investimentos	Iniciativas governamentais no sentido de estudar a viabilidade da cadeia no Brasil. Iniciam-se cooperações internacionais entre empresas e governos para enfrentar o monopólio chinês. Iniciativas de investimentos de empresas na produção de TRs no Brasil. Não há foco específico em aplicações.	Criar mecanismos de financiamento em condições compatíveis com os concorrentes internacionais e incentivos para atração de empresas de toda a cadeia produtiva.	Consolidação das cadeias estratégicas como ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais. Investimentos em cadeias produtivas de outras aplicações como cerâmicos, fibras ópticas e baterias. Há garantia de fornecimento dos insumos demandados pela indústria, incentivando a instalação no Brasil de empresas que atuam em vários segmentos da cadeia produtiva.
INF – Infraestrutura	Lei nº 10.197, regulamentada pelo Decreto nº 3.807, dispõe sobre o financiamento a projetos de implantação e recuperação de infraestrutura de pesquisa nas instituições públicas de ensino superior e de pesquisa e dá outras providências – legislação relacionada ao CT-Infra. Infraestrutura para atividades industriais e de comercialização a ser desenvolvida em função de anúncios de empreendimentos metalúrgicos e de aplicações industriais.	Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.	Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICTs e empresas. Infraestrutura consolidada para a produção de TRs e de aplicações industriais. Gargalos de logística de produção e distribuição equacionados.
RH – Recursos humanos	Existência de ICTs, grupos de pesquisa e instituições acadêmicas com competência em temas de TRs. O número de grupos de pesquisa e especialistas dedicados a PD&I em TRs é relativamente pequeno em relação à China e aos EUA. Parte da competência tecnológica em TRs, existente no passado, migrou para outros campos.	Capacitar recursos humanos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.	Contínuo aperfeiçoamento de mão de obra qualificada, evitando-se o quadro desfavorável e a evasão para outros setores, como observado em décadas anteriores. Competência tecnológica faz frente aos desafios tecnológicos das cadeias produtivas de aplicações de TR consideradas estratégicas para o país.
TE – Tecnologia	Baixo orçamento para o desenvolvimento de tecnologias para as cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas para o país (ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais). Vencimento de patentes gera possibilidades de produção no Brasil e exportação de aplicações baseadas em TRs, bem como produtos finais que contêm ou usam TR. Concepção inicial da Rede Brasileira de Terras Raras.	Promover o desenvolvimento tecnológico e a inovação voltados para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.	Domínio tecnológico completo das cadeias produtivas prioritárias, ou seja, da mina ao produto final que contém ou usa TRs. Rede Brasileira de Terras Raras com efetiva atuação das ICTs públicas e privadas, empresas e instituições acadêmicas nas atividades de PD&I voltadas para a cadeia produtiva de TRs. Acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio via acordos internacionais de cooperação internacional. Empresas <i>joint-ventures</i> resultantes de parcerias entre países detentores de reservas e países detentores de tecnologias limpas para produção e processamento de TRs.

5.4. Roadmap estratégico da cadeia produtiva de terras raras: 2012–2030

O Quadro 24 apresenta o *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs, contemplando as ações necessárias para a consecução dos objetivos estratégicos definidos no Quadro 23.

Quadro 24. Roadmap estratégico da cadeia produtiva de terras raras no Brasil

Variável e objetivos estratégicos	Ações estratégicas: ação, prazos e atores
	2012-2030
ME – Viabilizar as cadeias produtivas de aplicações de TRs de forma sustentável e competitiva	<p>Ação: Identificar e avaliar características e tendências de mercado, vantagens comparativas e demandas específicas das cadeias produtivas de aplicações de TRs. Prazo: Dezembro de 2012 (1ª fase) e junho de 2013 (2ª etapa). Atores: CGEE + consultorias especializadas a serem contratadas, MME/SGM, MCTI/SETEC, MDIC/SDP, MMA/lbama, DNPM, CPRM, CNEN, INB, ICTs e setor empresarial.</p>
	<p>Ação: Incentivar o estabelecimento de associações colaborativas, acordos de cooperação tecnológica e formação de <i>joint-ventures</i> com empresas nacionais ou estrangeiras, que permitam às empresas participantes se defenderem contra a volatilidade e aproveitarem a oportunidade de lucratividade resultante da participação na agregação de valor ao longo da cadeia produtiva de TRs. Prazo: 2012- 2020 (implantação). Atores: Como designado a seguir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acordos de cooperação tecnológica visando à transferência de tecnologia e ao desenvolvimento conjunto entre empresas nacionais, ICTs e empresas e ICTs internacionais: governo brasileiro (+ secretarias relacionadas MME/MCTI/MDIC+ABDI/MRE/CGEE / CPRM, CNEN, INB, ICTs/Finep e setor empresarial). • Estabelecimento de associações colaborativas: MME, MCTI, MDIC em articulação com ABDI, CGEE, ICTs e setor empresarial • Formação de joint-ventures: setor empresarial, BNDES, MDIC em articulação com ABDI, MCTI, MME, associações de classe e organizações tecnológicas setoriais.
	<p>Ação: Promover a ampliação das cadeias produtivas por meio da <i>implantação progressiva</i> de etapas a jusante. A ênfase desta ação será na efetiva implantação das etapas a jusante possibilitada pela existência de acordos [da mina a aplicações, definidas tão cedo quanto possível, ou seja, logo após a identificação de reservas e de suas potencialidades]. Prazo: 2012-2020 (apoio à implantação a partir de jazidas (reservas) já identificadas e/ou dimensionadas) e 2021-2030 (continuidade dos esforços nesse sentido para novas jazidas/reservas identificadas). Atores: MME, MCTI, MDIC, MRE, CGEE, CPRM, CNEN, INB, BNDES, Finep, ICTs e setor empresarial.</p>
	<p>Ação: Promover o aumento dos índices de nacionalização (significando produção no Brasil e não apenas participação de empresas brasileiras) na cadeia produtiva (ações diferenciadas por cadeia produtiva considerada – ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, fósforos de TRs e pós para polimento/fabricação de vidros especiais). Prazo: 2013-2020 e 2021-2030. Atores: Setor empresarial, MME, MCTI, MDIC, MRE, CGEE, CPRM, CNEN, INB, ICTs e Finep.</p>
	<p>Ação: Fomentar o uso de aplicações de TRs que viabilizem o aumento da eficiência energética. Prazo: 2013-2020 (implantação e consolidação em aplicações prioritárias em superímãs – eólica/compressores e outros – e fósforos [LEDs e outros] e 2021-2030 (aplicações nas cadeias produtivas restantes). Atores: MME-Aneel, MCTI, MDIC em articulação com ABDI, CGEE, ICTs e setor empresarial.</p>



Variável e objetivos estratégicos	Ações estratégicas: ação, prazos e atores
	2012-2030
<p>RP – Realizar mapeamento de ocorrências, identificar e dimensionar reservas nacionais e viabilizar a produção e o processamento mineral de TRs.</p>	<p>Ação: Acelerar os trabalhos de mapeamento de ocorrências e a identificação e o dimensionamento das reservas de TRs no Brasil, operacionalizados por um programa de prospecção e exploração de TRs, com prioridade para áreas com maior potencial em jazidas parcialmente conhecidas.</p> <p>Prazo: 2013-2017 (ação fundamental para a confirmação do potencial brasileiro em TRs e da possibilidade de garantir fornecimento de TRs leves e pesados às empresas nacionais e internacionais que se estabelecerem no Brasil).</p> <p>Atores: CPRM (programa atual, complementado pela participação de empresas especializadas subcontratadas, visando acelerar mapeamento de ocorrências e identificação e dimensionamento de reservas de TRs); empresas detentoras de direitos minerários que serão incentivadas a acelerar seus trabalhos nessas atividades [com ou sem alteração no marco regulatório]; MME/DNPM.</p> <p>Ação: Ampliar o programa de prospecção e exploração de TRs, estendendo as áreas de cobertura, redefinindo objetivos e prioridades e reorientando iniciativas nessas etapas da cadeia produtiva de TRs.</p> <p>Prazo: 2021-2030.</p> <p>Atores: CPRM/DNPM, CNEN, INB, empresas detentoras de direitos minerários, MMA/Ibama, MCTI e MDIC.</p>
<p>PO – Promover políticas públicas de cunho mineral, industrial e de CT&I voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p>	<p>Ação: Instituir instância de governança das ações para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs, incluindo o equacionamento de questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.</p> <p>Prazo: Final de 2012.</p> <p>Atores: MME/SGM, MCTI/Setec, MDIC/SDP, MMA/Ibama, DNPM, CPRM, CNEN, INB, ICTs e setor empresarial.</p> <p>Ação: Desonerar os investimentos em plantas industriais nos elos a jusante da cadeia mineral.</p> <p>Prazo: Final de 2014.</p> <p>Atores: MME, MCTI, MPOG, ABDI, BNDES.</p> <p>Ação: Apoiar PD&I para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil desde a produção de óxidos até a sua aplicação em produtos de alta tecnologia.</p> <p>Prazo: Final de 2015.</p> <p>Atores: MCTI/ Finep.</p> <p>Ação: Revisão contínua das políticas públicas de cunho mineral, industrial e de CT&I voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p> <p>Prazo: Final de 2030.</p> <p>Atores: MME/SGM, MCTI/Setec, MDIC/SDP, DNPM, CPRM, CNEN, INB, ICTs e setor empresarial.</p> <p>Ação: Promover a atração de indústria de produtos de alta tecnologia que contenham ou usem TRs e seus centros de PD&I.</p> <p>Prazo: Final de 2020.</p> <p>Atores: MME/SGM, MCTI/Setec, MDIC/SDP, ICTs e setor empresarial.</p>
<p>MR – Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório da mineração, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p>	<p>Ação: Instituir direito minerário como garantia de financiamento de implantação, ampliação e verticalização.</p> <p>Prazo: Final de 2012.</p> <p>Atores: MME/SGM, MCTI/Setec, MDIC/SDP, DNPM, CPRM, CNEN, INB, ICTs e setor empresarial.</p> <p>Ação: Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório da mineração, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p> <p>Prazo: Final de 2014.</p> <p>Atores: Poder Executivo Federal e Congresso Nacional</p>

Variável e objetivos estratégicos	Ações estratégicas: ação, prazos e atores
	2012-2030
<p>INV – Criar mecanismos de financiamento em condições compatíveis com os concorrentes internacionais e incentivos para atração de empresas de toda a cadeia produtiva.</p>	<p>Ação: Desburocratizar, simplificar, criar ou aperfeiçoar mecanismos de financiamento público-privado e incentivos para atração de empresas de cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas: imãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento/fabricação de vidros especiais. Prazo: 2012-2014. Atores: CGEE (coordenação do estudo), setor empresarial, Finep, Febraban, BNDES, MCTI, MME, MDIC, organizações tecnológicas setoriais e ICTs.</p> <p>Ação: Ampliar disponibilidade de mecanismos de financiamento público-privado para atração de empresas das demais cadeias produtivas de aplicações de TRs: cerâmicos, baterias e fibras ópticas. Prazo: 2014-2020. Atores: CGEE (coordenação do estudo), setor empresarial, Finep, Febraban, BNDES, MCTI, MME, MDIC, organizações tecnológicas setoriais e ICTs.</p> <p>Ação: Divulgar no exterior as vantagens competitivas do país em TRs (recursos naturais, infraestrutura tecnológica e recursos humanos) para o desenvolvimento de projetos industriais, parcerias, joint-ventures referentes às cadeias produtivas de TRs no Brasil. Prazo: 2013/14-2020. Atores: MME, setor empresarial, MDIC/Apex, MRE, Finep, BNDES, MCTI, associações de classe, organizações tecnológicas setoriais, MD, MS, CGEE, Rede Brasileira de TRs (a partir de sua institucionalização e operação).</p>
<p>INF – Promover a implantação e recuperação da infraestrutura para PD&I em TRs, bem com a modernização da infraestrutura logística e de serviços tecnológicos (tecnologia industrial básica) para a cadeia produtiva de TRs.</p>	<p>Ação: Mapear as principais infraestruturas de pesquisa científica e tecnológica existentes no país, nas universidades, ICTs públicas e privadas e empresas, bem como o nível de utilização dessas infraestruturas e o perfil da demanda na área de TRs. Prazo: 2013. Atores: MCTI, CNPq, MEC, Capes, MME, MDIC+ABDI, MD, Finep, CGEE, BNDES, institutos de CT&I, universidades, setor empresarial.</p> <p>Ação: Fornecer à comunidade científica e tecnológica o acesso, pela internet, a informações sobre as infraestruturas de pesquisa existentes, sua localização, possibilidades e condições de uso na área de TRs. Prazo: 2013. Atores: MCTI, CNPq, MEC, Capes, CGEE, MS, MD, MDIC+ABDI, institutos de CT&I, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operacionalização), setor empresarial.</p> <p>Ação: Apoiar investimentos em infraestrutura para PD&I para uso comum de instituições nacionais e empresas na área de TRs, aprovados por mecanismos concorrenciais. Prazo: 2012-2020 (implantação), 2021-2030 (ampliação). Atores: Setor empresarial, MCTI, MCTI, CNPq, MEC, Capes, MME, MS, MD, MDIC+ABDI, Finep, CGEE, BNDES, institutos de CT&I, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operacionalização).</p>
<p>INF – Promover a implantação e recuperação da infraestrutura para PD&I em TRs, bem com a modernização da infraestrutura logística e de serviços tecnológicos (tecnologia industrial básica) para a cadeia produtiva de TRs. (cont.)</p>	<p>Ação: Apoiar projetos de infraestrutura associados à constituição da Rede Brasileira de Terras Raras. Prazo: 2012-2014. Atores: Setor empresarial, MCTI, MCTI, CNPq, MEC, Capes, MME, MDIC+ABDI, MS, MD, Finep, CGEE, BNDES, institutos de CT&I, universidades, governos e instituições estaduais e municipais, Sebrae/Sistema S.</p> <p>Ação: Implantar parcerias público-privadas para ampliação e modernização da infraestrutura de serviços tecnológicos e de logística para as diversas etapas da cadeia produtiva de TRs. Prazo: 2012-2015 (implantação), 2016-2030 (ampliação e consolidação). Atores: Setor empresarial, MCTI, CNPq, MEC, Capes, CGEE, MS, MD, MDIC+ABDI, institutos de CT&I públicos e privados, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operacionalização), governos e instituições estaduais e municipais, Sebrae/Sistema S, FAPs.</p> <p>Ação: Promover a formação de arranjos produtivos locais (APLs) e a criação das respectivas infraestruturas referentes às cadeias produtivas de aplicações de TRs consideradas estratégicas. Prazo: 2012-2030. Atores: Setor empresarial, MCTI, CNPq, MEC, Capes, CGEE, MS, MD, MDIC em articulação com ABDI, institutos de CT&I públicos e privados, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operacionalização), governos e instituições estaduais e municipais, Sebrae/Sistema S, FAPs.</p>



Variável e objetivos estratégicos	Ações estratégicas: ação, prazos e atores
	2012-2030
RH – Capacitar recursos humanos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.	<p>Ação: Implantar programa de bolsas de mestrado e doutorado para desenvolvimento de dissertações, teses, trabalhos científicos e patentes na área de TRs. Prazo: A partir de 2013. Atores: CNPq, Capes e FAPs, Finep.</p> <p>Ação: Criar grades curriculares nos cursos de graduação e nível médio que cubram as áreas de conhecimento fundamentais para a formação de recursos humanos capacitados para atuarem nas diversas etapas da cadeia produtiva de TRs. Prazo: A partir de 2013. Atores: MEC, instituições de ensino públicas e privadas de ensino superior e médio.</p> <p>Ação: Implantar cursos lato sensu de curta e média duração sobre a importância estratégica de TRs e a problemática do desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no país. Prazo: A partir de 2013. Atores: CNPq, Capes e FAPs, Finep.</p> <p>Ação: Criar programas de intercâmbios internacionais e de atração de especialistas estrangeiros nos diversos campos de conhecimento da cadeia produtiva de TRs. Prazo: A partir de 2013. Atores: MCTI/CNPq, ICTs, universidades, MRE, MEC/Capes, FAPs, MME, MDIC, MS, MD, Finep.</p>
	<p>Ação: Estruturar e implementar a Rede Brasileira de Terras Raras, mobilizando empresas, ICTs, instituições acadêmicas, associações de classe e governo. Prazo: A partir de 2012. Atores: Instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor industrial ou de serviços, órgãos públicos ou privados.</p> <p>Ação: Implantar linhas de financiamento preferenciais para PD&I em prospecção, produção, separação e aplicação de TRs. Prazo: A partir de 2013 (considerar mudança sobre garantias para financiamentos (ver INF Ação: Instituir direito minerário como garantia de financiamento de implantação, ampliação e verticalização). Atores: CNPq, Finep e BNDES, Febraban, instituições financeiras internacionais (ex.: Banco Mundial).</p> <p>Ação: Estabelecer acordos internacionais, visando ao acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Prazo: A partir de 2012. Atores: Setor empresarial, MRE, MCTI, CNPq, MEC, CGEE, MS, MD, MDIC+ABDI, institutos de CT&I públicos e privados, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operação).</p> <p>Ação: Realizar atividades de prospecção tecnológica para as cadeias produtivas de aplicações de TRs, visando ao estabelecimento de prioridades, à atualização e à revisão da política de CT&I. Prazo: A definir. Atores: CGEE, MCT/Cetem, outros a definir.</p>
	<p>Ação: Estruturar e implementar a Rede Brasileira de Terras Raras, mobilizando empresas, ICTs, instituições acadêmicas, associações de classe e governo. Prazo: A partir de 2012. Atores: Instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor industrial ou de serviços, órgãos públicos ou privados.</p> <p>Ação: Implantar linhas de financiamento preferenciais para PD&I em prospecção, produção, separação e aplicação de TRs. Prazo: A partir de 2013 (considerar mudança sobre garantias para financiamentos (ver INF Ação: Instituir direito minerário como garantia de financiamento de implantação, ampliação e verticalização). Atores: CNPq, Finep e BNDES, Febraban, instituições financeiras internacionais (ex.: Banco Mundial).</p> <p>Ação: Estabelecer acordos internacionais, visando ao acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Prazo: A partir de 2012. Atores: Setor empresarial, MRE, MCTI, CNPq, MEC, CGEE, MS, MD, MDIC+ABDI, institutos de CT&I públicos e privados, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operação).</p> <p>Ação: Realizar atividades de prospecção tecnológica para as cadeias produtivas de aplicações de TRs, visando ao estabelecimento de prioridades, à atualização e à revisão da política de CT&I. Prazo: A definir. Atores: CGEE, MCT/Cetem, outros a definir.</p>
	<p>Ação: Estruturar e implementar a Rede Brasileira de Terras Raras, mobilizando empresas, ICTs, instituições acadêmicas, associações de classe e governo. Prazo: A partir de 2012. Atores: Instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor industrial ou de serviços, órgãos públicos ou privados.</p> <p>Ação: Implantar linhas de financiamento preferenciais para PD&I em prospecção, produção, separação e aplicação de TRs. Prazo: A partir de 2013 (considerar mudança sobre garantias para financiamentos (ver INF Ação: Instituir direito minerário como garantia de financiamento de implantação, ampliação e verticalização). Atores: CNPq, Finep e BNDES, Febraban, instituições financeiras internacionais (ex.: Banco Mundial).</p> <p>Ação: Estabelecer acordos internacionais, visando ao acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Prazo: A partir de 2012. Atores: Setor empresarial, MRE, MCTI, CNPq, MEC, CGEE, MS, MD, MDIC+ABDI, institutos de CT&I públicos e privados, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operação).</p> <p>Ação: Realizar atividades de prospecção tecnológica para as cadeias produtivas de aplicações de TRs, visando ao estabelecimento de prioridades, à atualização e à revisão da política de CT&I. Prazo: A definir. Atores: CGEE, MCT/Cetem, outros a definir.</p>
TE – Promover o desenvolvimento tecnológico e inovação voltados para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.	<p>Ação: Estruturar e implementar a Rede Brasileira de Terras Raras, mobilizando empresas, ICTs, instituições acadêmicas, associações de classe e governo. Prazo: A partir de 2012. Atores: Instituições de ensino e pesquisa, empresas do setor industrial ou de serviços, órgãos públicos ou privados.</p> <p>Ação: Implantar linhas de financiamento preferenciais para PD&I em prospecção, produção, separação e aplicação de TRs. Prazo: A partir de 2013 (considerar mudança sobre garantias para financiamentos (ver INF Ação: Instituir direito minerário como garantia de financiamento de implantação, ampliação e verticalização). Atores: CNPq, Finep e BNDES, Febraban, instituições financeiras internacionais (ex.: Banco Mundial).</p> <p>Ação: Estabelecer acordos internacionais, visando ao acesso a tecnologias que estabeleçam condições para o livre-comércio. Prazo: A partir de 2012. Atores: Setor empresarial, MRE, MCTI, CNPq, MEC, CGEE, MS, MD, MDIC+ABDI, institutos de CT&I públicos e privados, universidades, Rede Brasileira de TRs (após institucionalização e operação).</p> <p>Ação: Realizar atividades de prospecção tecnológica para as cadeias produtivas de aplicações de TRs, visando ao estabelecimento de prioridades, à atualização e à revisão da política de CT&I. Prazo: A definir. Atores: CGEE, MCT/Cetem, outros a definir.</p>

6. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs de terras raras no Brasil: 2012-2030²⁸

Este Capítulo tem por objetivo caracterizar a cadeia produtiva de ímãs de TRs, indicar o estágio atual de competência nos seus diversos estágios e definir os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento dessa cadeia no Brasil, considerando-se o horizonte 2030.

6.1. Importância estratégica da aplicação para o país

O crescimento da utilização de ímãs de TRs em diversos setores e o aumento de consumo decorrente de aplicações para redução de impactos ambientais, tais como geração de energia eólica e veículos elétricos e híbridos, vêm gerando grande interesse nessa aplicação de TRs por parte de empresas e instituições de diversos países.

Associado a esse aumento de demanda, cresceu também a preocupação da indústria mundial com a segurança no fornecimento de matéria-prima para a fabricação dos ímãs de TRs, a acessibilidade a esses materiais e consequente aumento de seus preços. Esse fato é acentuado pela atual posição hegemônica da China, que produz cerca de 97% dos metais TRs do mundo e vem dificultando as exportações por meio de quotas e impostos, como abordado no Capítulo 2.

Atualmente, empresas brasileiras fabricantes de compressores, motores e geradores vêm aumentando a demanda por projetos de P&D com objetivo de lançar novas gerações de produtos de alto desempenho que, nesse momento, só podem ser viabilizados com o uso de ímãs de TRs. Assim como no mundo, as empresas brasileiras também estão preocupadas com a segurança no fornecimento de ímãs e a estabilidade dos preços.

Nessa perspectiva, um estudo sobre a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de TRs no Brasil foi contratado pela ABDI junto à Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras (Certi), tendo sido iniciado em agosto de 2010 e concluído em maio de 2011. A coordenação executiva alemã ficou a cargo do Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte

²⁸ Este Capítulo foi elaborado por Paulo Antonio Pereira Wendhausen.



Materialforschung (FhG-IFAM) e a coordenação brasileira foi da Certi. Esse estudo mostrou que é factível implementar no Brasil uma cadeia produtiva de ímãs de TRs e produtos correlatos competitiva (preço, qualidade e inovação) e sustentável (econômica, social e ambiental). Para alcance dessa visão, propôs um conjunto de 15 proposições de ações estruturantes, apontando, no entanto, a necessidade de uma gestão estratégica, suportada por políticas públicas, em função da multiplicidade de esforços necessários, concessões, autorizações e atores a serem engajados.

O conjunto de direcionadores estratégicos apresentados neste Capítulo vem complementar os resultados reportados naquele estudo, consubstanciando as 15 proposições em um arcabouço de análise mais amplo e alinhando-as à visão de futuro preconizada para a cadeia produtiva de TRs no Brasil como um todo. A Seção 6.5 apresenta a visão de futuro para a cadeia de ímãs de TRs no horizonte 2030 e os objetivos estratégicos para alcançá-la.

6.2. Principais usos industriais: ciclo de vida de produtos com ímãs de terras raras

Os ímãs de TRs têm inúmeras aplicações tecnológicas e vêm sendo cada vez mais utilizados por serem os mais poderosos ímãs já criados. Seus usos industriais são bastante variados, podendo ser empregados em bens de consumo de baixo valor agregado, como roupas e brinquedos, e em bens de alto valor agregado, como máquinas elétricas de alto rendimento.

Atualmente, devido a características físicas e tendências de mercados consumidores de materiais magnéticos, a utilização de ímãs permanentes de TRs em produtos inovadores de alto valor agregado tem contribuído para o desempenho superior desses produtos, quando se comparam ímãs de TRs com as demais soluções magnéticas.

Segundo o conceito de ciclo de vida do produto, os usos industriais de ímãs de TRs podem ser classificados em:

- Introdução: novos usos que rapidamente vêm sendo introduzidos no mercado;
- Crescimento: usos que já se encontram no mercado, mas estão em fase de crescimento e aperfeiçoamento;
- Maturidade: usos que se situam na fase de maturidade no ciclo de vida;
- Declínio: usos que já estão em declínio pela entrada no mercado de produtos substitutos ou inovações incrementais mais competitivas.

A seguir, no Quadro 25, destacam-se os principais usos de ímãs de TRs segundo as etapas do ciclo de vida dos produtos.

Quadro 25. Principais usos industriais de ímãs de terras raras, segundo as etapas do ciclo de vida dos produtos

Usos industriais de ímãs de TRs	Fase do ciclo de vida dos produtos [nível mundial]			
	Introdução	Crescimento	Maturidade	Declínio
Indústria aeroespacial		x		
Geração de energia nuclear			x	
Geração de energia eólica	x			
Linhas de transmissão de energia			x	
Aplicações em defesa				
Usos na indústria automotiva			x	
Fabricação e operação de satélites		x		
Sistemas de refrigeração magnética	x			
Equipamentos eletrônicos de uso cotidiano			x	

Abordam-se, a seguir, os principais produtos fabricados com ímãs de TRs, como *drives* de disco rígido, amplificadores de áudio, motores industriais, ressonância magnética por imagem, produtos de uso cotidiano, geradores eólicos e motores elétricos automotivos.

Drives de Disco Rígido (HDD)

É a maior indústria consumidora de ímãs de neodímio, absorvendo quase 30% da produção total, e sua demanda deve se manter estável nos próximos anos. Os ímãs são utilizados no acionamento do dispositivo de leitura do disco, eliminando o desgaste mecânico no equipamento. Uma unidade comum de 2,5 polegadas tem cerca de 6,5 gramas de ímãs (Figura 27).



Figura 27. Localização dos ímãs de neodímio em discos rígidos²⁹

²⁹ ZHANG, F. Hard Drives Have a Happy Holiday. Disponível em: <http://www.isuppli.com/Memory-and-Storage/News/Pages/Hard-Drives-Have-a-Happy-Holiday.aspx>.Dezembro, 2010. Acesso em: 23 mar. 2012.



As empresas Western Digital e Seagate são líderes do mercado, mas existem cinco principais desenvolvedores de HDD. Suas unidades fabris estão localizadas nos EUA, algumas na Europa e a maioria deles na Ásia, enquanto WD e Samsung também têm unidades no Brasil.

O faturamento do mercado de HDD ficou em torno de 35,3 bilhões de dólares em 2010.³⁰ Em relação à aplicação de ímãs em HDD, é importante destacar que se trata de um mercado em declínio, tendo em vista a substituição de HDD por memórias estáticas de estado sólido (a exemplo das memórias *flash*).

Outros produtos do setor de tecnologias de informação e comunicação (TIC)

Por outro lado, considerando o mercado no qual os HDD se inserem, tanto os ímãs quanto outros elementos de TRs têm importantes aplicações, conforme ilustrado na Figura 28.

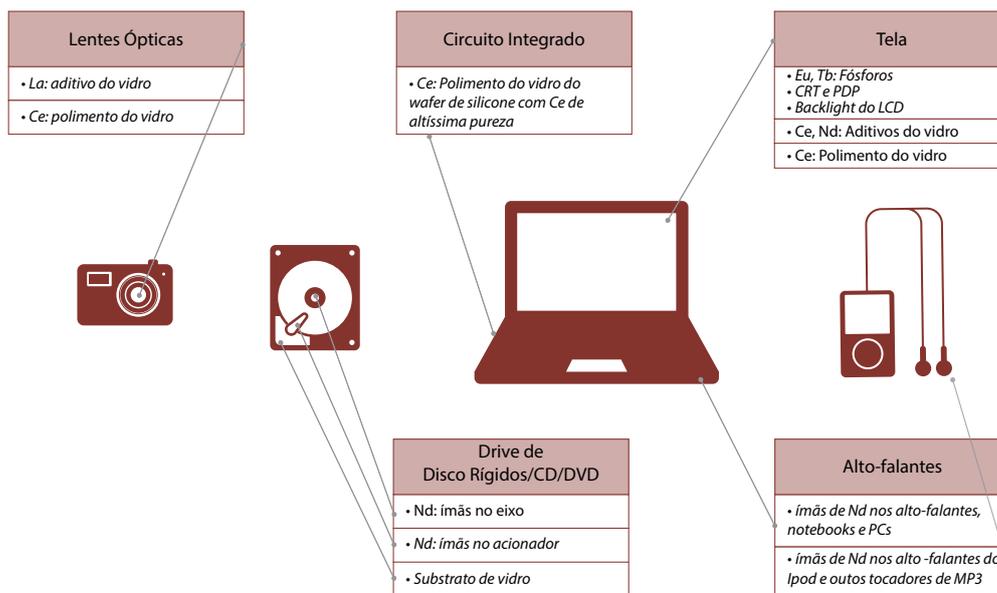


Figura 28. Aplicações de ímãs e outros elementos de terras raras em produtos do setor de tecnologias de informação e comunicação (TIC). Adaptada de Hocquard³¹

³⁰ ZHANG, F. Hard Drives Have a Happy Holiday. Disponível em: <http://www.isuppli.com/Memory-and-storage/News/Pages/Hard-Drives-Have-a-Happy-Holiday.aspx>. Dezembro, 2010. Acesso em: 23 de amr. 2012.

³¹ HOCQUARD, C. IFRI Energy Breakfast Roundtable. Brussels. Belgium, 2010.

Motores industriais

Ainda é uma aplicação focada em nichos de mercado, utilizados em indústrias com restrições de espaço e flexibilidade em que é requerida velocidade variável a torque constante, como na indústria de papel e têxteis. Uma vantagem adicional é a redução dos custos de operação e manutenção.

O setor industrial, porém, é dominado por máquinas de indução, e uma possível substituição aconteceria por máquinas síncronas. Os principais fabricantes de máquinas industriais com ímãs permanentes são a ABB e a DRS. No Brasil, destacam-se as soluções da WEG em ímãs. Os ímãs são aplicados em várias configurações, dependendo do projeto da máquina.

Ressonância magnética por imagem

São equipamentos biomédicos bastante avançados, com alto valor agregado. Sua demanda por ímãs de TRs permaneceu estável nos últimos anos, uma vez que substituiu os sistemas anteriores, permitindo altas resoluções de imagem em um espaço menos claustrofóbico.

A demanda pelos ímãs tende a diminuir devido à maior dominação do mercado pelas tecnologias com supercondutores. De qualquer forma, é um produto de baixa demanda no Brasil, e o país não domina essas tecnologias.

Produtos de uso cotidiano

Diversos produtos utilizados no dia a dia, como eletroeletrônicos, aparelhos da linha branca, ferramentas, entre outros, são projetados com ímãs e constituem uma importante demanda, mesmo pulverizados para esse material (Figura 29). Uma vez que os ímãs de TRs são capazes de “miniaturizar” a maioria das aplicações feitas anteriormente com ferrite, eles têm sido bastante adotados em projetos mais recentes de produtos, especialmente eletrônicos portáteis e domésticos. Aplicações usando motores, como máquinas de lavar e elevadores, têm alguns modelos com máquinas de ímãs permanentes com transmissão direta, reduzindo o espaço e o peso do produto final. Elevadores usando ímãs descartam, inclusive, a necessidade de uma grande sala de máquinas. Ímãs de TRs,



aliados com a melhora da tecnologia de bateria, também estão permitindo o desenvolvimento de ferramentas sem cabo elétrico de alta eficiência, mesmo os utilizados em tarefas prolongadas, como cortadores de grama.

Geradores eólicos

Uma das aplicações mais proeminentes de ímãs, os geradores de energia eólica, deve vir a ser uma das maiores consumidoras do material no médio prazo, com uma demanda que aproximadamente varia entre 400 kg e 1.000 kg de NdFeB por MW, incorporado em suas máquinas de alta eficiência e densidade de potência³².

Geradores de ímãs permanentes são especialmente atrativos para aplicações *offshore* junto ao aumento da potência de saída por torre, devido às reduções dos custos de operação e manutenção e diminuição do peso no topo. A fatia de mercado dos geradores eólicos de ímãs permanentes alcançou, no final de 2010, cerca de 4% a 5% do total de geradores produzidos.

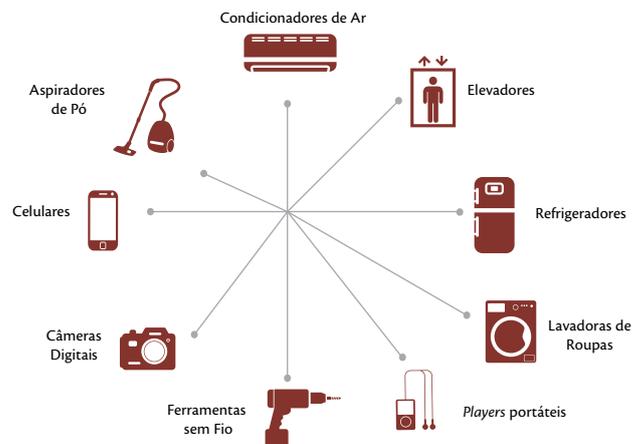


Figura 29. Ímãs de terras raras como componente inovador em produtos de consumo

³² POLINDER, H. *et al.* Comparison of direct-driver and geared generator concepts for wind turbines. 2005 IEEE International Conference on Electric Machines and Drives. 2005.

As principais vantagens do uso de ímãs de TRs em geradores eólicos são: (i) eliminação da necessidade da caixa de engrenagens; (ii) maior eficiência energética e razão potência/peso; (iii) eliminação da necessidade de suprir energia para o campo de excitação; (iv) maior confiabilidade devido à redução das partes mecânicas; e (v) maior relação custo-benefício em máquinas com potência superior a 3,6 MW.

Motores elétricos automotivos

Outro crescente mercado consumidor de ímãs de TRs refere-se às aplicações em veículos elétricos. Nesse contexto, os ímãs são utilizados tanto no trem de transmissão (cerca de 0,5 kg a 1 kg/veículo) quanto em muitos motores menores para funções auxiliares em um veículo automotor. Motor com ímãs de TRs tem sido a principal solução adotada para projetos de híbridos, *plug-in* híbridos e veículos puramente elétricos e não há substituto com desempenho semelhante. O mercado é promissor também para outras aplicações de mobilidade: bicicletas elétricas, *scooters*, transporte público coletivo, etc. Especificamente no caso das bicicletas elétricas, cabe ressaltar que essa aplicação representa para o mercado de ímãs uma perspectiva muito interessante, uma vez que não há realmente nenhuma alternativa viável para o motor.

As Figuras 30 e 31 ilustram, respectivamente, uma indicação de utilização de ímãs em motores elétricos para aplicações automotivas e exemplos de uso de ímãs e elementos de TRs em diversas partes de um veículo.

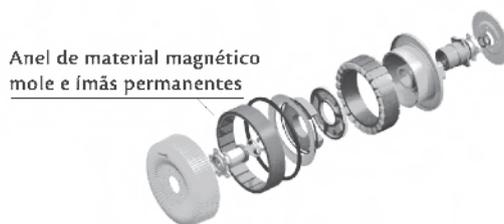


Figura 30. Vista explodida de motor elétrico com uso de ímãs de terras raras³³

³³ HARTWIG, T. *Rare Earth Magnets Supply Chain in Germany*. Workshop CERTI-IFAM, 2010.

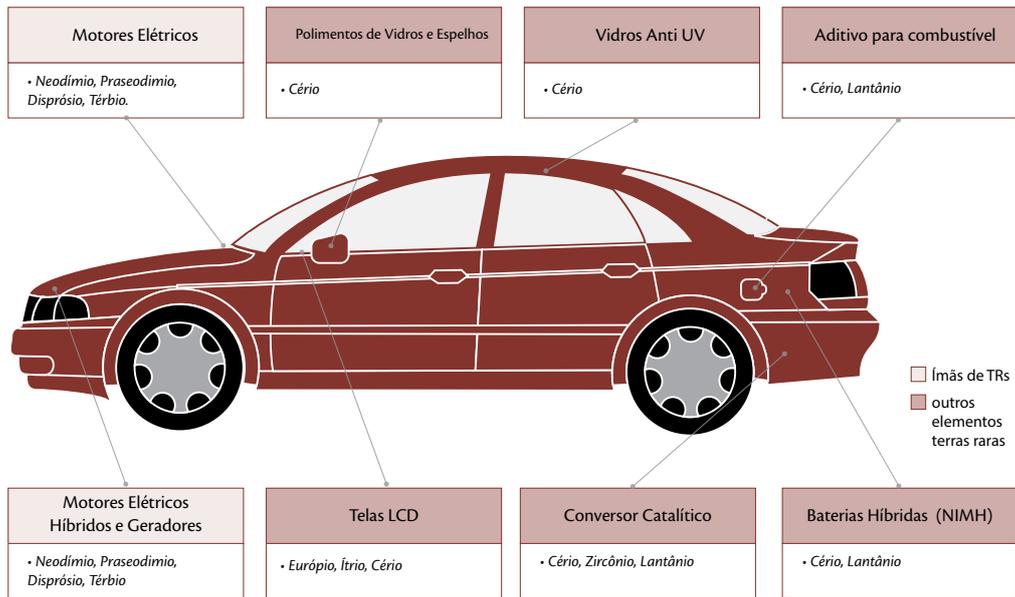


Figura 31. Aplicações de ímãs e elementos de terras raras em veículos³⁴

6.3. Cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Na sequência, apresenta-se, na Figura 32, a representação esquemática da cadeia produtiva de ímãs de TRs.

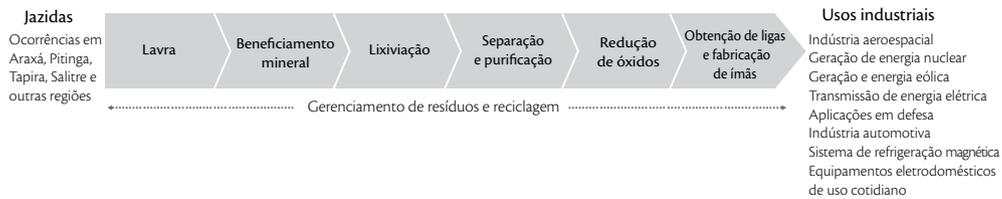


Figura 32. Cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Os elementos TRs são extremamente reativos devido à elevada estabilidade dos seus óxidos. Assim, os processos de redução desses elementos demandam técnicas especiais. Descrevem-se, a seguir, os

³⁴ HOCQUARD, C. IFRI Energy Breakfast Roundtable. Brussels. Belgium, 2010.

processos de redução de óxidos de TRs para a fabricação de ligas e subsequente produção de ímãs permanentes. Para essa aplicação, os ETRs devem estar em forma metálica.³⁵

Após redução, os metais de TRs precisam de proteção especial para evitar contato com o ar, impedindo sua oxidação. Os processos subsequentes de fusão e fabricação de ligas necessitam ser feitos sob alto vácuo, aumentando a complexidade e o custo dos equipamentos envolvidos. As dificuldades na redução dos ETRs são, algumas vezes, atenuadas pelas propriedades físicas desses metais, como ponto de ebulição e pressão de vapor. A conversão dos óxidos para cloretos ou fluoretos de TRs faz com que o processo de redução desses haletos seja facilitado. Nesse caso, a eletrólise de sais fundidos é um processo de grande importância industrial e um dos mais aplicados em larga escala.

A Figura 33 representa um diagrama de uma célula de redução em que o metal TRs é capturado em um cátodo de metal fundido. Como mostrado no diagrama, o eletrólito é composto de eutéticos de sais fundidos de TRs (usualmente cloretos ou fluoretos) com cloretos de alcalinos e alcalino-terrosos. A célula opera em temperaturas suficientes para a fusão dos sais (400-800°C) e corrente elétrica é aplicada para que a redução ocorra. No cátodo, usualmente, ligas de baixo ponto de fusão à base de zinco são utilizadas e o metal TRs é recuperado posteriormente via destilação.

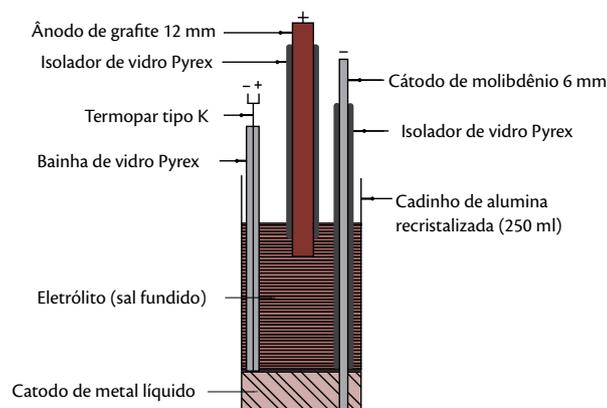


Figura 33. Esquema de célula de redução de cloreto de neodímio via eletrólise de sais fundidos³⁶

³⁵ DACHA STRATEGIC METALS. *Rare Metals*. Disponível em: <http://www.dachacapital.com/Rare-Metals/Neodymium/default.aspx>. Acesso em: 23 abr.

³⁶ C.K. GUPTA N. KRISHNAMURTHY. *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press, 2005.



Como mostrado no diagrama, o eletrólito é composto de eutéticos de sais fundidos de TRs (usualmente cloretos ou fluoretos) com cloretos de alcalinos e alcalino-terrosos. A célula opera em temperaturas suficientes para a fusão dos sais (400-800°C) e corrente elétrica é aplicada para que a redução ocorra. No catodo, usualmente, ligas de baixo ponto de fusão à base de zinco são utilizadas e o metal TRs é recuperado posteriormente via destilação.

Cada método de preparação de TRs apresenta vantagens e limitações no que diz respeito à aplicabilidade para um determinado elemento, pureza final, rendimento, tamanho da batelada, conveniência operacional e custo. De encontro à similaridade química no estado trivalente, as TRs apresentam considerável variação em seus pontos de fusão e pressão de vapor. Essa variação vem de encontro à aplicabilidade de um método único de redução para todos os elementos. Outro fator é a possibilidade de um estado divalente em alguns elementos que frustrou tentativas de produzi-los por técnicas convencionais de redução eletrolítica. Técnicas especiais, entretanto, são capazes de superar tais limitações.

O Brasil nunca atuou industrialmente no ramo de redução desse tipo de materiais. Contudo, em nível de pesquisa, houve grupos ativos nesta área (Ipen e USP) que, devido ao domínio chinês da produção industrial e declínio do interesse na fabricação nacional de ETRs, perderam força. Considera-se que a indústria de redução eletrolítica (bastante difundida no Brasil com a fabricação do alumínio e outros metais) possa ser uma interessante parceira no desenvolvimento tecnológico e fornecimento de equipamentos. Há ainda a possibilidade de aquisição de tecnologia no exterior por meio de *joint-ventures* com países que detêm o domínio tecnológico, como EUA e Japão.

A fabricação da liga é a etapa posterior à redução dos ETRs necessários, visando à adequação da matéria-prima para fabricação de ímãs permanentes. No caso dos ímãs Nd-Fe-B, a demanda é principalmente pelo neodímio, presente em cerca de 30% em peso nesse material. Outros ETRs são usados como aditivos, como o praseodímio, o disprósio e o térbio, mas em menores quantidades (< 5%).

O processo de fabricação da liga não apresenta grandes dificuldades, uma vez estando disponível o neodímio metálico. Mediante fusão a vácuo, fundem-se os elementos primários ou pré-ligas (como o boro, geralmente adicionado na forma de Fe-B). O ponto de maior atenção é na contaminação da liga, em que são críticos os teores de oxigênio, carbono e outros metais, como alumínio.³⁷

³⁷ ALD VACUUM TECH. Disponível em: <http://www.ald-vt.com/>. Acesso em: Mai/2011.

Há também necessidades específicas, como a ausência de ferro livre na liga, o qual é controlado com a taxa de resfriamento do fundido.

Atualmente, diversas empresas e institutos (IPT) têm condições de atender essa etapa do processo, visto que este é comum na fabricação de diversas outras ligas metálicas comerciais.

O processo de fabricação de ímãs sinterizados, representado na Figura 34, inicia com a matéria-prima na forma de lingotes, que precisam ser quebrados e passar por processos de moagem para obter o tamanho de partícula necessário ao processo de sinterização. É muito importante controlar a atmosfera ao longo de todo o processo, pois a oxidação do material ocorre facilmente e pode afetar muito a qualidade do ímã.

Para as etapas posteriores do processo, o pó utilizado deve ter tamanho médio entre 3 e 15 μm . No caso de ímãs TRs, a tecnologia mais utilizada para obtenção de pós finos é a moagem a jato. Nesse processo, o material é moído apenas pela colisão entre as partículas e utiliza um gás inerte, portanto, além de permitir o controle de atmosfera, previne a contaminação do material. O gás utilizado no jato pode ser nitrogênio de alta pureza e este pode ser reciclado após o uso.

Na etapa seguinte, as partículas de pó são magneticamente alinhadas e compactadas de forma que os eixos de magnetização das partículas fiquem paralelos. A pressão aplicada para compactação deve ser suficiente para dar resistência mecânica ao pó, mas não alta o suficiente para causar desorientação das partículas³⁸.

Uma vez compactados, os ímãs são sinterizados em torno de 1.100°C em vácuo ou atmosfera inerte para atingir 95% da densidade teórica. Um tratamento térmico pós-sinterização, geralmente em torno de 650°C durante uma hora, aumenta a coercividade dos ímãs NdFeB⁹.

38 C.K. GUPTA N. KRISHNAMURTHY. *Extractive Metallurgy of Rare Earths*. CRC Press, 2005.

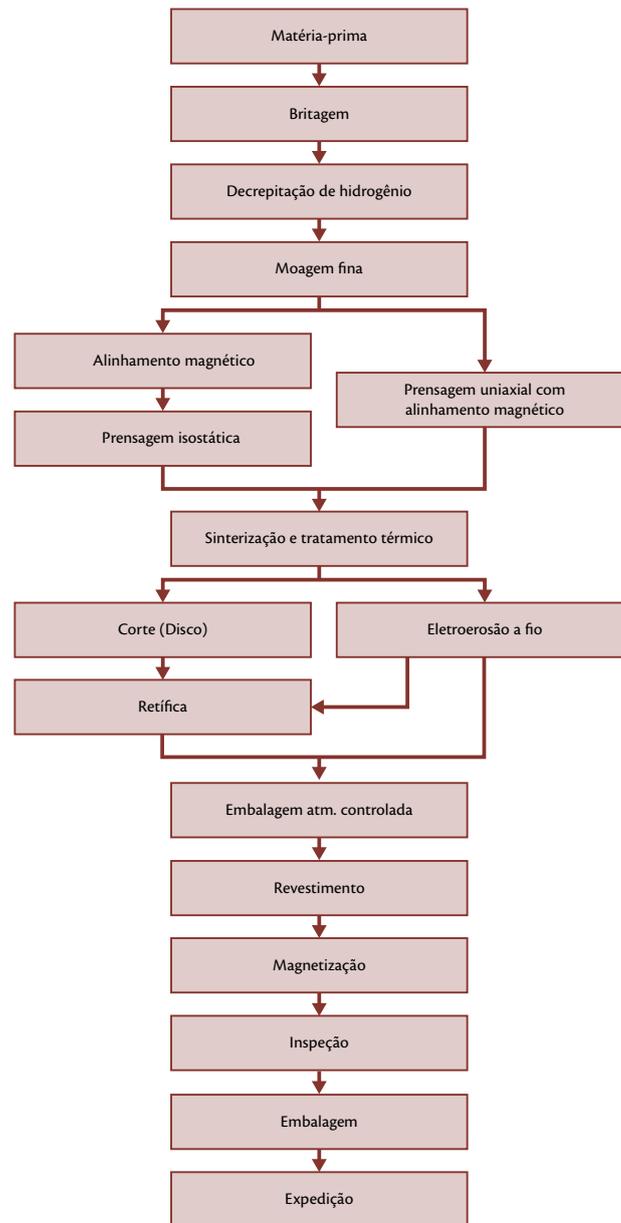


Figura 34. Processo produtivo básico para a fabricação de ímãs à base de Nd-Fe-B³⁹

³⁹ CERTI. IFAM. *Estudo para a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de terras raras no Brasil*. Florianópolis, maio de 2011, p. 63.

Após sinterização e tratamento térmico, as propriedades magnéticas básicas dos ímãs, como densidade de fluxo remanente, coercividade e máximo produto de energia (BH) máx, devem ser mensuradas e registradas. Apenas após a inspeção, os ímãs são enviados para a etapa de usinagem.

Os ímãs podem ser usinados para ajustar as dimensões, utilizando uma máquina de corte e fluidos não reativos. Outra opção refere-se à eletroerosão, que pode ser usada para produzir formas complexas ou cortar grandes blocos.

Durante a aplicação, os ímãs de TRs são muito propensos à corrosão e, frequentemente, são expostos a ambientes agressivos como ácidos, álcalis, sais, lubrificantes e gases. No caso de NdFeB, um ambiente de elevada umidade é suficiente para causar corrosão⁹. Para proteger contra a corrosão, o ímã deve ser recoberto com uma fina camada metálica, geralmente de níquel, estanho ou alumínio. Os processos mais utilizados para aplicação do revestimento são galvanoplastia e revestimento por *spray*. Esses processos são relativamente complexos e requerem uma linha de equipamentos específica.

Após o acabamento final, os ímãs precisam ser magnetizados até a saturação para que apresentem as propriedades magnéticas desejadas para o material. A magnetização é realizada por meio da exposição do ímã a um campo magnético externamente alto. Esse campo magnético pode ser criado por outros ímãs permanentes ou por corrente elétrica aplicada em uma bobina.

A exemplo do levantamento de patentes realizado para as primeiras etapas da cadeia produtiva de TRs, buscou-se aqui complementar as informações de processo das etapas finais da cadeia de ímãs permanentes de TRs com informações estratégicas de propriedade intelectual relativas a essas etapas. Esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, adotando-se a estratégia de busca mostrada na Tabela 13.

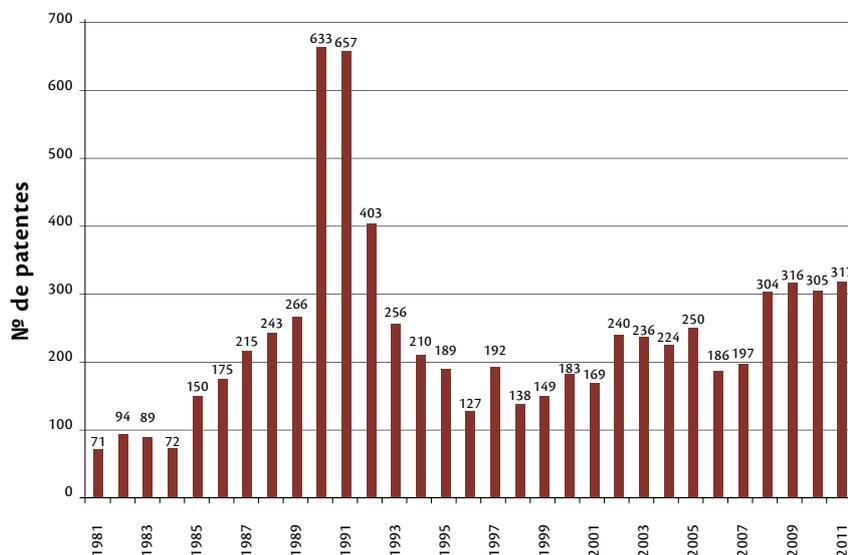
**Tabela 13.** Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras

Referência	Busca	Resultados
#12	#11 OR #10 OR #9 OR #8 OR #7 OR #6	7.286
#11	TS="rare earth magnet*"	2.541
#10	TS="rare earth permanent magnet*"	1.374
#9	#1 AND #5	4.744
#8	#1 AND #4	8
#7	#1 AND #3	805
#6	#1 AND #2	368
#5	TS="permanent magnet*"	81.547
#4	TS="magnetocaloric effect*"	58
#3	TS="magnetic properties"	6.659
#2	TS=magnetism	13.681
#1	TS="rare earth*"	52.282

Fonte: Estratégia de busca na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Identificaram-se 7.286 patentes (#12), que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado a seguir.

A Figura 35 mostra a evolução das patentes referentes a ímãs permanentes de TRs durante o período de 1981 a 2011.



Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Figura 35. Evolução das patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras

A Tabela 14 mostra os principais proprietários (critério *top 25*), de um total de 2.976 proprietários, conforme indicação da base consultada.

Tabela 14. Proprietários de patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras: 1981-2011

Proprietários	Nº de patentes
Hitachi Metals Ltd	623
Sumitomo Special Metals Co Ltd	448
TDK Corp	383
Seiko Epson Corp	315
Shinetsu Chem Ind Co Ltd	225
Toshiba KK	158
Hitachi Ltd	148
Daido Tokushuko KK	146
Epson Corp	131
Tohoku Metal Ind Ltd	121
NEC Corp	107
Token Corp	105
Suwa Seikosha KK	96
Sumitomo Metal Mining Co	95
Mitsubishi Denki KK	94
Shinetsu Chem Co Ltd	81
Matsushita Elec Ind Co Ltd	80
Neomax Co Ltd	74
Fujitsu Ltd	72
Kobe Steel Ltd	60
Kawasaki Steel Corp	59
Matsushita Denki Sangyo KK	58
Fuji Electrochemical Co Ltd	50
Mitsubishi Materials Corp	48
Showa Denko KK	57

Conforme apresentado na Tabela 14, a maioria das empresas proprietárias de patentes referentes a ímãs permanentes de TRs é japonesa. A empresa líder é a Hitachi Metals Ltd, com 623 patentes, seguida das empresas Sumitomo Special Metals Co Ltd e TDK Corp, com 448 e 383 patentes, respectivamente. Em um segundo patamar, na faixa de 315 a 100 patentes, situam-se: Seiko Epson Corp, Shinetsu Chem Ind Co Ltd, Toshiba KK, Hitachi Ltd, Daido Tokushuko KK, Epson Corp, Tohoku Metal Ind Ltd, NEC Corp e Token Corp. Os demais proprietários situam-se abaixo de 100 patentes. Ficaram de fora desse *ranking* 2.951 proprietários.



Na sequência, a Tabela 15 mostra os resultados da análise das 7.286 patentes, classificadas segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP), em um total de 4.099 códigos da ICP.

Tabela 15. Patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério top 10)

Classe ICP	Nº de patentes	%
H01F-001/08	1.715	23,5
H01F-001/053	1.644	22,6
C22C-038/00	1.603	22,0
H01F-041/02	1.530	21,0
H01F-001/032	690	9,5
H01F-007/02	655	9,0
C22C-033/02	614	8,4
B22F-001/00	588	8,0
H01F-001/06	547	7,5
H01F-001/04	545	7,5

Fonte: Busca direta na base de dados *Derwent Innovations Index*. Acesso em: 23 mar. 2012.

Na análise das patentes por código da ICP, constatou-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: H01F-001/08 – Ímãs; indutâncias; transformadores; seleção de materiais específicos devido a suas propriedades magnéticas; ímãs prensados, sinterizados ou aglutinados; e H01F-001/053 – Ímãs ou corpos magnéticos caracterizados pelos materiais magnéticos, contendo metais de terras raras; C22C-038/00 – Ligas ferrosas, por ex., ligas de aço (ligas de ferro fundido) e H01F-041/02 – Aparelhos ou processos especialmente adaptados à fabricação ou montagem dos dispositivos abrangidos por essa subclasse para fabricação de núcleos, bobinas ou eletroímãs.

Em um segundo patamar – de 700 a 600 patentes –, situam-se três classes: H01F-001/032 – Ímãs ou corpos magnéticos caracterizados por materiais magnéticos duros; H01F-007/02 – Ímãs permanentes e C22C-033/02 – Fabricação de ligas ferrosas pela técnica da metalurgia do pó. As demais classes são: B22F-001/00 – Tratamento especial de pó metálico, por ex., para facilitar seu trabalho, para melhorar suas propriedades; pós-metálicos *per se*, por ex., misturas de partículas de composições diferentes; H01F-001/06 – Ímãs ou corpos magnéticos caracterizados pelos materiais magnéticos na forma de partículas, p.ex., pó e H01F-001/04 – Ímãs ou corpos magnéticos caracterizados pelos materiais magnéticos – metais ou ligas.

As informações sobre as classes e subclasses ICP visam também validar a estratégia de busca apresentada na Tabela 13.

A Tabela 16 apresenta o conjunto de 7.286 patentes classificadas por área de conhecimento, adotando-se o critério *top 10*.

Tabela 16. Patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: top 10)

Áreas	Nº de patentes	%
Engenharia	6.964	95,6
Instrumentação	6.655	91,3
Química	5.385	73,9
Metalurgia e Engenharia Metalúrgica	3.659	50,2
Energia e combustíveis	1.273	17,4
Ciência dos Polímeros	1.010	13,8
Ciência da Computação	326	4,5
Transporte	324	4,4
Medicina interna e geral	220	3,0
Ciência da imagem e Tecnologia fotográfica	202	2,8

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

A análise das informações sobre as áreas de conhecimento indicou que percentuais significativos referem-se diretamente às áreas de Engenharia e Instrumentação, com 95,6% e 91,3%, respectivamente. Em um segundo patamar, situam-se as áreas de Química e Metalurgia e Engenharia Metalúrgica, com percentuais na faixa de 74% a 50%. Nesse *ranking*, as demais áreas apresentam indicadores inferiores a 20% do total de patentes classificadas segundo o sistema da base Derwent Innovations Index. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Dada a importância estratégica da cadeia produtiva de ímãs permanentes para o país, recomenda-se uma análise mais aprofundada por parte dos especialistas do setor no sentido de identificar e analisar as patentes, cujos prazos estão em vias de expirar. Atenção especial deverá ser dada às patentes de 1992 (403 patentes), de 1993 (256 patentes) e de 1994 (210 patentes).



6.4. Competência atual associada à cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Na Figura 36, identificam-se as atuais competências brasileiras nos processos produtivos, associadas à cadeia produtiva de ímãs de TRs⁴⁰. Destacam-se, nessa Figura, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do roadmap estratégico da cadeia produtiva de ímãs de TRs, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva.

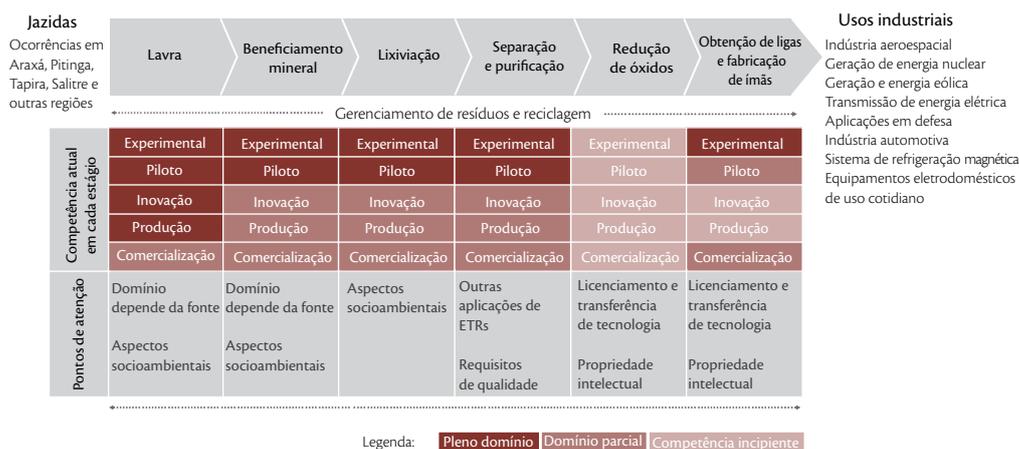


Figura 36. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Como pode ser observado na Figura 36, a fase experimental encontra-se em pleno domínio em cinco das seis etapas da cadeia produtiva.

Como mostrado no Capítulo 3, Seção 3.5, existem no país grupos bastante ativos no desenvolvimento e na fabricação de ímãs em escala laboratorial e também com alguma experiência em fabricação piloto. Alguns desses grupos têm forte interface com a indústria de eletromotores, geradores eólicos e fabricantes de ímãs nacionais, em especial as empresas WEG, Bosch, Whirlpool, IMPSA, Ugimag e Supergauss. Pelo menos um dos grupos tem atuado fortemente na qualificação de ímãs importados para os consumidores brasileiros, tendo, portanto, conhecimento pleno do que está sendo oferecido de melhor no mercado internacional.

⁴⁰ CERTI. IFAM. Estudo para a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de terras raras no Brasil. Florianópolis, maio de 2011, p. 71.

Com relação à fase de desenvolvimento piloto, além da experiência dos grupos de pesquisa no desenvolvimento de ímãs de TRs de última geração, no Brasil, na década de 1990, uma empresa entrante atuou na fabricação de ímãs de TRs à base de samário. Essa empresa foi fornecedora de ímãs para a fabricação de servomotores da empresa WEG S.A., no entanto, em função da entrada de ímãs de NdFeB e da forte concorrência de produtos chineses, ela descontinuou suas operações no Brasil.

Quanto aos estágios de inovação e produção, a cadeia produtiva de ímãs de TRs encontra-se com domínio parcial em quatro das seis etapas da cadeia, sendo que em uma delas – a redução de óxidos – a capacidade de inovar e produzir foi considerada crítica. Pode-se afirmar que a produção de ímãs de TRs é inexistente no Brasil, no momento, estando basicamente concentrada na China e no Japão em função dos custos de produção mais competitivos e atual domínio tecnológico naqueles países. Essa situação, no entanto, deverá sofrer uma mudança radical com a entrada de novos países produtores de TRs, incluindo o Brasil. A produção de ímãs, em função da agregação de valor, deverá se constituir em uma atividade importante a ser fomentada, dado o quadro de competência atual já alcançado no Brasil.

Os grupos de pesquisa estabelecidos estão potencialmente capacitados para desenvolver inovações nesse campo no Brasil. Continuam os trabalhos de pesquisa em nível internacional e o acompanhamento do desenvolvimento do estado da arte por meio de publicações em periódicos de especialistas brasileiros e participação em conferências internacionais importantes, tanto em relação a desenvolvimentos de tecnologias já estabelecidas quanto tecnologias de ponta, como, por exemplo, a refrigeração magnética. Necessita-se, no entanto, de melhoria na infraestrutura laboratorial e de PD&I, como será abordado nas seções seguintes.

Finalmente, com relação às atividades de comercialização, o domínio é parcial, porque, até o momento, o Brasil ainda não se inseriu fortemente na comercialização de ímãs de TRs. Sua atuação é basicamente como importador marginal de ímãs. Por outro lado, há um forte potencial para o desenvolvimento dessas atividades devido aos desenvolvimentos ocorridos nos últimos anos, em especial: (i) no ramo da linha branca com produtos mais eficientes do ponto de vista de consumo de energia; e (ii) na indústria automobilística em função da sofisticação dos produtos e maior exigência por parte dos consumidores.

Além disso, os incentivos para a produção de energias limpas têm sido um forte impulsionador para o desenvolvimento de parques eólicos, que demandarão a utilização de geradores a ímãs permanentes. Um caso concreto são os parques eólicos equipados com geradores da empresa IMPSA, os quais planejam utilizar mais de mil toneladas de ímãs nos próximos anos.



6.5. Visão de futuro e objetivos estratégicos: horizonte 2030

A exemplo da cadeia produtiva de TRs, definiram-se para a cadeia de ímãs de TRs a visão de futuro para 2030 e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão, expressos de acordo com as dimensões de análise do presente estudo (Quadro 26).

Visão de futuro da cadeia produtiva de ímãs de TRs Brasil: horizonte 2030

Integração a montante da fabricação de ímãs de TRs a partir de TRs de origem nacional e desenvolvimento a jusante, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Quadro 26. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
ME – Mercado de ímãs de TRs e de seus usos industriais	<p>A China produz cerca de 97% dos metais TRs do mundo, dificultando a exportação por meio de cotas e impostos.</p> <p>Aumento da demanda e preocupação da indústria mundial com a disponibilidade de matéria-prima para a fabricação dos ímãs, acessibilidade a esses materiais e ao consequente aumento de seus preços.</p> <p>Empresas brasileiras fabricantes de compressores, motores e geradores vêm aumentando a demanda por projetos de P&D com objetivo de lançar novas gerações de produtos de alto desempenho que neste momento só podem ser viabilizados com o uso de ímãs de TRs. Assim como no mundo, as empresas brasileiras também estão preocupadas com a segurança no fornecimento de ímãs e a estabilidade dos preços.</p> <p>Estudo encomendado pela ABDI em parceria com BMBF/ Alemanha e desenvolvido pela Certi em parceria com Fraunhofer/Ifam.</p>	<p>Integrar a produção industrial de ímãs de TRs a montante pelo emprego de TRs de origem nacional a preços competitivos.</p> <p>Focar no desenvolvimento da cadeia de ímãs induzida pelo mercado a partir da ponta da cadeia produtiva (usos industriais).</p> <p>Estruturar e fortalecer a participação dos fabricantes e usuários na cadeia.</p>	<p>Com o aumento crescente das novas tecnologias de energias limpas, existe uma demanda crescente por ímãs de TRs, principalmente para os carros híbridos e elétricos e geradores eólicos.</p> <p>Além das perspectivas de aumento na demanda de ímãs nas tecnologias limpas, há um crescente desenvolvimento na área de eletroeletrônicos, visando à miniaturização e consequentemente ímãs de alta performance, bem como um crescente aumento no desempenho de motores elétricos que, para tal, necessitam utilizar a tecnologia de ímãs de TRs.</p> <p>Demanda no uso de ímãs de TRs também será encontrada em novas aplicações, atualmente ainda em escala de testes em ICTIs, que são os trens que utilizam a tecnologia de levitação magnética e a refrigeração magnética.</p> <p>Segundo a IMCOA, o crescimento da demanda por ímãs deve permanecer entre 10% a 15% ao ano na década de 2010 a 2020, podendo ser ainda maior se a disponibilidade de fornecimento aumentar. Uma previsão semelhante foi feita pela australiana Lynas, que considera um aumento de demanda de 9% ao ano para o mercado de TRs como um todo e de 12% para o de ímãs.</p> <p>Baseado na quantidade prevista da demanda de óxido de neodímio até 2030, segundo um relatório da Oakdene Hollins, pode-se calcular uma produção de aproximadamente 147 mil toneladas de ímãs de neodímio em 2020 e de 280 mil toneladas em 2030.</p> <p>Destes, geradores eólicos demandariam 22 kt em 2020 e 42 kt em 2030.</p> <p>Preços estáveis e fornecimento global permitirão um forte crescimento de aplicações e redução de custos.</p>

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
<p>RP – Reservas e produção de TRs no Brasil</p>	<p>A INB e a IEN desenvolveram projetos piloto para produção de TRs, mas que foram interrompidos no final da década de 1990 em função dos baixos preços praticados pela China. Atualmente, pelo menos duas mineradoras brasileiras anunciaram projetos para a exploração e produção de TRs. Há registros de ocorrências de TRs em Araxá, Catalão e Pitinga, Tapira, Salitre e em outras regiões. No entanto, ainda não há informações específicas (confiáveis) sobre reservas (recursos economicamente exploráveis).</p> <p>Sabe-se que no Brasil existem fontes de TRs em rejeitos de mineradoras e que podem ser aproveitados como matérias-primas potenciais. Globalmente, há um movimento em busca das TRs, nos EUA com a reabertura da mina de Mountain Pass e a perspectiva de instalação de uma fábrica de ímãs pela empresa Molycorp. Na Austrália, a empresa Lynas, com a mina de Mount Weld, tem a perspectiva de produzir 20 mil tons de óxidos de TRs por ano.</p>	<p>Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de ímãs de TRs para a indústria brasileira. Fontes de matéria-prima potenciais seriam, por exemplo, a monazita estocada pela empresa Indústrias Nucleares do Brasil (INB) e os rejeitos de Catalão/Fosfertil e Araxá.</p> <p>Viabilizar novas fontes de exploração de TRs.</p> <p>Colocar o Brasil como grande <i>player</i> na exploração de ETRs.</p>	<p>Reservas minerais de TRs conhecidas e bem definidas. A disponibilidade de TRs no país é satisfatoriamente conhecida, e a produção é realizada de maneira rentável e sustentável, atendendo à demanda nacional de uso de ímãs. Inserção competitiva em mercados externos. Estimativa numérica: 10.000 t/ano.</p>
<p>PO – Política nacional para TRs: foco na cadeia produtiva de ímãs de TRs</p>	<p>Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal: ENCTI 2012-2015, PBM-2012-2014, PAC CPRM 2010-2014 e PNM-2030.</p>	<p>Criar incentivos fiscais para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de ímãs de TRs.</p> <p>Criar programas de incentivos para estados e municípios atuarem no mercado como demandante de produtos que utilizem tecnologias baseadas em ímãs de TRs, por exemplo, ônibus elétricos, trens magnéticos, geradores elétricos, dentre outros usos.</p>	<p>Continuidade das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs, revisadas em função das prioridades estratégicas do país e dos avanços tecnológicos alcançados.</p> <p>Integração a montante da produção industrial de ímãs para aplicações em geradores, motores elétricos, em produtos da linha branca e no setor automotivo.</p>
<p>MR – Marco regulatório: foco na cadeia produtiva de ímãs de TRs</p>	<p>Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor.</p>	<p>Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.</p>	<p>Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável.</p>



Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
INV – Investimentos na cadeia produtiva de ímãs de TRs	Há, no Brasil, duas empresas atuando na produção de ímãs tradicionais de ferrita, as quais atendem o mercado de motores elétricos para produtos da linha branca e automobilística. Na década de 1990, havia uma empresa produzindo ímãs de TRs que teve sua produção descontinuada devido a importações da China. Portanto, no Brasil, atualmente, não há investimento na produção de ímãs de TRs tanto pela parte governamental quanto pelas indústrias. O conhecimento na produção de ímãs está em algumas ICTIs que mantêm linhas de pesquisa na área. Existe uma demanda do setor industrial brasileiro na caracterização e especificação de ímãs importados. Nesse caso, algumas ICTIs dispõem de laboratórios de caracterização para atender essa demanda.	Atrair investimentos de forma escalonada (busca de domínio tecnológico, piloto e industrial); Consolidar capacidade de produção em nível industrial de ímãs de TRs; Integrar a montante a cadeia produtiva de ímãs.	Investimentos consolidados em função do aumento de demanda provocado pelo rigor dos requisitos legais de controle de emissões pelo aumento da frota de veículos elétricos e híbridos no mercado interno e externo e pela necessidade de produção de energia limpa via geração eólica.
INF – Infraestrutura física para a cadeia produtiva de ímãs de TRs	Existência de infraestrutura básica laboratorial para PD&I e para ímãs.	Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios de PD&I com foco em produção piloto e laboratório (fábrica). Implementar programas de PD&I com apoio a projetos cooperativos ICT/empresa, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs.	Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICTIs e empresas. Laboratórios-fábrica estruturados para produção de pequenas séries, atuando em conexão com empresas produtoras e usuárias de ímãs de TRs. Cadeia produtiva estruturada atendendo o mercado nacional e exportando.
RH – Recursos humanos para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia produtiva de ímãs de TRs	Existência de grupos de pesquisa e especialistas dedicados a PD&I em vários centros de pesquisa no Brasil (ver Anexo 4)	Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva de ímãs. Incentivar/apoiar programas de cursos de pós-graduação com objetivo de formar mestres e doutores com foco na produção e utilização de ímãs de TRs.	Competência tecnológica faz frente aos desafios tecnológicos da cadeia produtiva de ímãs de TRs. No segmento de linha branca e motores elétricos, os recursos humanos são voltados para PD&I de novas composições e processos com o objetivo de inovar e reduzir custos de produção.
TE – Tecnologias para a cadeia produtiva de ímãs de TRs	Há forte interesse de empresas nacionais e internacionais produtoras de equipamentos que demandam ímãs de TRs de terem maior domínio sobre a tecnologia de fabricação de ímãs e também de adequá-las a suas necessidades específicas. Associado à disponibilidade de TRs no Brasil e aos anúncios recentes de projetos nesta área, por mineradoras brasileiras, emerge um cenário adequado para parcerias de desenvolvimento tecnológico da cadeia como um todo. Com a concretização desse cenário, várias empresas objetivam diminuir a atual dependência.	Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com know-how próprio, registro de propriedade intelectual no sentido de garantir competitividade, hegemonia tecnológica e inovação voltados para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de ímãs.	Domínio tecnológico completo da cadeia produtiva de ímãs e empresas instaladas no Brasil produzindo e consumindo ímãs de TRs. Novos produtos especialmente desenvolvidos com tecnologia própria, integrando processos, produtos e aplicação.

7. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras no Brasil: 2012-2030⁴¹

Apresentam-se, neste Capítulo, a caracterização da cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs e a indicação do estágio atual de competência nos estágios da cadeia produtiva de catalisadores em seus dois segmentos de uso industrial: (i) refino de petróleo em unidade de FCC; e (ii) catalisadores automotivos para controle de emissões veiculares. Na sequência, definem-se a visão de futuro para a cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs e os objetivos estratégicos para alcançar a visão em um horizonte 2030.

7.1. Importância estratégica da aplicação para o país

Catalisadores são espécies que aceleram a velocidade de reações químicas, tornando-as viáveis. Catalisadores são considerados insumos, já que, por exemplo, podem gerar produtos cujo valor representa 75 vezes o valor do catalisador em si, como é o caso do processo de FCC.

Terras raras são importantes componentes de duas das principais linhas de produção de catalisadores: os de FCC e os automotivos. Nos catalisadores de FCC, TRs são incorporadas ao componente zeolítico deste complexo sistema multifuncional com o objetivo de aumentar sua estabilidade e atividade. Muitos estudos e pesquisas vêm sendo realizados, almejando substituir TRs por outros elementos no catalisador de FCC, todavia, ainda sem sucesso. Terras raras são, portanto, componentes fundamentais de tais catalisadores, os quais, por sua vez, são altamente estratégicos na medida em que são diretamente responsáveis pela geração de combustíveis. No que tange os catalisadores automotivos, estes são sistemas “em três vias”, ou seja, promovem oxidações de hidrocarbonetos não reagidos e de CO e redução de óxidos de nitrogênio a N_2 . Óxido de cério é um dos componentes fundamentais desses sistemas igualmente complexos. No atual estágio da tecnologia e considerando-se que catalisadores automotivos são uma exigência ambiental indiscutível, não se vislumbra qualquer substituto para esse componente na cadeia produtiva dos referidos catalisadores.

⁴¹ Este Capítulo foi elaborado por Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, Fatima Maria Zanon Zotin e Lucia G. Appel.



7.2. Principais usos industriais: ciclo de vida dos catalisadores à base de terras raras

A seguir, no Quadro 27, destacam-se os principais usos de catalisadores à base de TRs segundo as etapas do ciclo de vida dos produtos.

Quadro 27. Principais usos industriais de catalisadores à base de terras raras segundo as etapas do ciclo de vida dos produtos

Usos industriais de ímãs de TRs	Fase do ciclo de vida dos produtos [nível mundial]			
	Introdução	Crescimento	Maturidade	Declínio
Catalisadores para refino de petróleo (FCC)			X	
Catalisadores automotivos (ciclo otto)			X	
Catalisadores automotivos (ciclo diesel)	x			
Geração de hidrogênio (reforma, <i>shift</i> e PROX)	x			
Óxidos de terras raras (destaque para o óxido de cério) em vários processos químicos	x			

7.2.1. Catalisadores para refino de petróleo (FCC)

Desde sua introdução, há várias décadas, o processo de craqueamento catalítico tornou-se um dos mais importantes no refino, gerando produtos de grande valor agregado, como é o caso do GLP, da gasolina e do diesel. Sem tal processo, o mundo não poderia suprir suas necessidades em combustíveis. Sua enorme durabilidade deveu-se à grande flexibilidade no tratamento de cargas e à sua adaptabilidade às diferentes demandas do mercado. Tal flexibilidade existe graças ao catalisador.

Catalisadores para FCC são espécies complexas que apresentam quatro tipos de componentes: um componente ativo, que é uma zeólita contendo TRs; uma matriz ativa, alumina; uma matriz inerte, representada pelo caulim; e uma matriz sintética, ou seja, um ligante. A cadeia produtiva inclui as seguintes etapas:

- Preparação da zeólita;
- Preparação da matriz;

- Formação da partícula;
- Troca iônica/lavagens;
- Secagem/calцинаção;
- Obtenção do catalisador final.

O catalisador de craqueamento é formado de várias partículas de diferentes tamanhos. As partículas passam por um atomizador, se unem e formam a partícula final do catalisador (Figura 37). Tais partículas finais são bem pequenas, fazendo com que o catalisador se assemelhe a uma areia bem fina.

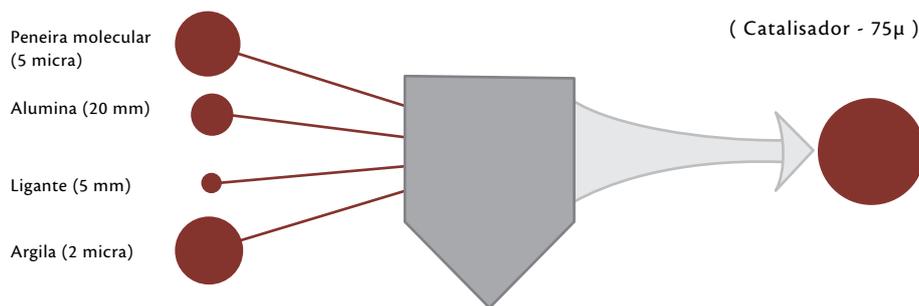


Figura 37. Formação da partícula de catalisador de FCC por atomização (*spray drying*)

O mercado mundial de catalisadores para refino de petróleo gera uma receita anual superior a US\$ 2 bilhões. O Brasil dispõe da maior fábrica de catalisadores de craqueamento abaixo do Equador, a FCC S.A. (Fábrica Carioca de Catalisadores), que tinha como parceira a empresa holandesa AKZO Nobel. No entanto, em decorrência da decisão da Akzo Nobel de fortalecer seus negócios em outras áreas, a empresa decidiu descontinuar sua participação no setor de catalisadores no mundo. Os 50% das ações da FCC S.A. que pertenciam à empresa, agora, pertencem à Albemarle Corporation. A empresa norte-americana comprou todas as unidades da Akzo Nobel para ingressar no setor de catalisadores para unidades de FCC. No Brasil, tornou-se sócia da Petrobras, que detém os outros 50% do controle do capital da FCC S.A.

A Albemarle fez investimentos da ordem de € 625 milhões para adquirir o controle do setor de catalisadores para unidades de FCC. Esse negócio atende hoje clientes que se concentram em mais de cem países: o mercado mundial de catalisadores para refino de petróleo gera uma receita anual superior a US\$ 2 bilhões. Com a participação na FCC S.A., a norte-americana conquistou o mercado



sul-americano, que representa um volume de vendas de 33 mil toneladas por ano e faturamento de US\$ 70 milhões. Para a FCC, a mudança societária e o aumento de produção permitiram que a empresa entrasse no mercado venezuelano com potencial de consumo de 7.000 toneladas por ano. Antes, no acordo com a Akzo, a empresa brasileira estava restrita à participação no mercado sul-americano, exceto a Venezuela, além da participação no mercado cubano, na América Central.

Para atender ao novo mercado, a empresa investiu na ampliação da capacidade de produção. Os investimentos foram da ordem de US\$ 40 milhões, e o objetivo foi atingir a capacidade de 45 mil toneladas de catalisadores por ano. Juntas, Albemarle e FCC S.A. detêm a liderança mundial na participação no mercado de catalisadores para a indústria de refino de petróleo. Sozinha, a FCC S.A. é líder na América do Sul e está presente em todos os países onde há unidades de craqueamento catalítico com um excelente posicionamento de mercado.

Os produtos formulados para processar resíduos mais pesados de hidrocarbonetos são o nicho de mercado da empresa, que compete com gigantes da indústria química como as norte-americanas Grace e Basf e as asiáticas Sinopec (chinesa) e CCIC (japonesa).

A FCC S.A. também é reconhecida por suas atividades de PD&I, que são realizadas no Centro de Pesquisa da Petrobras (Cenpes) e em outros dois centros nos Estados Unidos e na Holanda. Com a união da Petrobras e Albemarle, a FCC S.A. passou a ter, nesses países, fábricas e escritórios técnicos e de representação, estendidos para Itália, Japão, Espanha e Cingapura.

7.2.2. Catalisadores automotivos

No caso dos catalisadores automotivos, verifica-se que os gases liberados pela exaustão do motor dos automóveis constituem-se principalmente de monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos não convertidos (HC), oriundos da queima incompleta da gasolina, e óxidos de nitrogênio (NO). Tais gases são consideravelmente agressivos ao ambiente, portanto, restrições legais quanto à emissão desses poluentes nos centros urbanos motivaram o desenvolvimento e aperfeiçoamento da tecnologia dos catalisadores automotivos (Figura 38).

Os conversores catalíticos de três vias (em inglês, *three-way catalytic converters*) típicos são constituídos por um óxido refratário (especialmente alumina) e estabilizadores (ZrO_2 , MgO , CaO , SnO , Y_2O_3 , TiO_2 , ZnO , B_2O_3 , P_2O_5 , SnO_2 , Bi_2O_3 , SiO_2), podendo conter ou não promotores de óxidos alcalinos (Li_2O , Na_2O , K_2O , Cs_2O), possuindo sempre pelo menos um metal nobre (Pt, Pd, sozinhos ou associados a Rh, Ir e/ou Rh). Além dos metais nobres, o óxido de cério ou a mistura deste com outros óxidos de TRs (La_2O_3 , BaO , entre outros) é adicionado para conferir ao catalisador maior resistência à degradação térmica e à ação de impurezas presentes nos combustíveis.

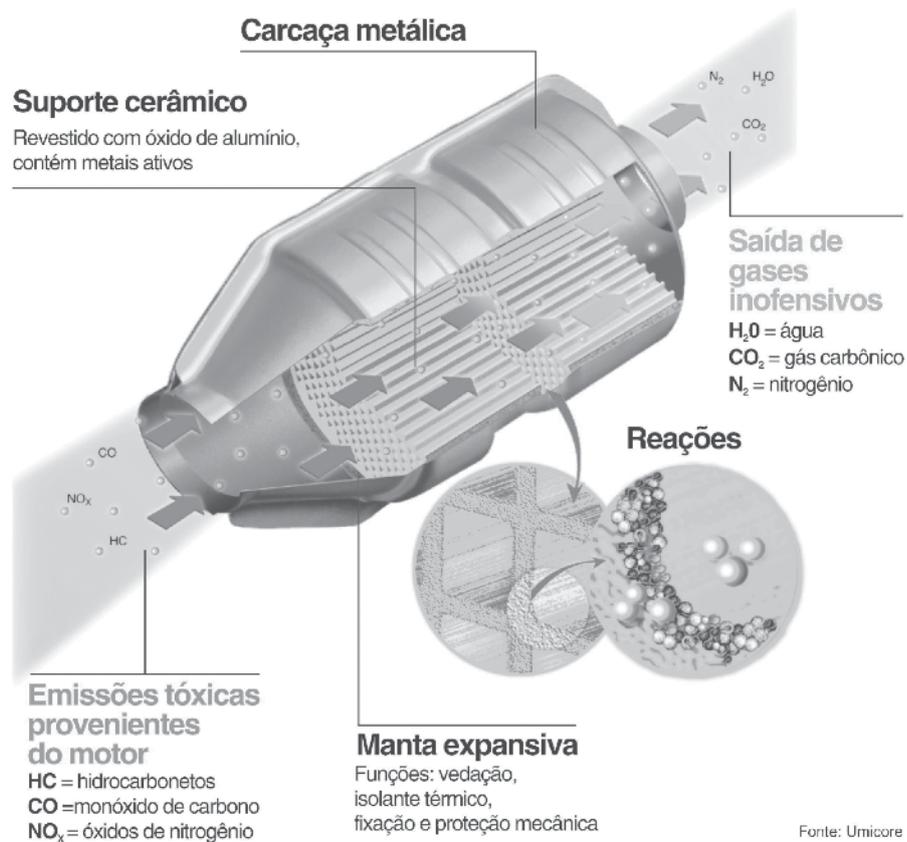


Figura 38. Funcionamento dos conversores catalíticos

Fonte: Umicore



O catalisador é formado por um suporte cerâmico também chamado de colmeia com milcanais que perfazem uma enorme superfície total. A colmeia é, na verdade, um monólito estruturado cuja tecnologia de preparação representa um importante conhecimento tecnológico (Figura 38). Sobre essa colmeia são impregnados os metais ativos. Em seguida, o catalisador é enrolado em uma manta expansiva, que fixa, veda, isola termicamente e dá proteção mecânica ao componente. Por fim, o catalisador é montado dentro de uma carcaça de aço inoxidável, dando origem ao conversor catalítico. É instalado logo após a saída dos gases para o escapamento a fim de assegurar as condições térmicas (altas temperaturas) de que precisa para operar.

O mercado global de catalisadores automotivos é concentrado em quatro empresas multinacionais: Johnson Matthey, Umicore, Basf e Cataler. Recentes fusões e aquisições ocorreram nesse mercado, como a aquisição dos negócios de catalisadores automotivos da Delphi e da Degussa pela Umicore; as aquisições da Engelhard pela Basf e da German Argillon pela empresa Johnson Matthey.

No Brasil, as empresas fabricantes de catalisadores automotivos são a Umicore e Basf. A Umicore anunciou recentemente que instalará uma nova infraestrutura de pesquisa de controle de emissões atmosféricas veiculares para atender aos atuais e futuros requisitos legais de controle de emissões. A infraestrutura inclui um novo laboratório que entrará em operação a partir da segunda metade de 2013 e estará disponível para projetos de clientes da Umicore a partir de 2014.

7.2.3. Sistemas catalíticos à base de terras raras para diferentes reações químicas e geração de hidrogênio

Os ETRs na forma de óxidos têm sido frequentemente propostos como componentes da formulação dos mais diversos sistemas catalíticos. As superfícies dos óxidos de TRs apresentam, de modo geral, sítios básicos fortes e também sítios ácidos. Essas propriedades, associadas a outras, tais como a mobilidade de oxigênio, tornam esses materiais promissores sistemas para um grande número de reações químicas.

No Quadro 28, a seguir, apresentam-se, de forma ilustrativa e não exaustiva, alguns exemplos do emprego dos ETRs como componentes de catalisadores em diferentes reações químicas.

Quadro 28. Elementos terras raras como componentes de catalisadores em reações químicas⁴²

Reações	Catalisadores à base de TRs
Oxidação	Emprego do CeO ₂ nas reações de oxidação de hidrocarbonetos parafínicos, aromáticos, álcoois, amônia entre outros. Este elemento também é usado como promotor de catalisadores de oxidação ^{1, 2} . Os TRs são utilizados também na desidrogenação oxidativa do etano, propano e isopropano (CeO ₂ , La ₂ O ₃ e Sm ₂ O ₃) ^{3, 4} .
Síntese do metanol	Cu-La ₂ O ₃ ; Cu/Cu-La ₂ O ₃ ; Cu/La ₂ Zr ₂ O ₇ são capazes de gerar metanol via gás de síntese ⁵ .
Desidratação	Dy ₂ O ₃ , Ho ₂ O ₃ , Er ₂ O ₃ , Tm ₂ O ₃ , Yb ₂ O ₃ , e Lu ₂ O ₃ suportados em ZrO ₂ foram empregados na desidratação do 1,4-butanediol ^{6, 7} .
Isomerização	CeO ₂ é também empregado como catalisador na isomerização do 1-buteno ⁸ .
Condensação	Os óxidos La ₂ O ₃ , CeO ₂ , Pr ₆ O ₁₁ e Nd ₂ O ₃ [8, 9] são empregados na reação de ketonização do ácido acético gerando acetona. Foi relatado o emprego de CeO ₂ em reações de condensação do ácido heptanoico ⁹ .
Geração de CO e H ₂	Geração de gás de síntese via CO ₂ e H ₂ O e energia solar empregando CeO ₂ ¹⁰ .

Especial destaque deve ser dado ao papel das TRs na tecnologia de geração de hidrogênio para células a combustível (Quadro 29).

De fato, especialmente o CeO₂ e seus óxidos mistos têm sido considerados com muita frequência e sucesso, tanto nas reações de reforma de hidrocarbonetos e álcoois quanto nos processos de purificação de H₂, ou seja, na reação de *shift* e PROX, ambos referentes à eliminação de CO na corrente de H₂ (Quadro 29).

Outra aplicação também muito investigada refere-se ao emprego de lantanídeos e, em especial, do La, Pr, Nd, Sm, Gd nas estruturas das perovskitas (ABO₃) na posição A. De fato, diversas reações têm sido estudadas considerando como catalisadores ou precursores as chamadas perovskitas, que contêm ETRs. Nesse contexto, podem-se citar, como exemplos, as seguintes reações: oxidação do monóxido de carbono e hidrocarbonetos, oxidação parcial do metano, hidrogenação e hidrogenólise de

⁴² Notas deste quadro:

- 1 Gonçalves, F.M.; Medeiros, R.S.; Appel, L.G. The role of cerium in the oxidation of ethanol over SnO₂-supported molybdenum oxides. *Applied Catalysis A*, v. 208, p. 265-270, 2001.
- 2 Rybak, P. et al. Conversion of ethanol over supported cobalt oxide catalysts. *Catalysis Today*, v. 176, p. 14-20, 2011.
- 3 Trovarelli, A. Catalytic Properties of Ceria and CeO₂ - Containing Materials. *Catalysis Reviews*, v.38, n.4, p. 439-520, 1996.
- 4 Ciambelli, P. et al. Comparison of the behavior of rare earth containing catalysts in the oxidative dehydrogenation of ethane. *Catalysis Today*, v.61, p. 317-323, 2000.
- 5 Andriamasinoro, A. et al. Preparation of stabilized copper-rare earth oxide catalysts for the synthesis of methanol from syngas. *Applied Catalysis A*, v.106, p. 201-212, 1993.
- 6 H. Inoue, H. et al. Dehydration of 1,4-butanediol over supported rare earth oxide catalysts. *Applied Catalysis A*, v.352, p. 66-73, 2009.
- 7 Sato, S. et al. Catalytic reaction of 1,3-butanediol over rare earth oxides. *Applied Catalysis A*, v. 328, p. 109-116, 2007.
- 8 Trovarelli, A. Ibid, 1996.
- 9 Gliński, M.; Kijeński, J.. Decarboxylative coupling of heptanoic acid. Manganese, cerium and zirconium oxides as catalysts. *Applied Catalysis A*, v. 190, p.87-91, 2000.
- 10 Chueh, C.W. et al. High-Flux Solar-Driven Thermochemical Dissociation of CO₂ and H₂O Using Nonstoichiometric Ceria. *Science*, v. 330, p. 1797-1801, 2010.



hidrocarbonetos, hidrogenação de monóxido e dióxido de carbono, oxi-desidrogenação do etano, decomposição do NO_x , fotodecomposição da água, dentre outras⁴³.

Quadro 29. Elementos terras raras como componentes de catalisadores para geração de hidrogênio para células a combustível⁴⁴

Reações	Catalisadores à base de TRs
Reforma de álcoois e metano	De modo geral, as TRs são utilizadas com o objetivo de diminuir a velocidade de desativação dos sistemas catalíticos. A literatura é rica em exemplos desse contexto ¹ . Grande destaque é dado para sistemas à base de Pt e CeO_2 ^{2,3} .
Reação de <i>shift</i>	Nessa reação, catalisadores à base de Au ou Pt são amplamente utilizados suportados em CeO_2 ^{4,5} .
Reação de PROX (oxidação preferencial do CO)	Novamente, a Pt suportada em CeO_2 destaca-se como catalisador promissor nesse contexto ^{6,7} .

7.3. Cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras

A Figura 39 representa esquematicamente a cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs.

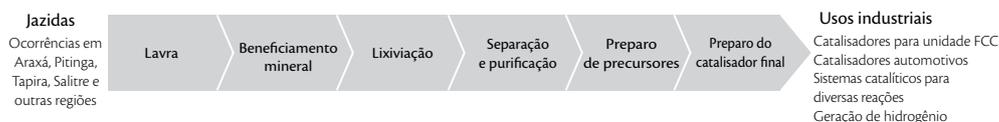


Figura 39. Cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras

Destacam-se, para fins do estudo dessa cadeia, as etapas de preparo de precursores e de preparo do catalisador final, uma vez que as anteriores são comuns a todas as cadeias abordadas no presente estudo.

⁴³ Peña, M.A.; Fierro, J.L.G. *Chemical Structures and Performance of Perovskite Oxides*. *Chem. Rev.* v.101, 1981-2017, 2001.

⁴⁴ Notas deste quadro:

¹ Mattos, L.V. et al. Production of Hydrogen from Ethanol: Review of Reaction Mechanism and Catalyst Deactivation. *Chem. Rev.* v. 112, p. 4094–4123, 2012.

² Lima, S.M. et al. Hydrogen production from ethanol for PEM fuel cells. An integrated fuel processor comprising ethanol steam reforming and preferential oxidation of CO. *Catalysis Today*, v.146, p.110-123, 2009.

³ Silva, A.M. et al. Partial oxidation and water–gas shift reaction in an integrated system for hydrogen production from ethanol. *Applied Catalysis A*, v. 334, p. 179-186, 2008.

⁴ Silva, A.M. et al. *Ibid.* 2008.

⁵ Duarte de Farias, A.;M. et al. Vanadium-promoted Pt/CeO₂ catalyst for water–gas shift reaction. *Journal of Catalysis* v.260, p. 93-102, 2008.

⁶ Lima, S.M. et al. *Ibid.* 2009.

⁷ Park, E.D. Lee, D.; Lee, H.C.Recent progress in selective CO removal in a H₂-rich stream. *Catalysis Today*, v.139, p.280–290, 2009.

O processo de obtenção dos catalisadores para FCC e automotivos já foi abordado na Seção 7.1. Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes referentes a catalisadores de FCC e automotivos. Esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, considerando-se o período de 1981 a 2011 e adotando-se a estratégia de busca mostrada na Tabela 17.

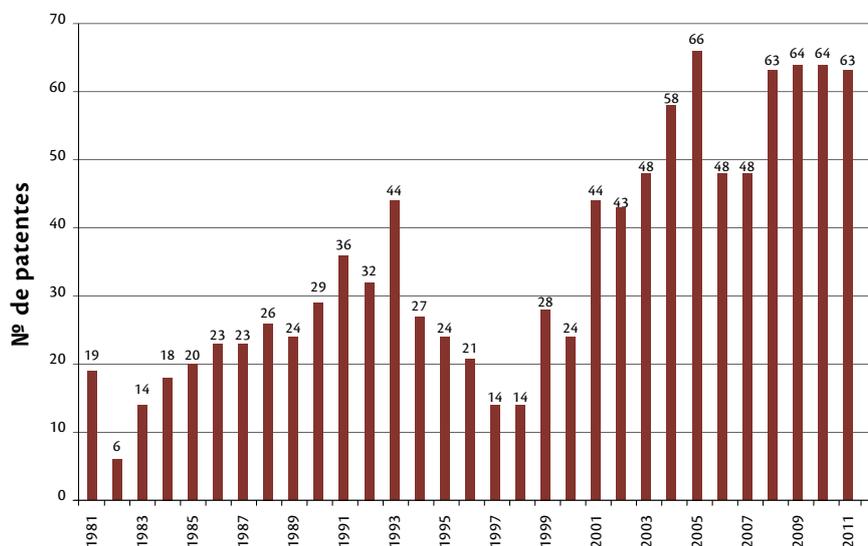
Tabela 17. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a catalisadores – de FCC e automotivos – à base de terras raras

Referência	Busca	Resultados
#12	#11 OR #10 OR #9 OR #8 OR #7 OR #6 OR #5	1.075
#11	#1 AND #4	137
#10	#1 AND #3	40
#9	#1 AND #2	396
#8	TS="automotive catalyst**"	40
#7	TS="automotive catalyst converter**"	115
#6	TS="FCC catalyst**"	328
#5	TS="fluid cracking catalyst**"	93
#4	TS="fluid catalytic cracking"	1.556
#3	TS="catalytic propert**"	864
#2	TS="catalytic activity"	10.387
#1	TS="rare earth**"	51.448

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Como pode ser visto na Tabela 17, identificaram-se 1.075 patentes (#12), que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado a seguir.

A Figura 40 mostra a evolução das patentes referentes a catalisadores à base de TRs, considerando-se o período de 1981 a 2011.



Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Figura 40. Evolução das patentes referentes a catalisadores à base de terras raras

A Tabela 18 mostra os principais proprietários (critério *top 30*), de um total de 1.064 proprietários, conforme indicação da base consultada.

Observa-se que as empresas proprietárias de patentes referentes a catalisadores contendo TRs são, na sua maioria, de origem europeia ou americana, diferentemente da cadeia de ímãs permanentes, com predominância de empresas japonesas. As empresas que lideram este *ranking* são: Mobil Oil Corp, Grace & Co, UOP, Albemarle Netherlands BV, Engelhard Corp, & Co, Akzo Nobel NV, Daihatsu Motor Co Ltd e Basf Catalysts LLC, com patentes na faixa de 80 a 17 patentes. Destaca-se, para fins de elaboração do *roadmap* estratégico dessa cadeia, a posição da Petrobras, em 12º lugar no *ranking*.

Tabela 18. Proprietários de patentes referentes a catalisadores à base de terras raras: 1981-2011

Depositante	Nº de patentes
Mobil Oil Corp	80
Grace & Co-Conn	65
UOP	45
Albemarle Netherlands BV	34
Engelhard Corp	33
Grace & Co	32
Akzo Nobel NV	18
Daihatsu Motor Co Ltd	18
Basf Catalysts LLC	17
China Petro-Chem Corp	16
Corning Inc	16
Petrobras Petróleo Brasil SA	16
Toyota Jidosha KK	16
Toyota Chuo Kenkyusho KK	15
Yaluris G	14
Exxon Res & Eng Co	13
Nissan Motor Co Ltd	13
Stamires D	12
Zhao X	12
Matsushita Elec Ind Co Ltd	11
Shokubai Kasei Kogyo KK	11
Ziebarth M S	11
Emitec Ges Emissionstechnologie MBH	10
O'Connor P	10
Exxonmobil Res & Eng Co	9
Rudesill J A	9
Stockwell D M	9
Texaco Inc	9
Umicore&Co AG KG	9
Ashland Oil Inc	8

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Na sequência, a Tabela 19 mostra os resultados da análise das 1.075 patentes, classificadas segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP), em um total de 1.600 códigos da ICP.



Tabela 19. Patentes referentes a catalisadores à base de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério *top 10*)

Classe ICP	Nº de patentes	%
C10G-011/18	168	15,6
C10G-011/05	158	14,7
C10G-011/00	145	13,5
B01J-037/00	129	12,0
B01J-023/10	110	10,2
B01D-053/94	109	10,1
B01J-029/06	102	9,5
B01J-029/08	102	9,5
B01J-029/00	101	9,4
B01J-021/00	93	8,6

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Na análise das patentes por código da ICP, constatou-se que as subclasses ICP de maior representatividade são: C10G-011/18 – Craqueamento catalítico, na ausência de hidrogênio, de óleos hidrocarbonetos, segundo a técnica de leito fluidizado; C10G-011/05 – Craqueamento catalítico, na ausência de hidrogênio, de óleos hidrocarbonetos, caracterizado pelo catalisador usado; óxidos alumino-silicatos cristalinos e C10G-011/00 – Craqueamento catalítico, na ausência de hidrogênio, de óleos hidrocarbonetos.

As demais subclasses pertencem à classe B01J – Processos químicos ou físicos, por ex., catálise, química coloidal; aparelhos pertinentes aos mesmos e B01D-053/94 – Separação de gases ou vapores; recuperação de vapores de solventes voláteis a partir dos gases; purificação química ou biológica de gases de exaustão, por ex., gases de exaustão de motores, fumaças, fumos ou gases de exaustão, aerossóis, por processos catalíticos. Como no caso da pesquisa de patentes sobre ímãs permanentes, as informações da Tabela 20 visam também validar a estratégia de busca apresentada na Tabela 17.

A Tabela 20 apresenta o conjunto das 1.075 patentes já classificadas por área de conhecimento, adotando-se o critério *top 10*. No total, identificaram-se 20 áreas.

Tabela 20. Patentes referentes a catalisadores à base de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: top 10)

Áreas	Nº de patentes	%
Química	1.045	97,2
Engenharia	993	92,3
Energia e combustíveis	817	76,0
Instrumentação	231	21,5
Ciência dos Polímeros	135	12,6
Metalurgia e Engenharia Metalúrgica	57	5,3
Transporte	57	5,3
Ciência da Computação	12	1,1
Recursos hídricos	11	1,0
Agricultura	9	0,8

Fonte: Busca direta da base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Ao se analisarem as informações sobre as áreas de conhecimento segundo as quais as patentes sobre catalisadores à base de TRs foram classificadas pela base de dados, observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente às áreas de Química, Engenharia e Energia e combustíveis, com, respectivamente, 97,2%; 92,3% e 76% do total de patentes. Em um segundo patamar, situam-se as áreas de Instrumentação e Ciência dos Polímeros, com percentuais na faixa de 22% a 12%. Nesse *ranking*, as demais áreas apresentam indicadores inferiores a 10% do total de patentes classificadas segundo o sistema da base Derwent Innovations Index. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Como recomendado na Seção anterior, embora o Brasil esteja bem posicionado tecnologicamente no que diz respeito à produção de catalisadores para unidades de FCC, devido à importância estratégica da cadeia produtiva de catalisadores para o país, deve ser conduzida uma análise posterior por parte dos especialistas do setor no sentido de identificar e analisar as patentes, cujos prazos estão em vias de expirar. Atenção especial deverá ser dada às patentes de 1992 (32 patentes), de 1993 (44 patentes) e de 1994 (27 patentes). A base de dados gerada por essa consulta integra os acervos do projeto no CGEE.



7.4. Competência atual associada à cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras

Devido ao fato de os catalisadores para FCC, catalisadores automotivos e sistemas catalíticos para geração de hidrogênio e diversas reações químicas encontrarem-se em estágios diferentes de maturidade segundo o conceito de ciclo de vida do produto e em situações bem distintas do ponto de vista de domínio tecnológico no Brasil, optou-se, nesse caso, por apresentar os respectivos esquemas gráficos correspondentes à competência atual para cada um dos casos citados.

Os catalisadores de FCC apresentam tecnologia madura e consagrada, inclusive no Brasil, que dispõe de fábrica com tecnologia própria. Por essa razão, há importante domínio de etapas da cadeia (Figura 41).

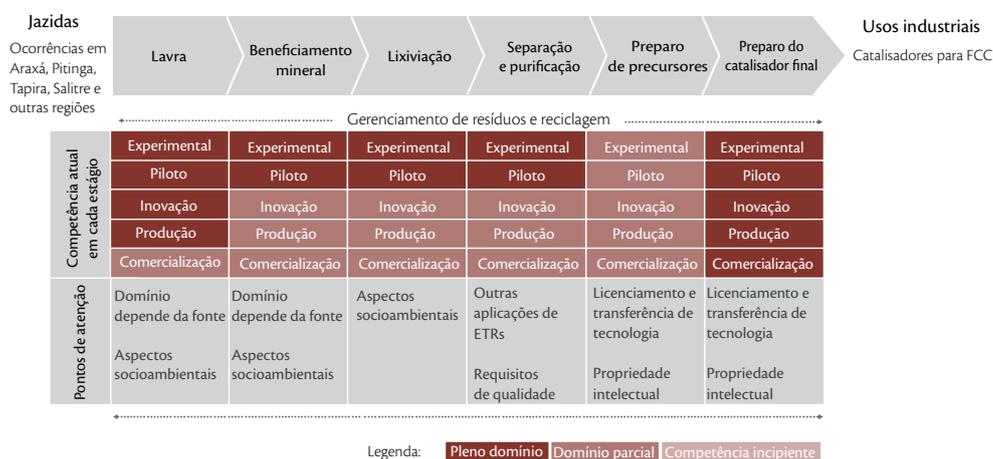


Figura 41. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para FCC na indústria de petróleo

Os catalisadores automotivos representam um campo em que há produção no Brasil, porém com tecnologia exógena. Os monólitos são produzidos no exterior, sendo feita no Brasil apenas a etapa de incorporação de alguns elementos. Há, portanto, domínio parcial do conhecimento dessa tecnologia, conforme indicado na Figura 42.



Figura 42. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores automotivos

A Figura 43 apresenta o mapa de competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de sistemas catalíticos para geração de hidrogênio.



Figura 43. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para geração de hidrogênio

A partir de levantamento realizado diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, no Portal Inovação e junto a especialistas da área de catálise, foi possível identificar os grupos que, no momento, desenvolvem linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs.



7.5. Visão de futuro e objetivos estratégicos: horizonte 2030

A exemplo da cadeia produtiva de TRs e da cadeia de ímãs permanentes, definiram-se para a cadeia de catalisadores a visão de futuro para 2030 e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão, expressos de acordo com as dimensões de análise do presente estudo.

Visão de futuro da cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs no Brasil: horizonte 2030

Integração a montante com utilização de TRs de origem nacional, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A partir dessa visão, buscou-se elencar um conjunto de objetivos que deverão orientar estrategicamente o desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs no Brasil, visando alcançar a visão no horizonte considerado.

O Quadro 30 mostra, de forma resumida, a situação atual e a situação em 2030 como pontos de apoio para a definição dos objetivos estratégicos por dimensão de análise.

Quadro 30. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
ME – Mercado de catalisadores e usos industriais	<p>Importação de TRs para fabricação dos catalisadores para FCC e automotivos.</p> <p>Legislação ambiental rigorosa contribui para o aumento da demanda de catalisadores para FCC e automotivos.</p> <p>Produção de catalisadores para FCC pela FCC S.A. com domínio tecnológico em todas as fases do processo industrial.</p> <p>Produção de catalisadores automotivos por duas empresas: Umicore e Basf (que adquiriu recentemente a Engelhard).</p>	<p>Integrar a produção industrial de catalisadores a montante pelo emprego de TRs de origem nacional a preços competitivos.</p> <p>Ampliar capacidade de produção de catalisadores para unidades de FCC e automotivos, visando atender o consumo interno e aumentar as exportações.</p>	<p>Com o novo marco regulatório para redução de emissões no Brasil, o segmento de catalisadores automotivos mantém-se atrativo e sustentável, ainda concentrado em poucas empresas multinacionais.</p> <p>O segmento de catalisadores para FCC, embora maduro, mantém-se atrativo e sustentável em função da necessidade de processar petróleo de pior qualidade para atender às exigências ambientais em relação aos combustíveis fósseis.</p>

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
RP – Reservas e produção de TR no Brasil	Não há produção mineral de TRs e as informações sobre reservas são contraditórias. Há registros de ocorrências de TRs em Araxá, Catalão e Pitinga, Tapira, Salitre e em outras regiões.	Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de catalisadores para FCC e automotivos.	Reservas minerais de TRs conhecidas e bem definidas. A disponibilidade de TRs no país é satisfatoriamente conhecida e a produção é realizada de maneira rentável e sustentável, atendendo à demanda da indústria nacional de catalisadores para FCC e automotivos. Inserção competitiva em mercados externos.
PO – Política nacional para TRs: foco na cadeia produtiva de catalisadores	Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal: ENCTI 2012-2015, PBM-2012-2014, PAC CPRM 2010-2014 e PNM-2030.	Criar incentivos para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de catalisadores.	Continuidade das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores, revisadas em função das prioridades estratégicas do país e dos avanços tecnológicos alcançados. Integração a montante da produção industrial de catalisadores para unidades de FCC e automotivos.
MR – Marco regulatório: foco na cadeia produtiva de catalisadores e usos industriais	Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor. Marco regulatório de emissões atmosféricas com relação ao caráter compulsório do uso de catalisadores automotivos em veículos novos.	Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs. Revisar o marco regulatório de controle de emissões atmosféricas para passar a incluir requisitos legais para uso de conversores catalíticos em veículos usados.	Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável. Marco regulatório de controle de emissões atmosféricas inclui requisitos legais para uso de conversores catalíticos em veículos usados, além dos novos.
INV – Investimentos na cadeia produtiva de catalisadores	Planta instalada da FCC S.A. com capacidade de produção de 40.000 t/ano. Presença no Brasil da Umicore e Basf, líderes do mercado global de catalisadores automotivos.	Ampliar capacidade de produção de catalisadores automotivos, de FCC e para produção de hidrogênio. Atrair investimentos para a integração a montante a cadeia produtiva de catalisadores.	Capacidade ampliada em função do aumento de demanda provocado pelo rigor dos requisitos legais de controle de emissões pelo aumento da frota de veículos no mercado interno e pela necessidade de processar petróleo de qualidade inferior no caso de catalisadores para unidades de FCC.
INF – Infraestrutura física para a cadeia produtiva de catalisadores	Existência de infraestrutura laboratorial para PD&I e logística de transporte para a fabricação de catalisadores para unidades de FCC. Existência de infraestrutura laboratorial para PD&I voltada para novas composições de catalisadores automotivos. Anunciada a criação de nova infraestrutura laboratorial para estudos de controle de emissões veiculares pela Umicore.	Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores.	Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICTs e empresas. Infraestrutura consolidada para a produção de catalisadores para FCC e automotivos.



Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
RH – Recursos humanos para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia produtiva de catalisadores	Existência de grupos de pesquisa e especialistas dedicados a PD&I em catalisadores para FCC. No segmento de catalisadores automotivos, os grupos de pesquisa no Brasil não detêm a tecnologia de fabricação por ser segredo industrial, porém focalizam suas atividades no desenvolvimento de novas composições de conversores catalíticos para controle de emissões e em estudos de emissões veiculares propriamente ditos.	Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva de catalisadores.	Competência tecnológica faz frente aos desafios tecnológicos do segmento de catalisadores para unidades de FCC. No segmento de catalisadores automotivos, os recursos humanos são voltados para PD&I de novas composições para fazer frente aos requisitos legais de controle de emissões no Brasil e nos países para os quais os fabricantes exportam, levando-se em conta as particularidades do combustível nacional (teor elevado de etanol no combustível, podendo alcançar 100%).
TE – Tecnologias para a cadeia produtiva de catalisadores	A FCC S.A. mantém atividades de PD&I que são realizadas no Centro de Pesquisa da Petrobras (Cenpes) e em outros dois centros nos Estados Unidos e na Holanda. O mercado global de catalisadores automotivos é controlado por duas empresas que detêm o know-how de fabricação, protegido por segredo industrial. Grupos de pesquisa no Brasil focalizam o desenvolvimento de novas composições de conversores catalíticos para controle de emissões e o estudo de emissões veiculares	Promover o desenvolvimento tecnológico e inovação voltado para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de catalisadores. Aproveitando a grande capacidade de PD&I na área de catálise no Brasil, promover o desenvolvimento de novos processos químicos que utilizem catalisadores alternativos com base em TRs.	Domínio tecnológico completo da cadeia produtiva de catalisadores no seu segmento para unidades de FCC, ou seja, da mina ao catalisador para FCC. Rede Brasileira de Terras Raras com efetiva atuação das ICTs públicas e privadas, empresas e instituições acadêmicas nas atividades de PD&I voltadas para a cadeia produtiva de catalisadores.

8. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras no Brasil: 2012-2030⁴⁵

Apresentam-se, neste Capítulo, os principais usos industriais dessa aplicação e a caracterização da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs. Na sequência, indica-se o estágio atual de competência nos estágios da cadeia produtiva de ligas metálicas com ênfase nas etapas a partir da separação e purificação de óxidos de TRs. Com base nesses conteúdos e em total alinhamento com o *roadmap* estratégico traçado para a cadeia produtiva de TRs como um todo, definem-se a visão de futuro para a cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs e os objetivos estratégicos para alcançar tal visão, tendo em vista o horizonte 2030.

8.1. Importância estratégica da aplicação para o país

A forma mais comum das ligas de cério com outras TRs é constituída por 50% de Ce, 25% de La, 18% de Nd, 5% de Pr e 2% de outras TRs. Esse tipo de liga é produzido em quantidades da ordem da tonelada, pela eletrólise de sais fundidos (uma mistura de cloretos anidros de TRs extraídos da monazita e da bastnazita).

Pequenas adições dessas ligas aumentam a maleabilidade do ferro, a resistência mecânica a elevadas temperaturas do alumínio e de ligas de magnésio, melhoram a resistência à oxidação do níquel e ainda a dureza do cobre, diminuindo também a condutividade elétrica deste último.

Uma mistura de 30% de ferro com 70% da liga de cério constitui o chamado *mischmetal*. Seu ponto de fusão não é muito definido, mas é na faixa de 800°C. É um redutor forte comparável ao magnésio, reage com água quente e também forma oxissulfetos quando exposto ao ar. A primeira aplicação do *mischmetal* foi na produção de pedras para isqueiro, patenteada em 1903, em função da alta quantidade de cério pirofórico.

⁴⁵ Este Capítulo foi elaborado por Fernando Landgraf e Paulo Antonio Pereira Wendhausen.



Esse material metálico queima rapidamente numa forma finamente dividida quando é raspado; fragmentos removidos da superfície serão suficientemente aquecidos para incendiar o gás inflamável. Esse princípio foi usado mais tarde para os isqueiros de charutos e, atualmente, para os isqueiros a gás mais modernos, conforme ilustrado na Figura 44.

Uma das maiores aplicações do *mischmetal* é na metalurgia. Por exemplo, quando adicionadas a ligas de magnésio, estas passam a ter propriedades mecânicas superiores. Ligas desse tipo são utilizadas em componentes aeronáuticos, em motores de aviões a jato e em componentes de cápsulas espaciais e satélites, operando a temperaturas superiores a 200°C.

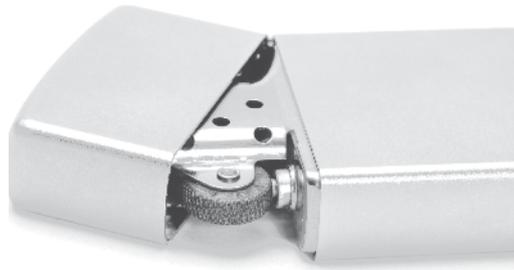


Figura 44. Aplicação de *mischmetal* em isqueiros

Pequenas quantidades de *mischmetal* adicionadas ao ferro fundido acarretam melhora na qualidade da liga. Com isso, esse material passa a ter melhor resistência ao choque, maior resistência mecânica e ductilidade. O ferro fundido obtido nessas condições é usado na fabricação de tubos de pressão e componentes automobilísticos. No entanto, o maior uso do *mischmetal* é como aditivo para tratamento do aço. Sua adição ao aço elimina impurezas de enxofre e oxigênio por causa da alta afinidade dos lantanídeos por esse elemento. O maior uso desse aço é na fabricação de chapas e em encanamentos para gases e óleos.

8.2. Cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

A Figura 45 representa esquematicamente a cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs, destacando-se, para fins do estudo prospectivo, a etapa de redução e obtenção da liga propriamente dita, uma vez que as anteriores são comuns a todas as cadeias que serão focalizadas no estudo prospectivo.

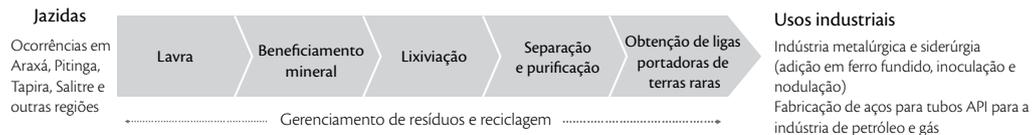


Figura 45. Cadeia produtiva de ligas metálicas de terras raras

8.3. Principais usos industriais de ligas metálicas portadoras de terras raras

O Quadro 31 sintetiza os usos de ligas metálicas de TRs e, para cada uso, descreve a funcionalidade habilitadora dessas ligas e os elementos TRs requeridos na sua fabricação.

Quadro 31. Usos industriais de ligas metálicas portadoras de terras raras

Uso industrial	Funcionalidade habilitadora das ligas metálicas	Elementos TRs requeridos
Indústria aeroespacial, geração de energia nuclear, indústria metalúrgica e siderúrgica, fabricação e operação de satélites, linhas de transmissão de energia, sistemas de refrigeração magnética, dentre outros.	Modificação de propriedades físicas e químicas para melhoria de desempenho e ampliação do espectro de usos industriais de ligas metálicas.	Ce – outras terras raras.



8.4. Competência atual associada à cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

Na Figura 46, identificam-se as atuais competências brasileiras nos processos produtivos, associadas à cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs. Destacam-se, no esquema a seguir, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs.



Figura 46. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

8.5. Visão de futuro e objetivos estratégicos: horizonte 2030

A exemplo da cadeia produtiva de TRs, definiram-se para a cadeia de ligas portadoras de TRs a visão de futuro para 2030 e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão, expressos de acordo com as dimensões de análise do presente estudo.

A partir dessa visão, buscou-se elencar um conjunto de objetivos que deverão orientar estrategicamente o desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil, visando alcançar a visão no horizonte considerado.

Quadro 32. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
ME – Mercado de ligas portadoras de TRs para a fabricação de aços e ferros fundidos	O Brasil tem uma grande produção de aços e ferros fundidos. Parte desses produtos utiliza TRs durante o processamento para: desoxidação, nodulização e inoculação. Sabe-se que outros elementos químicos são capazes de produzir o mesmo efeito nas ligas metálicas, como Ca e Mg. A utilização destes está diretamente relacionada aos preços dos elementos TRs (se competitivos ou não).	Fomentar a fabricação de ligas portadoras de TRs como fator alavancador de escala (em nível global, representa a segunda maior aplicação de TRs).	<p>Mercado interno plenamente abastecido por fornecedores nacionais e abertura de mercado para exportação.</p> <p>A queda nos preços de elementos TRs utilizados como insumos para essas aplicações tornam a fabricação de ligas metálicas portadoras de TRs cada vez mais competitiva, quando comparada com a fabricação de ligas contendo outros elementos químicos (Ca e Mg).</p>
RP – Reservas e produção de TRs no Brasil	A INB e a IEN desenvolveram projetos piloto para produção de TRs, mas que foram interrompidos no final da década de 1990 em função dos baixos preços praticados pela China. Atualmente, pelo menos duas mineradoras brasileiras anunciaram projetos para a exploração e produção de TRs. Há registros de ocorrências de TRs em Araxá, Catalão e Pitinga, Tapira, Salitre e em outras regiões. No entanto, ainda não há informações específicas (confiáveis) sobre reservas (recursos economicamente exploráveis). Sabe-se que, no Brasil, existem fontes de TRs em rejeitos de mineradoras e que podem ser aproveitados como matérias-primas potenciais.	<p>Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de ligas portadoras de TRs para a indústria brasileira. Fontes de matéria-prima potenciais seriam, por exemplo, a monazita estocada na INB e os rejeitos de Catalão/ Fosfertil e Araxá.</p> <p>Viabilizar novas fontes de exploração de TRs.</p> <p>Colocar o Brasil como grande <i>player</i> na exploração de ETRs.</p>	<p>Reservas minerais de TRs conhecidas e bem definidas.</p> <p>A disponibilidade de TRs no país é satisfatoriamente conhecida, e a produção é realizada de maneira rentável e sustentável, atendendo à demanda nacional de uso de ligas metálicas portadoras de TRs. Inserção competitiva em mercados externos. Estimativa numérica: 90.000 t/ano.</p>
PO – Política nacional para TRs: foco na cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs	Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal: ENCTI 2012-2015, PBM-2012 2014, PAC CPRM 2010-2014 e PNM-2030.	Criar incentivos fiscais para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs.	<p>Continuidade das políticas públicas voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs, revisadas em função das prioridades estratégicas do país e dos avanços tecnológicos alcançados.</p> <p>Integração a montante da produção industrial de ligas portadoras de TRs para aplicações nas indústrias metalúrgica e siderúrgica.</p>
MR – Marco regulatório: foco na cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs	Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor.	Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.	Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável.



Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
INV – Investimentos na cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs	Na década de 1990, havia produção de ligas portadoras de TRs (mischmetal) no Brasil. Essa produção foi descontinuada em 1996 devido aos baixos preços praticados por empresas chinesas. Não há, atualmente, nenhum investimento específico em pesquisa e inovação nessa área em função da total dependência desse insumo. Há, tanto no setor siderúrgico quanto no metalúrgico, demanda para ligas portadoras de TRs.	Identificar necessidades junto aos setores metalúrgico e siderúrgico.	Investimentos consolidados em função do aumento de demanda provocado pelos setores metalúrgico e siderúrgico.
INF – Infraestrutura física para a cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs	Não há infraestrutura específica tanto para a PD&I quanto para a produção industrial. Por outro lado, no Brasil, o processo básico de eletrólise ígnea é amplamente utilizado para outros fins, como a produção de alumínio e manganês. Verificar outras infraestruturas análogas.	Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios de PD&I, com foco em produção. Implementar programas de PD&I com apoio a projetos cooperativos ICT/empresa, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs.	Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICTs e empresas. Cadeia produtiva estruturada atendendo o mercado nacional e a exportação.
RH – Recursos humanos para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia produtiva de ligas metálicas	Existência de especialistas em pesquisas envolvendo a eletrólise ígnea, processo básico para obtenção de ligas portadoras de TRs.	Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva.	Cadeia de TRs estruturada, tendo como mercado complementar da cadeia o uso das TRs para fabricação de ferro fundido e aço.
TE – Tecnologias para a cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs	Associado à disponibilidade de TRs no Brasil e aos anúncios recentes de projetos nesta área, por mineradoras brasileiras, emerge um cenário adequado para parcerias de desenvolvimento tecnológico da cadeia como um todo.	Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com know-how próprio, registro de propriedade intelectual, voltado para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs.	Domínio tecnológico completo da cadeia produtiva de ligas e empresas instaladas no Brasil produzindo e consumindo ligas portadoras de TRs. Novos produtos especialmente desenvolvidos com tecnologia própria, integrando processos, produtos e aplicação.

9. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de fósforos de terras raras no Brasil: 2012-2030⁴⁶

Neste Capítulo, descrevem-se os usos industriais de fósforos de TRs e caracteriza-se a cadeia produtiva dessa aplicação, indicando-se o estágio atual de competência brasileira em todas as suas etapas, com ênfase nas etapas a partir da separação e purificação de óxidos de TRs. Em total alinhamento com o *roadmap* estratégico traçado para a cadeia produtiva de TRs como um todo e com base nesses conteúdos, apresentam-se a visão de futuro para a cadeia produtiva de fósforos de TRs e os objetivos estratégicos para alcançar a visão no horizonte 2030.

9.1. Importância estratégica da aplicação para o país

As aplicações baseadas na luminescência dos íons TRs têm alcançado uma posição importante na sociedade moderna. Por exemplo, os fósforos de TRs são usados em iluminação, *lasers*, fibras ópticas, tubos de raios catódicos, diagnósticos de raios-X, detecção de radiação (raios-X e de elétrons), dentre outros.

Atualmente, observa-se um crescente interesse no desenvolvimento de dispositivos eletroluminescentes (EL) orgânicos e inorgânicos utilizando íons TRs como centros emissores, visando a suas aplicações em telas planas e iluminação. Destacam-se os compostos contendo íons TRs altamente luminescentes para a produção dos chamados dispositivos moleculares conversores de luz (DMCL). Esses complexos têm apresentado alto rendimento quântico, tornando-se promissores na aplicação como marcadores ópticos e fluoroimunoensaios. Outra importante aplicação refere-se à utilização de compostos baseados em íons de TRs em dispositivos orgânicos emissores de luz (*organic light emitting devices* – OLEDs) utilizados em telas planas de nova geração, sensores e principalmente iluminação.

Compostos altamente luminescentes também estão sendo desenvolvidos para possível aplicação como marcadores ópticos em cédulas brasileiras (para a Casa da Moeda do Brasil).

⁴⁶ Este Capítulo foi elaborado por Marco Cremona.



Resina epóxi, componente de alto percentual nas formulações de tinta em pó, vem sendo preparada com vários complexos dicetonatos de TR^{3+} (Eu^{3+} , Gd^{3+} ou Tb^{3+}) e investigadas através de espectroscopia fotoluminescentes. Adicionalmente, nanomateriais contendo íons TRs vêm sendo preparados pelos métodos de combustão, Pechini, sol-gel, polimerização, para citar alguns, utilizando diferentes matrizes orgânicas e inorgânicas (tungstatos, aluminatos, dentre outros) e à obtenção de materiais luminescentes que apresentem persistência luminosa por um longo período de tempo (~10 h) depois de cessar a excitação (UV, luz do dia, etc.).

A iluminação elétrica de estado sólido é uma das tecnologias mais promissoras que emergiu nas últimas décadas. Esse tipo de iluminação envolve a emissão direta de luz de um material inorgânico ou orgânico em vez das fontes térmicas convencionais (como as lâmpadas a incandescência) e pode reduzir em até 50% o consumo de eletricidade utilizada para iluminação. A utilização de compostos baseados em TRs (geralmente chamados de fósforos) é de extrema importância nesse tipo de aplicação devido à possibilidade de produzir luz com diversas tonalidades e cores puras, sendo o caso mais comum a luz branca. Considerando os diversos itens da cadeia produtiva de fósforos de TRs, esse último tipo de aplicação reveste-se de importância estratégica, principalmente no que diz respeito à política de conservação de energia do Brasil, considerando a possibilidade de utilização de lâmpadas e sistemas de iluminação e sinalização mais econômicos.

9.2. Principais usos industriais de fósforos de terras raras e ciclo de vida dos produtos

O Quadro 33 sintetiza os usos de fósforos e, para cada uso, descreve a funcionalidade habilitadora da aplicação e os elementos TRs requeridos na sua fabricação.

Quadro 33. Usos industriais de fósforos de terras raras

Uso industrial	Funcionalidade habilitadora dos fósforos	Elementos TRs requeridos
Lâmpadas fluorescentes compactas e lineares, LEDs, OLEDs, dentre outros itens de iluminação	Redução no consumo de energia, com melhoria das características de cor e brilho.	Y, Eu, Tb, Tm, Sm
Dispositivos pessoais móveis sem fio	<i>Displays</i> em telas planas.	Y, Eu, Tb, Gd, Ce, Tm, Sm
Telas planas de TV e <i>displays</i>	Fósforos de TRs (excitados por UV em baixa pressão) proporcionam cores brilhantes – vermelha, verde e azul – em grandes telas planas.	Y, Eu, Tb, Gd, Pr, Ce, Tm, Sm
Detectores de raios X e raios gama	Captura de luz de cintilação e sistemas de detecção.	Y, Eu, Tb, La, Ce, Tm
Sinalização	Possibilidade de obter dispositivos com persistência luminosa por longos períodos de tempo.	Y, Eu, Tb, Gd, Ce, Tm, Nd, Yb, Sm

O Quadro 34 indica o grau de maturidade em nível mundial dos produtos que utilizam fósforos de TRs, de acordo com o conceito de ciclo de vida do produto.

Quadro 34. Grau de maturidade dos produtos que utilizam fósforos de terras raras

Usos industriais de [título da aplicação]	Fase do ciclo de vida dos produtos [nível mundial]			
	Introdução	Crescimento	Maturidade	Declínio
Lâmpadas fluorescentes compactas e lineares, LEDs, OLEDs, dentre outros itens de iluminação		x	x	
Dispositivos pessoais móveis sem fio		x		
Telas planas de TVs e <i>displays</i>		x	x	
Detectores de raios X e raios gama		x		
Sinalização	x			

9.3. Cadeia produtiva de fósforos de terras raras

A Figura 47 representa esquematicamente a cadeia produtiva de fósforos, destacando-se, para fins do estudo prospectivo, as etapas a jusante, uma vez que as etapas a montante são comuns a todas as cadeias focalizadas no estudo prospectivo.

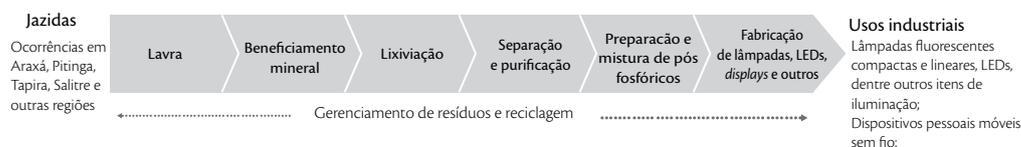


Figura 47. Cadeia produtiva de fósforos de terras raras

Apresentam-se, a seguir, os resultados do levantamento de patentes referentes à preparação e mistura de pós-fosfóricos, suas propriedades e funcionalidades. Esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, considerando-se o período de 1981 a 2011 e adotando-se a estratégia de busca mostrada na Tabela 21.

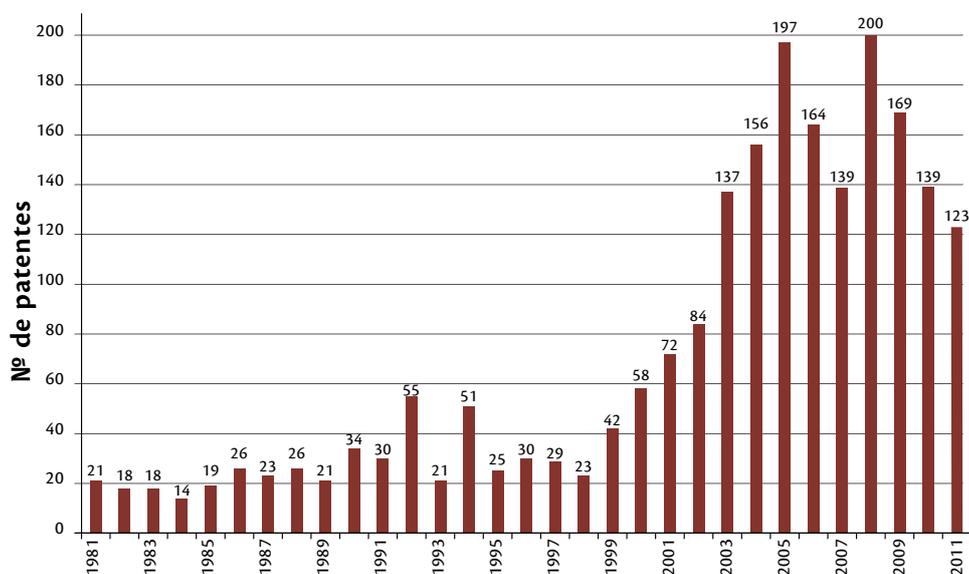
Tabela 21. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a fósforos contendo terras raras

Referência	Busca	Resultados
#14	#13 OR #12 OR #11 OR #10 OR #9 OR #8	2.164
#13	#1 AND #7	480
#12	#1 AND #6	618
#11	#1 AND #5	575
#10	#1 AND #4	80
#9	#1 AND #3	588
#8	#1 AND #2	255
#7	IP=C09K-011/00	3.551
#6	TS=fluorescence	38.843
#5	TS=luminescence	17.553
#4	TS=photoluminescence	1.688
#3	TS="light emission"	47.574
#2	TS=phosphors	2.730
#1	TS="rare earth"	51.448

Fonte: Estratégia de busca na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Como pode ser observado na Tabela 21, identificaram-se 2.164 patentes (#14) que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado a seguir.

A Figura 48 mostra a evolução das patentes referentes a fósforos durante o período de 1981 a 2011.



Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Figura 48. Evolução das patentes referentes a fósforos contendo terras raras

Na sequência, a Tabela 22 mostra os principais depositantes (critério *top 30*), de um total de 1.916 proprietários, conforme indicação da base consultada.

Conforme pode ser observado na Tabela 22, dentre as 30 principais empresas e instituições que depositaram as patentes sobre fósforos de TRs, predominam empresas japonesas como a Fuji Photo Film Co Ltd, Toshiba KK e Hitachi Ltd, para citar alguns exemplos. No entanto, identificaram-se empresas europeias, como a Rhodia Operations e a Merck Patent GmbH, e americanas, como a General Electric Co.

As empresas que lideram esse *ranking* são: Fuji Photo Film Co Ltd, Toshiba KK, Konica Corp, Nichia Kagaku Kogyo KK e Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So, na faixa superior de 101 a 45 patentes.



Em um segundo patamar, de 40 a 20 patentes, situam-se as seguintes empresas e instituições: General Electric Co, Kasei Optonix Ltd, Konica Minolta Mg KK, Mitsubishi Chem Corp, Japan Sci&Technology Agency, Sharp KK, Fuji Film Corp, Hitachi Ltd, Hitachi Chem Co Ltd, Dainippon Printing Co Ltd e Matsushita Denki Sangyo KK. Os demais proprietários possuem patentes em número inferior a 20, conforme as informações da Tabela 22.

Tabela 22. Depositantes de patentes referentes a fósforos contendo terras raras: 1981-2011

Proprietário	Nº de patentes
Fuji Photo Film Co Ltd	101
Toshiba KK	63
Konica Corp	49
Nichia Kagaku Kogyo KK	46
Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So	45
General Electric Co	37
Kasei Optonix Ltd	35
Konica Minolta Mg KK	34
Mitsubishi Chem Corp	28
Japan Sci&Technology Agency	26
Sharp KK	24
Fuji Film Corp	23
Hitachi Ltd	23
Hitachi Chem Co Ltd	22
Dainippon Printing Co Ltd	21
Matsushita Denki Sangyo KK	20
Cis Bio Int	19
Idemitsu Kosan Co Ltd	19
Merck Patent Gmbh	17
Sony Corp	17
Konica Minolta Medical & Graphic Inc	16
Nat Inst Advanced Ind Sci & Technology	16
Dokuritsu Gyosei Hojin Busshitsu Zairyo	15
Ifire Technology Corp	15
TDK Corp	15
Cis Bio Int SA	14
Ifire IP Corp	14
Konink Philips Electronics NV	14
Rhodia Operations	14
Shinetsu Chem Ind Co Ltd	14

Na sequência, a Tabela 23 mostra os resultados da análise das 2.164 patentes, classificadas segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP), em um total de 2.613 códigos da ICP.

Tabela 23. Patentes referentes a fósforos de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério *top 10*)

Classe ICP	Nº de patentes	%
C09K-011/08	546	25,2
C09K-011/00	480	22,2
C09K-011/77	439	20,3
H01L-033/00	235	10,9
C09K-011/78	224	10,4
C09K-011/64	222	10,3
C09K-011/06	217	10,0
H05B-033/14	211	9,7
G21K-004/00	201	9,3
C09K-011/61	173	8,0

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Na análise das patentes por código da ICP, constatou-se predominância da classe C09K-011 – Matérias luminescentes, por ex., eletroluminescentes, quimiluminescentes, incluindo as subclasses C09K-011/08 – Matérias luminescentes, contendo matérias inorgânicas luminescentes; C09K-011/00 – Matérias luminescentes, por ex., eletroluminescentes, quimiluminescentes; C09K-011/77 – Matérias luminescentes, contendo metais ou terras raras; C09K-011/78 – Matérias luminescentes, contendo oxigênio; C09K-011/64 – Matérias luminescentes, contendo alumínio; C09K-011/06 – Matérias luminescentes, contendo matérias orgânicas luminescentes e C09K-011/61 – Matérias luminescentes, contendo flúor, cloro, bromo, iodo ou elementos halogenados não especificados.

As demais subclasses são: H01L-033/00 – Dispositivos semicondutores com pelo menos uma barreira de potencial ou barreira de superfície especialmente adaptados para a emissão de luz, por ex., infravermelho; processos ou aparelhos especialmente adaptados para a fabricação ou tratamento do mesmo ou de suas partes integrantes; detalhes dos mesmos; H05B-033/14 – Fontes de luz com superfícies de radiação essencialmente bidimensionais caracterizadas pela composição química ou física ou pela disposição do material eletroluminescente e G21K-004/00 – Telas conversoras para



conversão da distribuição espacial de raios-X ou radiação de partículas em imagens visíveis, como, por ex., telas fluoroscópicas.

A Tabela 24 apresenta o conjunto de 2.164 patentes classificadas por área de conhecimento, adotando-se o critério *top 10*. No total, identificaram-se 24 áreas, com destaque para a área de Química e Engenharia, com 93,7% e 87,3% das patentes, respectivamente.

Tabela 24. Patentes referentes a fósforos contendo terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: *top 10*)

Áreas	Nº de patentes	%
Química	2.028	93,7
Engenharia	1.890	87,3
Instrumentação	1.753	81,0
Ciência da Imagem e Tecnologia Fotográfica	427	19,7
Ciência dos Polímeros	391	18,1
Ciência e Tecnologia Nuclear	220	10,2
Farmacologia e Farmácia	215	9,9
Medicina Geral e Interna	157	7,3
Biotecnologia e Microbiologia Aplicada	144	6,7
Ótica	140	6,5

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Analisando-se as informações sobre as áreas de conhecimento segundo as quais as patentes sobre fósforos contendo TRs foram classificadas pela Derwent Innovations Index, observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente às áreas de Química, Engenharia e Instrumentação, com, respectivamente, 93,7%, 87,3% e 81% do total de patentes. Nesse *ranking*, as demais áreas apresentam indicadores inferiores a 20% do total de patentes classificadas segundo o sistema da base de dados. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Como recomendado nas seções anteriores, em função da importância estratégica da cadeia produtiva de fósforos para o país, deverá ser conduzida uma análise posterior por parte dos especialistas do setor no sentido de identificar e analisar as patentes cujos prazos estão em vias de expirar. Atenção especial deverá ser dada às patentes de 1992 (55 patentes), de 1993 (21 patentes) e de 1994 (51 patentes).

9.4. Competência atual associada à cadeia produtiva de fósforos de terras raras

Na Figura 49, identificam-se as atuais competências brasileiras nos processos produtivos, associadas à cadeia produtiva de fósforos de TRs. Destacam-se, nessa figura, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção a serem considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de fósforos de TRs.

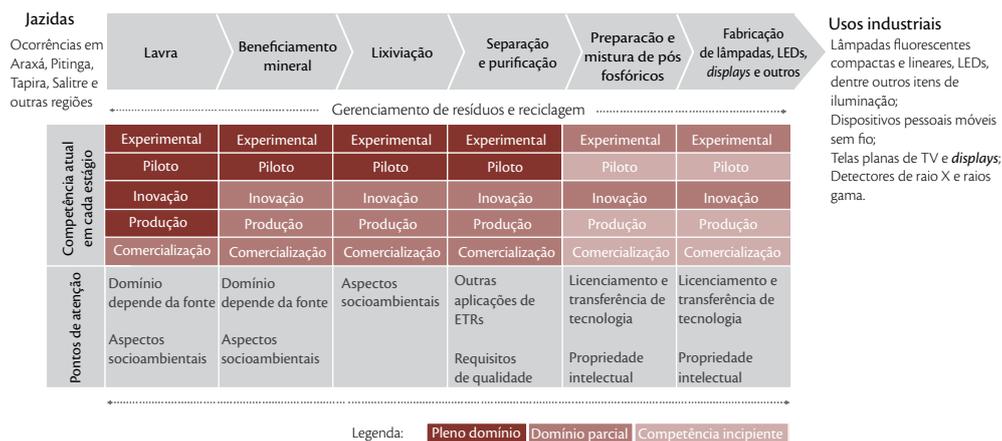


Figura 49. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de fósforos de terras raras

Com base nos resultados da pesquisa realizada diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, e no Portal Inovação, foi possível identificar 29 grupos que, no momento, desenvolvem um total de 67 linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de fósforos de TRs. Desses grupos, foram totalizados 165 pesquisadores, sendo que vários especialistas atuam em mais de um grupo de pesquisa.

**Tabela 25.** Principais grupos de pesquisa associados à cadeia produtiva de fósforos de terras raras no Brasil

Grupo de pesquisa	Instituição	Linhas de pesquisa	Nº de pesquisadores*
Grupo de Materiais Nanoestruturados Funcionais	Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de supermoléculas e nanomateriais luminescentes para biodiagnóstico e diagnóstico ambiental 	6
Química Supramolecular e Nanotecnologia de Elementos F	Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN	<ul style="list-style-type: none"> Caracterização de novos materiais poliméricos contendo íons de TRs Materiais com persistência luminescente Nanopartículas magnéticas luminescentes para aplicações biológicas Química de separação e reconhecimento molecular de elementos F Síntese de supermoléculas de elementos F e suas aplicações 	12
Materiais Luminescentes	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp	<ul style="list-style-type: none"> Química de coordenação de TRs Espectroscopia eletrônica de compostos de coordenação: TRs e metais da primeira série de transição Propriedades ópticas de precursores e de materiais 	5
Defeitos em Semicondutores e Dielétricos	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp	<ul style="list-style-type: none"> Semicondutores dopados com TRs obtidos por evaporação Semicondutores óxidos dopados com TRs 	4
Grupo de Compósitos e Cerâmicas Funcionais	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp	<ul style="list-style-type: none"> Nanomarcadores e sondas luminescentes Investigação de nanomateriais luminescentes contendo íons TRs para aplicação em marcação biológica, como onda estrutural e sensores químicos 	2
Luminescência de Materiais e Sensores	Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp	<ul style="list-style-type: none"> Complexos de lantanídeos Complexos de metais de transição Compostos intermetálicos supermoleculares Síntese e estudo de compostos intermetálicos de metais de transição e lantanídeos Materiais luminescentes contendo lantanídeos 	2
Desenvolvimento de Materiais Avançados a Nível Molecular	Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	<ul style="list-style-type: none"> Síntese de novos marcadores luminescentes Síntese de novas MOFs (<i>Metal Organic Frameworks</i>) 	10
Grupo de Arquitetura de Nanodispositivos Fotônicos	Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	<ul style="list-style-type: none"> compostos de coordenação com lantanídeos Desenvolvimento de nanodispositivos fotônicos e optoeletrônicos 	8
Elementos do Bloco-F	Universidade de São Paulo – USP	<ul style="list-style-type: none"> Dispositivos eletroluminescentes à base de TRs (em colaboração com o LOEM da PUC-Rio) Espectroscopia de TRs Fotoluminescentes de TRs Polímeros luminescentes à base TRs 	7
Estrutura e Função de Materiais Ópticos	Universidade de São Paulo – USP	<ul style="list-style-type: none"> Materiais híbridos luminescentes baseados em complexos de metais de transição e lantanídeos Síntese e caracterização de materiais fotônicos micro- e mesoporosos Estudos espectroscópicos de sólidos com propriedades ópticas e magnéticas 	2
Laboratório de TRs	Universidade de São Paulo – USP	<ul style="list-style-type: none"> Terras raras: materiais luminescentes contendo TRs. Síntese, caracterização, propriedades e aplicações 	4

Grupo de pesquisa	Instituição	Linhas de pesquisa	Nº de pesquisadores*
Grupo de Preparação e Caracterização de Materiais	Universidade Federal de Sergipe – UFS	<ul style="list-style-type: none"> Propriedades ópticas de materiais 	11
Compostos Inorgânicos e Organometálicos das TRs	Universidade Federal de São Carlos – UFSCar	<ul style="list-style-type: none"> Compostos inorgânicos e organometálicos das TRs Compostos luminescentes das TRs 	2
Complexos Inorgânicos com Íons Lantanídeos (III)	Universidade Federal do Espírito Santo – UFES	<ul style="list-style-type: none"> Complexos inorgânicos com íons lantanídeos (III) 	2
Grupo de Espectroscopia Óptica e Optoeletrônica Molecular (LOEM)	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio	<ul style="list-style-type: none"> Dispositivos eletroluminescentes orgânicos (OLEDs) Espectroscopia e caracterização óptica de materiais Produção e caracterização de filmes de óxidos condutores Produção e caracterização de filmes finos para diodos eletroluminescentes Produção e caracterização de filmes finos para guias de onda 	8
Grupo de Tecnologias Nucleares Aplicadas	Instituto Federal de Sergipe – IFS	<ul style="list-style-type: none"> Arqueometria Caracterização de materiais cerâmicos 	4
Espalhamento de Luz e Medidas Elétricas	Universidade Federal do Ceará – UFC	<ul style="list-style-type: none"> Propriedades luminescentes de íons TRs em matrizes amorfas e cristalinas 	3
Química de Superfície e Moléculas Bioativas	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul	<ul style="list-style-type: none"> Materiais mesoporosos à base de sistemas de surfactantes estruturados 	2
Óptica Biomédica	Universidade Federal de São Paulo – Unifesp	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de moléculas luminescentes para a aplicação em fluoróforos e filmes eletroluminescentes Fluorimetria óptica Fluorimetria resolvida no tempo 	2
Laboratório de Materiais Funcionais – LMF	Universidade Estadual de Campinas – Unicamp	<ul style="list-style-type: none"> Materiais luminescentes Materiais para fotônica Sistemas inorgânicos multicomponentes nanoestruturados hierarquicamente com propriedades magnéticas, luminescentes e catalíticas 	3
Estudo e Desenvolvimento de Materiais	Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul	<ul style="list-style-type: none"> Síntese e caracterização de materiais luminescentes 	3
Termoquímica de Materiais	Universidade Federal de Campina Grande – UFCG	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de vidros luminescentes pelo processo sol-gel Síntese e caracterização de nanocomplexos lantanídicos Desenvolvimento e caracterização térmica e espectroscópica de lentes oftálmicas 	8
Grupo de Materiais Fotônicos	Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de marcadores ópticos luminescentes Dispositivos moleculares para produção de ensaios clínicos 	6
Grupo de Fotônica	Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE	<ul style="list-style-type: none"> Espectroscopia de íons TRs em vidros especiais Vidros especiais com aplicações potenciais em dispositivos fotônicos 	3



Grupo de pesquisa	Instituição	Linhas de pesquisa	Nº de pesquisadores*
Sol-Gel	Universidade de Franca – Unifran	TRs; cério III; európio III; <i>lasers</i> ; luminescência; térbio III; vias de onda Sol-gel Síntese e caracterização de nanomateriais com aplicações tecnológicas luminescentes	8
Química e Recursos Renováveis	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	Luminescência de compostos orgânicos e inorgânicos com lantanídeos	3
Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores – LNMIS	Universidade Federal de Uberlândia – UFU	Dispositivos fotônicos planares (MEMS) – Espectroscopia em meios amorfos dopados com íons TRs – Medidas de não linearidades em materiais dopados com TRs – numéricos de dispositivos fotônicos – Óptica não linear – Propriedades de transporte Crescimento de cristais dopados com metais de transição e TRs via solução aquosa Luminescência e efeitos cooperativos em íons TRs; Propriedades óticas não lineares e fototérmicas – Novos materiais; Espectroscopia fototérmica – Espectroscopia óptica não linear Sínteses e estudo das propriedades óticas e estruturais de vidros nanoestruturados dopados com TRs	6
Laboratório de Dispositivos Orgânicos (LADOR)	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro	Fabricação, caracterização e metrologia de dispositivos eletroluminescentes orgânicos (OLEDs)	5
Metrologia de Materiais e Nanotecnologia	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro	Metrologia em difração e espectroscopia óptica	24
29 grupos	21 instituições	67 linhas de pesquisa	165 especialistas*

Nota: (*) Vários especialistas atuam em mais de um grupo de pesquisa.

9.5. Visão de futuro e objetivos estratégicos: horizonte 2030

No Brasil, existem muitas empresas “montadoras” de lâmpadas, LEDs, dentre outros usos industriais de fósforos de TRs. O que se precisa fomentar no país são investimentos para que se desenvolvam empresas de base tecnológica para a produção de novos produtos *made in Brazil*. Essa estratégia precisa ser conduzida por meio de incentivos governamentais para as empresas nacionais que queiram investir nessas tecnologias e colocar “vínculos” para empresas estrangeiras para que não utilizem o Brasil somente como uma extensão do mercado, mas que façam investimentos na geração de novas tecnologias e inovações.

Partindo desses pressupostos, definiram-se a visão de futuro (2030) para a cadeia de fósforos e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão.

Visão de futuro da cadeia produtiva de fósforos no Brasil: horizonte 2030

Desenvolvimento de empresas de base tecnológica para a geração de novos produtos “made in Brazil” que utilizam fósforos de TRs, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade e integração a montante da fabricação de fósforos de TRs a partir de fontes de origem nacional.

A partir da visão de futuro para essa cadeia, foi possível estabelecer um conjunto de objetivos que deverão orientar estrategicamente seu desenvolvimento no Brasil no horizonte considerado (Quadro 35).

Quadro 35. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de fósforos

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
ME – Mercado de aplicações de fósforos de TRs	Empresas fabricantes de lâmpadas e de outras aplicações hoje instaladas no país importam fósforos de TRs. Potencial de desenvolvimento de empresas de base tecnológica para a geração de novos produtos “made in Brazil”.	Viabilizar o mercado de fósforos de TRs.	Disponibilidade nacional de fósforos de TRs com qualidade e preços competitivos no mercado nacional e internacional.
RP – Reservas e produção de TRs no Brasil: foco nos elementos de TRs e precursores da cadeia de fósforos	Não há produção de matérias-primas nem de precursores.	Dimensionar reservas para viabilizar produção dos elementos de TRs como marco inicial do desenvolvimento da cadeia.	Reservas conhecidas e definidas com excedentes para exportação.
PO – Política nacional para TRs: foco na cadeia de fósforos	Priorização dos minerais estratégicos nas Políticas do Governo Federal: ENCTI 2012-2015, PBM-2012-2014, PAC CPRM 2010-2014 e PNM-2030.	Promover políticas públicas de incentivo industrial e de CT&I voltadas para a fabricação de fósforos de TRs.	Continuidade das políticas de incentivo industrial e de CT&I voltadas para a fabricação de fósforos de TRs.
MR – Marco regulatório: foco na cadeia de fósforos	Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor. Restrições na produção de TRs decorrentes da sua associação a radionuclídeos.	Explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Marco Regulatório Mineral. Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.	Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável. Equacionadas as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.
INV – Investimentos na cadeia de fósforos	Investimentos iniciais na produção de TRs no Brasil sem foco específico na produção de TRs para cadeia de fósforos.	Criar incentivos para investimentos na produção local e/ou atração de empresas para produção de fósforos de TRs.	Consolidação da cadeia para produção de fósforos de TRs.



Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
INF – Infraestrutura física para o desenvolvimento da cadeia de fósforos	Estrutura incipiente. Disponível somente em laboratórios e centros de pesquisa. Produtos comerciais são 'montados' embalados e distribuídos no Brasil.	Ampliar e consolidar a infraestrutura de laboratórios e unidades de pesquisa. Incentivar a implantação de instalações industriais de acordo com as melhores tecnologias disponíveis.	Infraestrutura consolidada para a produção de fósforos de TRs. Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICTs e empresas para pesquisa em fósforos de TRs.
RH – Recursos humanos para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia de fósforos	Existência de ICT, grupos de pesquisa e instituições acadêmicas com competência. Potencial para criação de empresas de base tecnológica, principalmente a jusante.	Capacitar recursos humanos para subsidiar o desenvolvimento e inovações a jusante e a montante da cadeia de fósforos.	Contínuo aperfeiçoamento de mão de obra qualificada. Competência tecnológica para desenvolver e inovar no que tange à produção de fósforos de TRs.
TE – Tecnologias para a cadeia produtiva de fósforo	Associado à disponibilidade de TRs no Brasil e anúncios recentes de projetos nesta área, por mineradoras brasileiras, emerge um cenário adequado para parcerias de desenvolvimento tecnológico da cadeia como um todo.	Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com <i>know-how</i> próprio, registro de propriedade intelectual, voltado para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de fósforo	Domínio tecnológico completo da cadeia produtiva de fósforo e empresas instaladas no Brasil gerando e consumindo os produtos dessa cadeia. Novos produtos especialmente desenvolvidos com tecnologia própria, integrando processos, produtos e aplicação.

10. Direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais no Brasil: 2012-2030⁴⁷

Este Capítulo descreve os principais usos de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes. Em seguida, caracteriza a cadeia produtiva dessa aplicação. No esquema gráfico da cadeia produtiva, indica-se o estágio atual de competência em todas as etapas, com ênfase na etapa de separação e purificação de óxidos de TRs. Finalmente, apresenta a visão de futuro para a cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros, bem como os objetivos estratégicos para alcançar a visão em alinhamento aos direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs (Capítulo 5).

10.1. Importância estratégica da aplicação para o país

Os pós para polimento óptico de alta precisão são à base de óxido de cério, e suas propriedades são superiores ao óxido de ferro tradicionalmente usado nesse processo.

Como todos os vidros, com exceção daqueles de alta qualidade óptica, contém ferro e este absorve luz, dando uma coloração verde intensa ao vidro, então, adiciona-se óxido de cério com a finalidade de oxidar Fe(II) a Fe(III). Desse modo, o vidro que inicialmente tinha coloração verde passa a ter uma coloração amarela azulada. Para neutralizar esse tom resultante, utiliza-se um corante de cor complementar como, por exemplo, o óxido de neodímio. Na coloração de vidro, a mistura Ce/Ti é utilizada para dar a coloração amarela; Nd/Se ou Er para coloração rósea, Nd para a coloração azul-violeta e Pr para a cor verde.

Devido ao fato de o íon cério absorver fortemente na região do ultravioleta, é também utilizado na fabricação de lentes oftálmicas especiais para uso solar e na fabricação de recipientes de vidro que absorvem a radiação ultravioleta para serem usados, por exemplo, para armazenar alimentos que são afetados pela luz. Uma mistura Eu/Ce é utilizada na fabricação de óculos escuros.

⁴⁷ Este Capítulo foi elaborado por Marisa Nascimento, Paulo Sergio Moreira Soares, Ronaldo Luiz Correa dos Santos, Fernando Antonio Lins e Ivan Masson.



Em vidros de alta qualidade óptica, adiciona-se óxido de lantânio de alta pureza. Vidros desse tipo são usados na fabricação de lentes de precisão. Devido ao seu elevado índice de refração, as lentes feitas com esse material têm espessura menor que lentes equivalentes feitas com vidro óptico comum. Os vidros contendo neodímio e praseodímio, de alta pureza, têm aplicação como filtros especiais para calibração de instrumentos ópticos, pois esses íons têm bandas de absorção estreitas.

A mistura de óxido de neodímio e praseodímio é usada na fabricação de óculos de proteção para uso em trabalhos de fusão e soldagem, devido à capacidade desses elementos de absorver a luz amarela do sódio.

10.2. Principais usos industriais de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes

O Quadro 36 sintetiza os usos de pós para polimentos à base de TRs e fabricação de vidros e lentes especiais, descrevendo a funcionalidade habilitadora da aplicação e os ETRs requeridos na sua fabricação.

Quadro 36. Usos industriais de pós para polimento

Uso industrial	Funcionalidade habilitadora dos pós para polimento	Elementos TRs requeridos
Pós para polimento de vidros e lentes	Pós para polimento	Melhoria das propriedades ópticas de vidros e lentes
Fabricação de vidros e lentes	Mudanças de propriedades físico-químicas de vidros e lentes	Descoloração de vidros, bloqueio de luz ultravioleta e composição de lentes e vidros especiais (usos em medicina e indústria aeroespacial, dentre outros)

10.3. Cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

A Figura 50 representa esquematicamente a cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais.



Figura 50. Cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

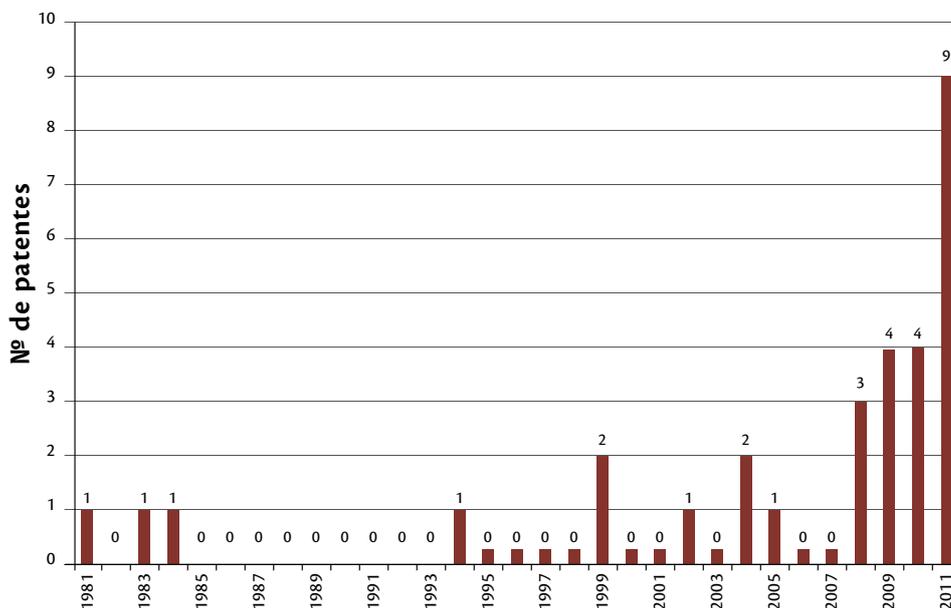
Na sequência, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes, focalizando-se pós para polimento à base de óxido de cério. Esse levantamento foi realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, considerando-se o período de 1981 a 2011 e adotando-se a estratégia de busca mostrada na Tabela 26

Tabela 26. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras

Referência	Busca	Resultados
#5	#4 OR #3	29
#4	#2 AND #1	29
#3	TS=("rare earth polishing powder") NOT TS="bonded magnet"	19
#2	TS=("polishing powder") NOT TS="bonded magnet"	268
#1	TS="rare earth"	52.282

Fonte: Estratégia de busca na base de dados *Derwent Innovations Index*. Acesso em: 23 mar. 2012.

Como pode ser visto, identificaram-se 29 patentes (#5) que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado a seguir. A Figura 51 representa a evolução das patentes referentes a pós para polimento à base de TRs durante o período de 1981 a 2011.



Fonte: Estratégia de busca na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Figura 51. Evolução das patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras

A Tabela 27 mostra todos os proprietários de patentes relacionadas a pós para polimento à base de TRs, conforme indicação da base consultada.

Conforme apresentado na Tabela 27, a maioria dos proprietários de patentes referentes a pós para polimento à base de TRs é de origem chinesa, diferentemente do observado nas cadeias de ímãs permanentes, ligas metálicas e fósforos, cuja predominância é de empresas japonesas. Nesse caso, houve uma distribuição bastante uniforme, não havendo destaque para um ou mais proprietários.

Tabela 27. Proprietários de patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras: 1981-2011

Depositante	Nº de patentes
Beijing Non-Ferrous Metal Inst	2
Gansu Rare Earth New Material LLC	2
Auspros Rare Zhuhai Co Ltd	2
Kudryavtseva N L	2
Beijing Fangzheng Rare Earth Sci&Technology	1
Changsha Hanlin Chem Technology Co Ltd	1
Dongguan Zhuoyue Grinding Material Co	1
Ekologiya Sci Prodn Coop	1
Fu S	1
Ganzhou Xinlongkang Rare Earth Co Ltd	1
Grirem Advanced Materials Co Ltd	1
Haohua Technology Ind Co Ltd	1
Huaming High Technology Group Co Ltd	1
Inner Mongolia Winner Metals&Chem Co	1
Kunshan Guangai Electronic Materials Co Ltd	1
Lanjing Chuangxin Sci & Tech Co Ltd	1
Milliron L A	1
Rare Metal Ind Res	1
Shanghai Huaming Gona Rare Earth New Mat	1
Shanghai Minggaona Rare Earth New Material Co Ltd	1
Tian R	1
Univ Guangdong Technology	1
Univ Nankai	1
Univ Peking	1
Univ Peking Founder Group Co	1
Univ Shenyang Jianzhu	1
Univ Zhejiang Normal	1
Xian Maxsun Kores New Materials Co Ltd	1
Xiao H	1
Yongzhou Haozhi Rare Earth Materials Co	1

Na sequência, a Tabela 28 mostra os resultados da análise das 29 patentes, classificadas segundo as subclasses e respectivos códigos da International Patent Classification (ICP), em um total de 1.600 códigos da ICP.



Tabela 28. Patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério *top 10*)

Classe ICP	Nº de patentes	%
C09G-001/02	14	46,7
C09G-001/00	9	30,0
C09K-003/14	9	30,0
C09G-001/04	2	6,7
C09G-001/18	2	6,7
A61K-007/16	1	3,3
B24B-007/24	1	3,3
B24B-013/00	1	3,3
B24D-003/00	1	3,3
B24D-003/12	1	3,3

Fonte: Busca direta na base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Na análise das patentes por código da ICP, constata-se que as classes ICP de maior representatividade são: C09G-001/02 – Composições polidoras, contendo abrasivos ou agentes de polimento; C09G-001/00 – Composições polidoras que não o verniz a álcool; ceras para esquis; e C09K-003/14 – Matérias antideslizantes; abrasivos (manufatura de artigos abrasivos ou de fricção ou de materiais modelados, contendo substâncias macromoleculares).

Em um segundo patamar – 1 a 2 patentes –, situam-se sete classes, a saber: C09G-001/04 – Composições polidoras em dispersões aquosas; C09G-001/18 – Outras composições polidoras à base de outras substâncias; A61K-007/16 – Preparações odontológicas; B24B-007/24 – Máquinas ou dispositivos próprios para esmerilhar superfícies planas da peça; para esmerilhar ou polir o vidro; B24B-013/00 – Máquinas ou dispositivos próprios para esmerilhar ou polir superfícies óticas de lentes de superfícies de forma similar em outras peças; B24D-003/00 – Características físicas de folhas ou corpos abrasivos, por ex., superfícies abrasivas de natureza especial; folhas ou corpos abrasivos caracterizados por seus componentes e B24D-003/12 – Características físicas de folhas ou corpos abrasivos, por ex., superfícies abrasivas de natureza especial para peças hidráulicas.

A Tabela 29 apresenta o conjunto das 29 patentes classificadas por área de conhecimento, adotando-se o critério *top 10*. No total, identificaram-se 20 áreas.

Tabela 29. Patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: *top 10*)

Áreas	Nº de patentes	%
Química	29	96,6
Ciência da Imagem e Tecnologia da Fotografia	22	73,3
Instrumentos e Instrumentação	7	26,7
Engenharia	5	20,0
Ciência dos Polímeros	4	16,7
Ciência dos Materiais	3	10,0
Metalurgia e Engenharia Metalúrgica	2	6,7
Energia e Combustíveis	1	3,3

Fonte: Busca direta da base de dados Derwent Innovations Index. Acesso em: 23 mar. 2012.

Ao se analisarem as informações sobre as áreas de conhecimento segundo as quais as patentes sobre pós para polimento à base de TRs foram classificadas pela base de dados, observa-se que percentuais significativos referem-se diretamente às áreas de Química e Ciência da Imagem e Tecnologia da Fotografia, com 96,6% e 73,3%, respectivamente. Em um segundo patamar, situam-se as áreas de Instrumentos e Instrumentação, Engenharia, Ciência dos Polímeros, Ciência dos Materiais, Metalurgia e Engenharia Metalúrgica e Energia e Combustíveis, com percentuais na faixa de 26,7% a 3,3%. Cabe ressaltar, ainda, que uma determinada patente pode ser classificada em mais de uma área de conhecimento.

Finalmente, devido ao número reduzido de patentes para essa aplicação, apresentam-se, no Quadro 37, a seguir, breves descritivos das 29 patentes sobre pós para polimento à base de TRs.


Quadro 37. Patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras: 1981-2011

Referência	Título	Proprietários	Inventores	Patentes citadas	Ano
CN102250551-A	<i>Preparation of spherical single crystal rare earth polishing powder involves adding cerium chloride liquid, hydrogen chloride and ammonium hydrogen carbonate, precipitating, filtering, roasting, pulping, washing, filtering and drying</i>	Ganzhou Xinlongkang Rare Earth Co Ltd	Liu C, Liu M	0	2011
CN102167956-A	<i>Recovery and reuse of rare-earth polishing powder waste residue and waste liquid comprises removing impurities by dispersing at high speed, sieving, centrifugally settling, press-filtering and dispersing at high speed.</i>	Changsha Hanlin Chem Technology Co Ltd	Zhang H, Xiao H, Ye C	0	2011
CN102146263-A	<i>Dispersing agent used for multifunctional rare earth polishing powder includes sodium citrate, sodium silicate, sodium tripolyphosphate, sodium hexametaphosphate, oxalate, polyethylene glycol, triethanolamine, and carboxymethylcellulose.</i>	XIAO H	Zhang H, Xiao H, Ye C	0	2011
CN102114615-A	<i>Rare-earth polishing disc has predetermined percentage of cerium oxide and lanthanum oxide according to mass percentage of rare-earth polishing powder.</i>	Auspros Rare Zhuhai Co Ltd	Zhu S	0	2011
CN102079950-A	<i>Manufacture of monodispersed rear-earth polishing powder for polishing optical glass, involves dissolving rare-earth salt and surfactant containing polyoxyethylene alkyl ether ammonium sulfate and laurinol ether ammonium sulfate.</i>	Dongguan Zhuoyue Grinding Material Co	Yan H	0	2011
CN102031063-A	<i>Production of rare earth polishing powder, comprises batching and mixing, drying, crushing and sieving, roasting, and crushing via air current.</i>	Inner Mongolia Winner Metals&Chem Co	He J, Liu J, Ma B	0	2011
N101974294-A	<i>Polishing grinding material comprises organically coated surface of abrasive particle uniformly stirred with rare earth polishing powder, resin, curing agent and catalyst.</i>	Univ Shenyang Jianzhu	Zhao S, Zuo M	0	2011
CN101899264-A	<i>Rare earth polishing powder comprises cerium oxide, lanthanum oxide, praseodymium oxide and neodymium oxide.</i>	Gansu Rare Earth New Material LLC	Ren L, Cn, Yang W, Cn, Gao G, Cn et al.	0	2011
CN101899281-A	<i>Rare earth polishing powder comprises cerium oxide, lanthanum oxide, praseodymium oxide, and neodymium oxide in total rare earth oxide.</i>	Gansu Rare Earth New Material LLC	Zhao J, Cn, Ren L, Cn, Yang W, Cn et al.	0	2011
CN101735768-A	<i>Preparation of rare-earth polishing powder comprises adding light rare-earth solution to a reaction kettle, slowly adding fluorhydric acid solution, adding oxalic acid solution, obtaining precursor material, drying, calcining, and crushing.</i>	Xian Maxsun Kores New Materials Co Ltd	He S, Li X, Li Y et al.	0	2010
CN101671526-A	<i>Production of superfine rare-earth polishing powder e.g. used for polishing lens, comprises dissolving cerium nitrate and praseodymium nitrate in organic solvent, dropping alkali liquid, dissolving, evaporating, drying, and roasting.</i>	Yongzhou Haozhi Rare Earth Materials Co	Liu J	0	2010
CN101623843-A	<i>Manufacture of low-pass optical filter super-thin wafer involves polishing wafer by polishing machine using cerium oxide group rare earth polishing powder additive and fluorocarbon mixed surfactant.</i>	Kunshan Guangai Electronic Materials Co Ltd	Wang J	0	2010
CN101665910-A	<i>Method for washing silicon dioxide substrate for vacuum evaporation of alloy film, involves using ion gun to bombard surface of substrate for predetermined time before evaporating in vacuum cabin.</i>	Univ Zhejiang Normal	Liu Y, Peng B, Wan X et al.	0	2010
CN101550318-A	<i>Rare earth polishing powder containing cerium ions useful for industrial and commercial applications, comprises cerium oxide and other rare earth oxide.</i>	Beijing Non-Ferrous Metal Inst	Cui D, Han Y, Huang X et al.	0	2009

Referência	Título	Proprietários	Inventores	Patentes citadas	Ano
CN101475777-A; CN101475777-B	<i>High precision rare earth polishing powder has determined grain diameter sizes, prepared by adding lanthanum nitrate cerium into ammonium oxalate solution, generating cerium lanthanum oxalate, and providing inoculating seed.</i>	Shanghai Minggaona Rare Earth New Material Co Ltd, Shanghai Huaming Gona Rare Earth New Mat	Chen X, Gao W, Wu Q et al.	0	2009
CN101343690-A; CN101343690-B	<i>Method for separating cerium and non-ceric rare earth from mixed rare earths involves adding acid to mixture while stirring to separate solid from liquid and to obtain preferential dissolving liquor and residue.</i>	Beijing Fangzheng Rare Earth Sci&Technology, Univ Peking, Univ Peking Founder Group Co Ltd	Wang S, Jia J, Liao C et al.	0	2009
CN101284983-A; CN101284983-B	<i>New super-thin, globurizing rare earths polishing powder useful for chemical glass polishing, crystal polishing and display screen polishing.</i>	Beijing Non-Ferrous Metal Inst, Griem Advanced Materials Co Ltd	Zhu Z, Han Y, Long Z et al.	0	2009
CN101215446-A	<i>Process for preparing ceric nanometer magnitude rare-earth polishing powder with rare-earth concentrate comprises roasting rare-earth concentrate, filtering oxyfluoride rare-earth beneficiation material and spin-drying processing.</i>	Haohua Technology Ind Co Ltd	Cui J, Duan Y, Liang N et al.	0	2008
CN1939990-A; CN100497508-C	<i>Production of high-cerium rare-earth polishing powder.</i>	Huaming High Technology Group Co Ltd	Gao W, Ma X, Li F et al.	1	2008
CN1903962-A	<i>Preparation method of super fine precision polishing powder using cerium dioxide as main body and polishing powder.</i>	Lanjing Chuangxin Sci & Tech Co Ltd	Wang S, Wang J, Li B et al.	3	2008
CN1607071-A; CN100429046-C	<i>Composition of vitreous brick buffing wheel comprises abrasant made of polishing powder and silicon carbide, binder, and auxiliary filling made of rare earth and its oxide, atearic acid and light calcium carbonate.</i>	Univ Guangdong Technology	Wang C, Yuan H, Wei X	0	2005
CN1482195-A; CN1194060-C	<i>Preparation method of rare-earth polishing powder involves dissolving waste polishing rare earth powder in acid, regulating pH value with ammonia water, precipitating, water washing, drying and roasting.</i>	Univ Nankai	Liu Z, Wang L, Wang Q et al.	0	2004
CN1456624-A; CN1246407-C	<i>Fail rare earth polishing powder reproducing method.</i>	Tian, R.	Tian, R.	0	2004
US2002098156-A1	<i>Prophylaxis paste for use by dental hygienists, comprises carrier for use as dentifrice in combination with preset amount of Roxite particles having specified average particle size.</i>	Milliron, L. A.	Milliron, L. A.	0	2004
CN1205354-A	<i>Production of rare earth polishing powder, used to polish glass - comprises mixing with sodium hydroxide, melting, crushing and adding hydrofluoric acid.</i>	Fu, S.	Fu S, Li J	0	1999
RU2001934-C; RU2001934-C1	<i>Suspension for optical glass polishing - contains abrasive powder, ammonium nitrate, sodium nitrite and water and has increased polishing capability.</i>	Ekologiya Sci Prodn Coop	Dimitreva N M	0	1994
SU1047944-A	<i>Glass polishing powder prepn. - by thermal treatment of mixture containing rare earth metal carbonate(s) and ammonium difluoride</i>	Kudryatseva, N. L.	Kudryatseva N L	0	1984
SU920060-B	<i>Mfg. glass polishing powder - from specified rare earth metal carbonate using heat treatment and addn. of alkali metal fluoride.</i>	Kudryatseva, N. L.	Kudryatseva N L, Golubeva L G, Kharkov N E	0	1983
SU763273-B	<i>Rare earth metal oxide polishing powder for optics - prepd. by calcining corresponding metal carbonate after addn. of chromium hydroxide.</i>	Rare Metal Ind Res	Russo V L, Ivanov E N, Grigoreva ZM	0	1981



10.4. Competência atual associada à cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

Na Figura 52, identificam-se as atuais competências brasileiras nos processos produtivos associadas à cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. Destacam-se, na figura, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes no Brasil para o horizonte 2030.

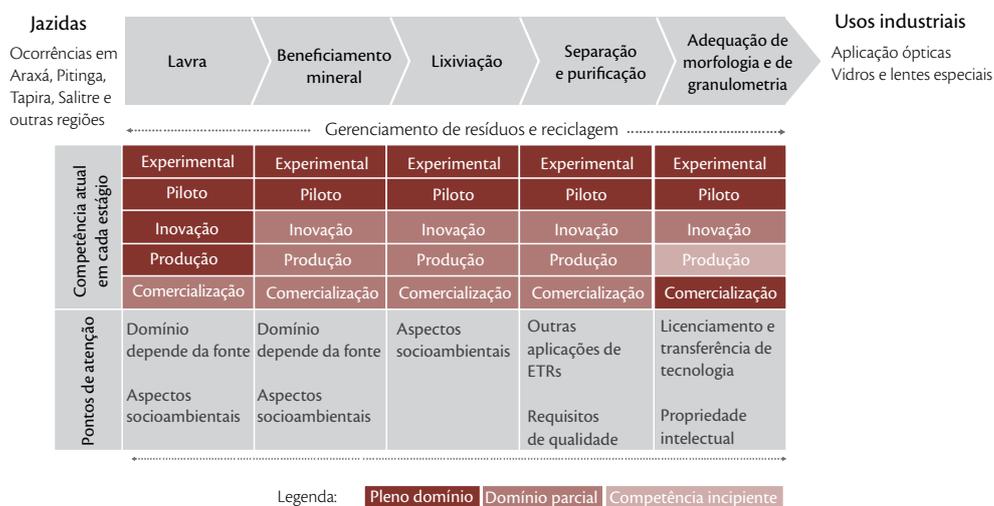


Figura 52. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

10.5. Visão de futuro e objetivos estratégicos: horizonte 2030

Definiram-se, para a cadeia de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes, a visão de futuro para 2030 e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão, expressos de acordo com as dimensões de análise do presente estudo.

Visão de futuro da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais no Brasil: horizonte 2030

Integração a montante a partir de fontes de origem nacional e, a jusante, pelo crescimento da demanda de pós para polimento, vidros e lentes especiais, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A partir da visão de futuro para essa cadeia, buscou-se elencar um conjunto de objetivos que deverão orientar estrategicamente seu desenvolvimento no Brasil, visando alcançar a visão no horizonte considerado (Quadro 38).

Quadro 38. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
ME – Mercado de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Mercado suprido por importações. Potencial de desenvolvimento.	Viabilizar o mercado de aplicações ópticas (pós pra polimento e fabricação de vidros e lentes especiais).	Disponibilidade nacional com qualidade e preços competitivos em nível internacional.
RP – Reservas e produção de TRs no Brasil: foco nos elementos de TRs e precursores da cadeia de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Não há produção de matérias-primas nem de precursores.	Dimensionar reservas para viabilizar produção dos elementos de TRs como marco inicial do desenvolvimento da cadeia.	Reservas conhecidas e definidas com excedentes para exportação.
PO – Política nacional para TRs: foco na cadeia de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal: ENCTI 2012-2015, PBM-2012-2014, PAC CPRM 2010-2014 e PNM-2030.	Promover políticas públicas de incentivo industrial e de CT&I voltadas para a fabricação de pós para polimento e vidros e lentes especiais.	Continuidade das políticas de incentivo industrial e de CT&I voltadas para a fabricação de pós para polimento e vidros e lentes especiais.
MR – Marco regulatório: foco na cadeia de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Legislação vigente não prioriza a produção de TRs de forma competitiva, sustentável, com agregação de valor. Restrições na produção de TRs decorrentes da sua associação a radionuclídeos.	Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs. Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.	Novo marco regulatório estimula os investimentos produtivos e prioriza a produção de TRs de forma competitiva e sustentável. Equacionadas as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira.



Dimensão	Situação atual	Objetivos estratégicos	Situação 2030
INV – Investimentos na cadeia de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Investimentos iniciais na produção de TRs no Brasil sem foco específico na produção de TRs para cadeia de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes.	Criar incentivos para investimentos na produção local e/ou atração de empresas para produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes.	Consolidação da cadeia para produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes.
INF – Infraestrutura física da cadeia de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Estrutura incipiente. Disponível somente em laboratórios e centros de pesquisa. Produtos comerciais são importados, embalados e distribuídos no Brasil.	Ampliar e consolidar a infraestrutura de laboratórios e unidades de pesquisa. Incentivar a implantação de instalações industriais.	Infraestrutura consolidada para a produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais. Infraestrutura laboratorial modernizada em instituições acadêmicas, ICTs e empresas para pesquisa em pós para polimento e vidros especiais.
RH – Recursos humanos para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Existência de ICTs, grupos de pesquisa e instituições acadêmicas com competência, mas sem linhas de pesquisa dedicadas para produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes. O número de grupos de pesquisa e especialistas dedicados a PD& é pequeno.	Capacitar recursos humanos para subsidiar o desenvolvimento e inovações para a produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais.	Contínuo aperfeiçoamento de mão de obra qualificada. Competência tecnológica para desenvolver e inovar no que toca à produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais.
TE – Tecnologias para a cadeia produtiva de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais)	Associado à disponibilidade de TRs no Brasil e aos anúncios recentes de projetos nessa área, por mineradoras brasileiras, emerge um cenário adequado para parcerias de desenvolvimento tecnológico da cadeia como um todo.	Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com know-how próprio, registro de propriedade intelectual, voltado para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de produtiva de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes).	Domínio tecnológico completo da cadeia produtiva de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes) e empresas instaladas no Brasil gerando e consumindo os produtos dessa cadeia. Novos produtos especialmente desenvolvidos com tecnologia própria, integrando processos, produtos e aplicação.

11. Conclusões e recomendações⁴⁸

O presente estudo prospectivo atingiu seu objetivo maior, qual seja, fornecer os direcionadores estratégicos para a estruturação futura de uma agenda com objetivos e ações de curto, médio e longo prazo, vinculadas ao desenvolvimento das cadeias produtivas de aplicações de TRs e consideradas promissoras e estratégicas para o Brasil. Seu escopo compreendeu a construção de cenários prospectivos do mercado global de TRs e a definição do cenário de referência, que serviu de pano de fundo para a construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de TRs no Brasil como um todo. O estudo incluiu ainda a definição de direcionadores estratégicos – visão de futuro e objetivos de longo prazo – referentes às cadeias produtivas de ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos e pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais.

Apresentam-se, a seguir, uma síntese geral das principais conclusões deste estudo e recomendações endereçadas aos diversos atores interessados no desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs no Brasil.

Quanto aos usos e aplicações de terras raras

Os usos e aplicações dos 17 elementos constituintes do grupo das TRs concentram-se em áreas de alta tecnologia e não são conhecidos até o momento substitutos que proporcionem o mesmo desempenho. Nas tecnologias relacionadas às energias limpas e ao controle de emissões atmosféricas, por exemplo, as cadeias produtivas são fortemente dependentes de TRs, 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.

A partir de uma taxonomia única definida logo no início dos trabalhos, chegou-se a um conjunto de 23 usos industriais de TRs, reunidos em oito grandes classes de aplicações, como mostrado no Quadro 3

⁴⁸ Este Capítulo foi elaborado por Carlos Augusto Caldas de Moraes e Maria Fatima Ludovico de Almeida e incorpora contribuições de representantes do MCTI, do CETEM e do MME que participaram de todas as fases do estudo.



Sobre o mercado global de terras raras

As TRs podem ser encontradas em muitos países, como China, Austrália, Canadá, Estados Unidos, Índia e Rússia. No entanto, são difíceis de extrair em volumes que sejam economicamente viáveis.

A produção mundial é de 124.000 toneladas por ano (t/ano), enquanto a demanda atual já ultrapassa 135.000 t/ano, com uma previsão de crescimento até 210.000 t/ano em 2014. Como os projetos de mineração demoram a iniciar a produção, a expectativa é de que a produção não ultrapasse 160.000 t/ano nos próximos três anos.

As incertezas quanto à garantia de fornecimento de TRs pela China, em função da sua atual política de quotas de exportação, têm mobilizado os países consumidores a buscarem alternativas de suprimento por meio de acordos de cooperação e parcerias com outros países. Essas parcerias objetivam o desenvolvimento de projetos voltados à produção e ao processamento mineral desses recursos e suas aplicações. Até a edição deste documento, identificaram-se mais de 270 projetos de exploração, desenvolvidos em cerca de 30 países. A maioria desses projetos concentra-se na China, porém os EUA, a Comunidade Europeia e o Canadá vêm se destacando nesse movimento de expansão. Prevê-se uma sobreoferta de TRs leves já a partir de 2014, com impactos diretos nos preços e na atual posição hegemônica da China.

Sobre o potencial de exploração de terras raras no Brasil

Atualmente, conforme dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o país tem 164 pedidos para autorização de pesquisa de descoberta de lavras (mais de 50% na Bahia). Apenas seis lavras estão disponíveis.

Sobre recursos humanos estratégicos no país

Identificaram-se 491 especialistas, 49 instituições e 112 grupos de pesquisa que atuam em desenvolvimentos tecnológicos relacionados à cadeia produtiva de TRs e suas aplicações, com destaque para um conjunto de 260 linhas de pesquisa diretamente relacionadas aos temas abordados neste

estudo prospectivo. Os grupos de pesquisa em TRs concentram-se nas regiões Sudeste (60%) e Nordeste (25%). As regiões Sul, Centro-Oeste e Norte contam, respectivamente, com 9%, 5% e 1% dos 112 grupos identificados.

Embora os resultados obtidos tenham sido de grande valia para os objetivos do estudo prospectivo e para a futura implementação dos *roadmaps* estratégicos das cadeias produtivas de TRs no Brasil, cabe destacar que alguns especialistas que atuavam no passado estão hoje desenvolvendo outros temas de pesquisa no Brasil e participando de grupos não associados aos termos pesquisados. Recomenda-se análise posterior por parte de especialistas dos resultados gerados para eventual inclusão de novas informações julgadas necessárias para compor o mapeamento das competências brasileiras em TRs.

A construção de cenários prospectivos do mercado global de TRs e a definição do cenário de referência

A análise das implicações do cenário global de referência para o posicionamento estratégico do Brasil e implementação da estratégia nacional para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs e de suas aplicações permitiu identificar um conjunto de desafios para os períodos 2012-2020 e 2021-2030, como segue.

Desafios no período 2012-2020, conforme cenário global de referência

- A demanda crescente de produtos que contêm/usam TRs no mundo estimulará no Brasil a atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs, com foco em cadeias consideradas estratégicas. O Brasil passará gradativamente a ter expressão no mercado global como fornecedor de ímãs permanentes, fósforos de TRs, catalisadores, ligas metálicas portadoras de TRs, pós para polimento e fabricação de vidros especiais;
- Necessidade urgente de mapeamento e dimensionamento das ocorrências de TRs no país que confirmará a existência de novas reservas e ampliação das reservas já conhecidas;
- Desenvolvimento de projetos de exploração por empresas privadas, com aumento da produção, porém ainda com participação reduzida do país na produção mundial de TRs;
- Priorização dos minerais estratégicos nas políticas do governo federal – ENCTI 2012 2015, PBM, PAC – CPRM 2010 – 2014 e PNM 2030 e intensificação dos programas de geologia básica e de recursos



minerais voltados aos minerais estratégicos. Foco no desenvolvimento e confirmação de recursos e reservas minerais;

- Criação de um programa nacional de PD&I para TRs voltado preponderantemente para o fortalecimento da infraestrutura laboratorial, formação e capacitação de pessoal e projetos de PD&I. Estabelecimento, à semelhança dos setores de petróleo e elétrico, de mecanismos de financiamento de PD&I pelas empresas em cooperação com universidades e ICTs;
- Definição e início da implementação de uma política industrial de estruturação da cadeia produtiva de TRs em suas fases: processamento mineral, processamento químico e processos industriais. Estímulo à formação de parcerias público-privadas. Incentivo à verticalização e organização industrial da cadeia produtiva de TRs e atração de empresas de alta tecnologia baseadas em TRs;
- Implementação do novo marco regulatório mineral, com efetivo cumprimento das obrigações associadas aos direitos minerários. Reavaliação do papel da CNEN como parceira das empresas, ICTs e universidades no equacionamento das questões relativas a TRs, quando associadas a minerais radioativos. Interpretação da legislação ambiental quanto às atividades de mineração de TRs;
- A falta de mecanismos efetivos de governança global mantém a hegemonia chinesa no mercado mundial de TRs com sua política de quotas de exportação. No início desse período, a volatilidade dos preços em nível global trará incertezas e inibirá investimentos na indústria minero-metalúrgica de TRs no Brasil;
- Os países detentores de reservas e com competência tecnológica, como o Brasil, passarão a investir no desenvolvimento de reservas e na produção mineral, atraindo investidores de cadeias produtivas de aplicações baseadas em TRs. No entanto, devido à verticalização da cadeia de produção de TRs já em curso na China, os investimentos no Brasil deverão focalizar algumas cadeias produtivas de aplicações, como ímãs permanentes e catalisadores, em uma primeira fase;
- O custo-Brasil limita a instalação das cadeias produtivas de aplicações de TRs, situação que deve ser revertida até 2020. Prevê-se a formação de parcerias público-privadas para o desenvolvimento de infraestrutura física compatível com o desenvolvimento esperado das cadeias produtivas de TRs.

Desafios no período 2021-2030, de acordo com o cenário global de referência

- O Brasil deverá manter-se competitivo como um dos países fornecedores tanto de aplicações de TRs (ímãs, catalisadores, ligas metálicas, fósforos e pós para polimento, visros e lentes) quanto de produtos finais das cadeias produtivas, tendo em vista a tendência de crescimento do mercado consumidor de produtos que utilizam ou contêm TRs;
- Consolidação de parcerias, consórcios e *joint-ventures* para exploração sustentável de TRs no país e desenvolvimento de novas cadeias produtivas de aplicações de TRs (cerâmicos, baterias e fibras ópticas);
- Surgimento de novos concorrentes devido ao cenário favorável ao livre-comércio e ao maior equilíbrio de forças no mercado global de TRs. Ameaça de concorrência externa acentuada em função de

- uma possível superoferta de TRs a partir de 2014. Possibilidade de novo *dumping* chinês;
- A partir do mapeamento e dimensionamento das ocorrências realizados no período 2012-2020, os recursos minerais em TRs no país deverão ser explorados de forma sustentável. Espera-se a confirmação de importantes reservas de TRs em mais de uma região do país;
 - O mercado consumidor de produtos que utilizam TRs apresentará tendência de crescimento no período, o que estimulará a consolidação de parcerias, consórcios e *joint-ventures* para exploração sustentável de TRs no país;
 - A indústria minero-metalúrgica de TRs e as atividades das cadeias produtivas de aplicações de TRs no país deverão cumprir os regulamentos e requisitos legais tanto ambientais quanto de segurança e saúde ocupacional;
 - Prevê-se a continuidade das políticas públicas para a consolidação da cadeia produtiva de TRs e verticalização de cadeias produtivas consideradas estratégicas. Continuidade dos esforços no sentido de ampliar o conhecimento de reservas minerais contendo TRs;
 - Intensificação da pesquisa de produção de TRs e aplicações industriais que usem ou contenham TRs referentes a novas cadeias produtivas, como cerâmicos, baterias e fibras ópticas, e fortalecimento das ICTs públicas e privadas.

Apresentam-se, a seguir, as principais conclusões e proposições referentes à cadeia produtiva de TRs como um todo. Na sequência, complementa-se com uma síntese das informações estratégicas referentes ao desenvolvimento das cadeias das aplicações consideradas prioritárias para o país, a saber: ímãs permanentes, catalisadores, ligas metálicas, fósforos, pós para polimento, vidros e lentes especiais.

Sobre o futuro desenvolvimento da cadeia produtiva de terras raras no Brasil

A visão de futuro da cadeia produtiva de TRs no Brasil, considerando o horizonte de 2030, refere-se à autossuficiência e inserção competitiva do Brasil no mercado internacional de TRs a partir do aproveitamento racional, eficiente e integral desses recursos minerais, com domínio científico e tecnológico ao longo de toda a cadeia produtiva, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A estratégia nacional para atingir essa visão é sintetizada a seguir:

- Realizar mapeamento de ocorrências, identificação e dimensionamento das reservas e viabilizar a produção e o processamento mineral de TRs;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;



- Promover políticas públicas de cunho mineral, industrial e de CT&I voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira;
- Criar mecanismos de financiamento em condições compatíveis com os concorrentes internacionais e incentivos para atração de empresas de toda a cadeia produtiva e suas aplicações;
- Viabilizar as cadeias produtivas de aplicações de TRs de forma sustentável e competitiva;
- Consolidar e expandir infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Capacitar recursos humanos para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Promover o desenvolvimento tecnológico e inovação associados ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Apresenta-se uma síntese com informações estratégicas sobre o futuro desenvolvimento dessa aplicação no país, incluindo o diagrama geral da cadeia produtiva, com indicação dos principais usos industriais e do nível de competência nacional em cada estágio da cadeia. Na sequência, definem-se os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia de ímãs de TRs no Brasil.

A Figura 53 representa esquematicamente a cadeia produtiva de ímãs de TRs e os principais usos industriais dessa estratégica aplicação. A análise feita por especialistas indicou as atuais competências brasileiras nos processos produtivos, associadas à cadeia produtiva de ímãs de TRs. Destacam-se, na figura, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que foram considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de ímãs de TRs.

Concluiu-se que os estágios mais críticos são a redução de óxidos, a obtenção de ligas e a fabricação de ímãs propriamente dita. Nos estágios anteriores da cadeia, foram identificados gargalos na passagem dos resultados da fase piloto para inovação, produção e comercialização em larga escala.

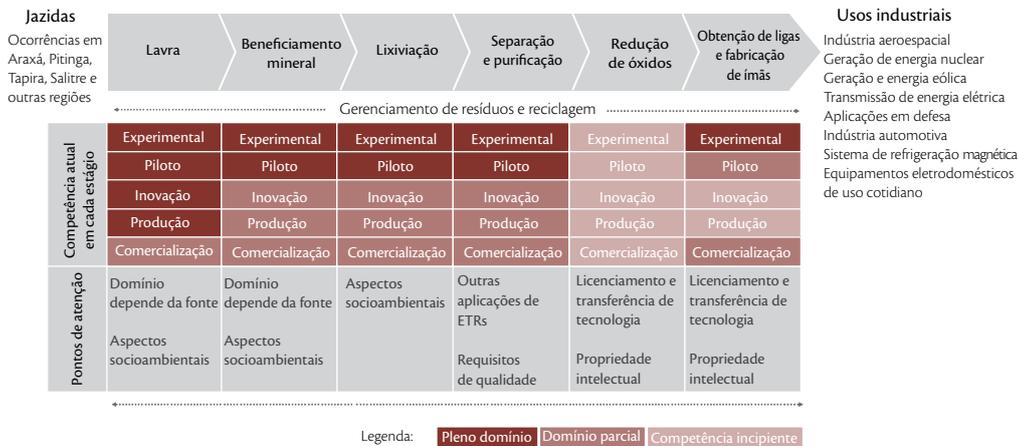


Figura 53. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ímãs de terras raras

Concluiu-se que a produção de ímãs de TRs é inexistente no Brasil no momento, estando basicamente concentrada na China e no Japão em função dos custos de produção mais competitivos e atual domínio tecnológico naqueles países. Essa situação, no entanto, deverá sofrer uma mudança radical com a entrada de novos países produtores de TRs, incluindo o Brasil. A produção de ímãs, em função da agregação de valor, deverá se constituir em uma atividade importante a ser fomentada, dado o quadro de competência atual já alcançado no Brasil, conforme indicado na Figura 53.

Os grupos de pesquisa estabelecidos estão potencialmente capacitados para desenvolver inovações nesse campo no Brasil. Continuam os trabalhos de pesquisa em nível internacional e o acompanhamento do desenvolvimento do estado da arte por meio de publicações em periódicos de especialistas brasileiros e participação em conferências internacionais importantes tanto em relação a desenvolvimentos de tecnologias já estabelecidas quanto tecnologias de ponta, como, por exemplo, a refrigeração magnética. Necessita-se, no entanto, de melhoria na infraestrutura laboratorial e de PD&I, como será proposto a seguir.

A visão de futuro da cadeia produtiva de ímãs de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à integração a montante da fabricação de ímãs de TRs a partir de TRs de origem nacional e ao desenvolvimento a jusante (usos industriais de ímãs de TRs), obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

A estratégia nacional para atingir essa visão foi estruturada segundo oito dimensões de análise, a saber: mercado de ímãs permanentes e seus usos industriais; reservas e produção de TRs no Brasil;



política nacional para TRs com foco na cadeia produtiva de ímãs e seus usos industriais; marco regulatório com foco na cadeia produtiva de ímãs; investimentos; infraestrutura; recursos humanos e tecnologia para o desenvolvimento tecnológico e operações da cadeia em foco.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs permanentes:

- Integrar a produção industrial de ímãs de TRs a montante pelo emprego de TRs de origem nacional a preços competitivos;
- Focar no desenvolvimento da cadeia de ímãs induzida pelo mercado a partir da ponta da cadeia produtiva (usos industriais);
- Estruturar e fortalecer a participação dos fabricantes e usuários na cadeia;
- Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de ímãs de TRs para a indústria brasileira. Fontes de matéria-prima potenciais seriam, por exemplo, a monazita estocada na INB e os rejeitos de Catalão/Fosfertil e Araxá;
- Viabilizar novas fontes de exploração de TRs;
- Colocar o Brasil como grande *player* na exploração de ETRs;
- Criar incentivos fiscais para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de ímãs de TRs;
- Criar programas de incentivos para estados e municípios atuarem no mercado como demandantes de produtos que utilizem tecnologia baseada em ímãs de TRs, por exemplo, ônibus elétricos, trens magnéticos, geradores elétricos, dentre outros usos;
- Atrair investimentos de forma escalonada (busca de domínio tecnológico, piloto e industrial);
- Consolidar capacidade de produção em nível industrial de ímãs de TRs;
- Integrar a montante a cadeia produtiva de ímãs;
- Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios de PD&I com foco em produção piloto e laboratório (fábrica);
- Implementar programas de PD&I com apoio a projetos cooperativos ICTs/empresas, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de ímãs permanentes;
- Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva de ímãs permanentes;
- Incentivar/apoiar programas de cursos de pós-graduação com objetivo de formar mestres e doutores com foco na produção e utilização de ímãs de TRs;
- Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com *know-how* próprio, registro de propriedade intelectual, no sentido de garantir competitividade, hegemonia tecnológica e inovação voltados para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de ímãs permanentes.

Com relação aos últimos objetivos, destacam-se, no Capítulo 6, informações estratégicas de propriedade intelectual relativas às etapas críticas da cadeia (Figura 52). Identificaram-se 7.286 patentes, que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento. A partir desse levantamento, concluiu-se que a maioria das empresas proprietárias de patentes referentes a ímãs permanentes de TRs é japonesa. A empresa líder é a Hitachi Metals Ltd, com 623 patentes, seguida das empresas Sumitomo Special Metals Co Ltd e TDK Corp, com 448 e 383 patentes, respectivamente. Em um segundo patamar, na faixa de 315 a 100 patentes, situam-se: Seiko Epson Corp, Shionetsu Chem Ind Co Ltd, Toshiba KK, Hitachi Ltd, Daido Tokushuko KK, Epson Corp, Tohoku Metal Ind Ltd, NEC Corp e Tokin Corp. Os demais proprietários situam-se abaixo de 100 patentes. Ficaram de fora desse *ranking* 2.951 proprietários.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores

Devido ao fato de os catalisadores para FCC, catalisadores automotivos e sistemas catalíticos para geração de hidrogênio e diversas reações químicas encontraram-se em estágios diferentes de maturidade, segundo o conceito de ciclo de vida do produto, e em situações bem distintas do ponto de vista de domínio tecnológico no Brasil, optou-se, nesse caso, por apresentar os respectivos esquemas gráficos correspondentes à competência atual para cada um dos casos citados.

Os catalisadores de FCC apresentam tecnologia madura e consagrada, inclusive no Brasil, que dispõe de fábrica com tecnologia própria. Por essa razão, há importante domínio de todas as etapas da cadeia (Figura 54).



Figura 54. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para FCC na indústria de petróleo



Os catalisadores automotivos representam um campo em que há produção no Brasil, porém com tecnologia exógena. Os monólitos são produzidos no exterior, sendo feita no Brasil apenas a etapa de incorporação de alguns elementos. Há, portanto, domínio parcial do conhecimento dessa tecnologia, conforme indicado na Figura 55.

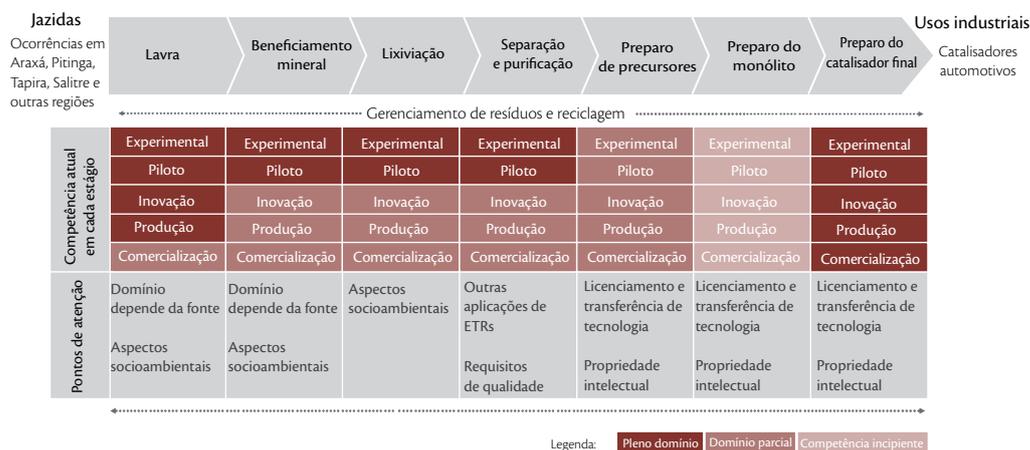


Figura 55. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores automotivos

A Figura 56 apresenta o mapa de competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de sistemas catalíticos para geração de hidrogênio.



Figura 56. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para geração de hidrogênio

A partir de levantamento realizado diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, no Portal Inovação e junto a especialistas da área de catálise, foi possível identificar os grupos que, no momento, desenvolvem linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs (Anexo 4).

A visão de futuro da cadeia produtiva de catalisadores à base de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à integração a montante com utilização de TRs de origem nacional, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento dessa cadeia:

- Integrar a produção industrial de catalisadores a montante pelo emprego de TRs de origem nacional a preços competitivos;
- Ampliar capacidade de produção de catalisadores para unidades de FCC e automotivos, visando atender ao consumo interno e aumentar as exportações;
- Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de catalisadores para FCC e automotivos;
- Criar incentivos para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de catalisadores;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento das cadeias produtivas dessa aplicação;
- Revisar o marco regulatório de controle de emissões atmosféricas para passar a incluir requisitos legais para uso de conversores catalíticos em veículos usados;
- Ampliar capacidade de produção de catalisadores automotivos, de FCC e para a produção de hidrogênio;
- Atrair investimentos para a integração a montante da cadeia produtiva de catalisadores;
- Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de catalisadores;
- Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva de catalisadores;
- Promover o desenvolvimento tecnológico e inovação voltados para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de catalisadores;
- Aproveitando a grande capacidade de PD&I na área de catálise no Brasil, promover o desenvolvimento de novos processos químicos que utilizem catalisadores alternativos com base em TRs.



Com relação aos três últimos objetivos, destacam-se, no Capítulo 7, informações estratégicas de propriedade intelectual relativas às etapas críticas das respectivas cadeias (Figuras 54 a 56). Os resultados do levantamento de patentes referentes a catalisadores de FCC e automotivos, realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, considerando-se o período de 1981 a 2011, permitiu identificar um conjunto de 1.075 patentes, que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento, como apresentado no referido Capítulo.

Concluiu-se que as empresas proprietárias de patentes referentes a catalisadores contendo TRs são, na sua maioria, de origem europeia ou americana, diferentemente da cadeia de ímãs permanentes, com predominância de empresas japonesas. As empresas que lideram esse *ranking* são: Mobil Oil Corp, Grace & Co, UOP, Albemarle Netherlands BV, Engelhard Corp, & Co, Akzo Nobel NV, Daihatsu Motor Co Ltd e Basf Catalysts LLC, com patentes na faixa de 80 a 17 patentes. Destaca-se, para fins de elaboração futura do *roadmap* estratégico dessa cadeia, a posição da Petrobras em 12º lugar no *ranking*.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs

A exemplo das cadeias anteriores, apresenta-se, a seguir, uma síntese com informações estratégicas sobre o futuro desenvolvimento dessa aplicação no país, incluindo o diagrama geral da cadeia produtiva, com indicação dos principais usos industriais e do nível de competência nacional em cada estágio da cadeia. Na sequência, definem-se os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil.

A Figura 57 representa esquematicamente a cadeia produtiva de ligas metálicas, os principais usos industriais dessa estratégica aplicação e o nível de competência atual para o desenvolvimento da cadeia.



Figura 57. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras

A análise feita por especialistas indicou as atuais competências brasileiras nos processos produtivos associadas a essa cadeia. Destacam-se, na Figura 11.5, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs.

Concluiu-se que as etapas mais críticas em quase todos os estágios da cadeia são a passagem dos resultados da fase piloto para inovação, bem como a produção e comercialização em larga escala. Especificamente no estágio de obtenção de ligas, aponta-se para a competência para inovação ainda incipiente no país.

Com base em levantamento realizado diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, no Portal Inovação e junto a especialistas da área, foi possível identificar os grupos que, no momento, desenvolvem linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs (Anexo 4).

A visão de futuro da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil, considerando o horizonte 2030, refere-se à integração a montante da fabricação de ligas metálicas portadoras de TRs a partir de fontes de origem nacional e, a jusante, pelo crescimento da demanda por produtos que as utilizam, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.



Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento dessa cadeia:

- Fomentar a fabricação de ligas portadoras de TRs como fator alavancador de escala (em nível global, representa a segunda maior aplicação de TRs);
- Garantir suprimento de TRs para a integração a montante da produção industrial de ligas portadoras de TRs para a indústria brasileira. Fontes de matéria-prima potenciais seriam, por exemplo, a monazita estocada na INB e os rejeitos de Catalão/Fosfertil e Araxá;
- Viabilizar novas fontes de exploração de TRs;
- Colocar o Brasil como grande *player* na exploração de ETRs;
- Criar incentivos fiscais para uso de TRs de origem nacional, de natureza tributária, para a integração a montante da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de TRs;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Identificar necessidades junto aos setores metalúrgico e siderúrgico;
- Consolidar e expandir a infraestrutura de laboratórios de PD&I, com foco em produção;
- Implementar programas de PD&I com apoio a projetos cooperativos ICTs/empresas, facilidades de pesquisa, suporte técnico e logístico ao desenvolvimento da cadeia produtiva de ligas portadoras de TRs;
- Manter esforços de capacitação de recursos humanos em todos os níveis para fazer frente aos novos desafios da cadeia produtiva.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de fósforos

Apresenta-se, a seguir, uma síntese com informações estratégicas sobre o futuro desenvolvimento dessa aplicação no país, incluindo o diagrama geral da cadeia produtiva, com indicação dos principais usos industriais e do nível de competência nacional em cada estágio da cadeia. Na sequência, definem-se os direcionadores estratégicos para o desenvolvimento da cadeia de ligas metálicas portadoras de TRs no Brasil.

A Figura 58 representa esquematicamente a cadeia produtiva de fósforos, os principais usos industriais dessa estratégica aplicação e o nível de competência atual para o desenvolvimento da cadeia como um todo. Destacam-se, nessa figura, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção a serem considerados na construção futura do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de fósforos de TRs.

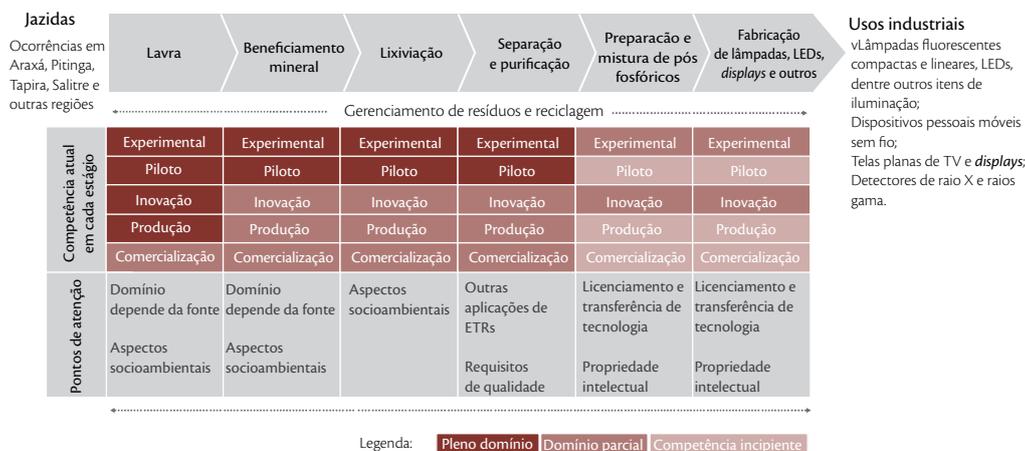


Figura 58. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de fósforos de terras raras

Com base nos resultados da pesquisa realizada diretamente na base de dados Diretório dos Grupos de Pesquisa no Brasil, administrada pelo CNPq, e no Portal Inovação, foi possível identificar 28 grupos que, no momento, desenvolvem um total de 66 linhas de pesquisa relacionadas à cadeia produtiva de fósforos de TRs. Desses grupos, participam 132 pesquisadores, conforme detalhado no Anexo 4.

Um levantamento de patentes referentes à preparação e mistura de pós-fosfóricos, suas propriedades e funcionalidades, realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, considerando-se o período de 1981 a 2011, permitiu identificar 2.164 patentes, que foram classificadas por ano, proprietário, código ICP e área de conhecimento (Capítulo 9 – Figura 49 e Tabelas 22 e 23)..

Dentre as 30 principais empresas e instituições que depositaram as patentes sobre fósforos de TRs, predominam as empresas japonesas, como Fuji Photo Film Co Ltd, Toshiba KK e Hitachi Ltd, para citar alguns exemplos. No entanto, identificaram-se empresas europeias, como a Rhodia Operations e a Merck Patent GmbH, e americanas, como a General Electric Co. As empresas que lideram esse *ranking* são: Fuji Photo Film Co Ltd, Toshiba KK, Konica Corp, Nichia Kagaku Kogyo KK e Dokuritsu Gyosei Hojin Sangyo Gijutsu So, na faixa superior de 101 a 45 patentes.

Em um segundo patamar, de 40 a 20 patentes, situam-se as seguintes empresas e instituições: General Electric Co, Kasei Optonix Ltd, Konica Minolta Mg KK, Mitsubishi Chem Corp, Japan Sci&Technology Agency, Sharp KK, Fuji Film Corp, Hitachi Ltd, Hitachi Chem Co Ltd, Dainippon Printing Co Ltd e Matsushita Denki Sangyo KK. Os demais proprietários depositaram patentes em número inferior a 20 (Capítulo 9 – Tabela 22).



Conclui-se que existem no país muitas empresas “montadoras” de lâmpadas, LEDs, dentre outros usos industriais de fósforos de TRs. É preciso fomentar no país investimentos para que se desenvolvam empresas de base tecnológica para a produção de novos produtos *made in Brazil*. Essa estratégia precisa ser conduzida por meio de incentivos governamentais para as empresas nacionais que queiram investir nessas tecnologias e colocar “vínculos” para empresas estrangeiras para que não utilizem o Brasil somente como uma extensão do mercado, mas que façam investimentos na geração de novas tecnologias e inovações.

Sobre o desenvolvimento da cadeia produtiva de pós para polimento, vidros e lentes especiais

Na Figura 59, identificam-se as atuais competências brasileiras nos processos produtivos, associadas à cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais.

Destacam-se, na figura, além do grau de domínio em cada etapa da cadeia produtiva, os pontos de atenção que deverão ser considerados na construção do *roadmap* estratégico da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes no Brasil para o horizonte 2030.



Figura 59. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais

A exemplo das cadeias anteriores, definiram-se a visão de futuro para 2030 e os objetivos estratégicos para alcançar essa visão, expressos de acordo com as dimensões de análise do presente estudo.

A visão de futuro da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais no Brasil refere-se à integração a montante a partir de fontes de origem nacional e, a jusante, pelo crescimento da demanda de pós para polimento, vidros e lentes especiais, obedecendo aos preceitos de sustentabilidade.

Propõe-se, a seguir, a estratégia para o desenvolvimento dessa cadeia:

- Viabilizar o mercado de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais);
- Dimensionar reservas para viabilizar produção dos elementos de TRs como marco inicial do desenvolvimento da cadeia;
- Promover políticas públicas de incentivo industrial e de CT&I voltadas para a fabricação de pós para polimento e vidros e lentes especiais;
- Encaminhar e aprovar o novo marco regulatório mineral, explicitando aspectos referentes ao desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs;
- Equacionar as questões ambientais relacionadas à presença de radionuclídeos em jazidas na legislação brasileira;
- Criar incentivos para investimentos na produção local e/ou atração de empresas para produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes;
- Ampliar e consolidar a infraestrutura de laboratórios e unidades de pesquisa. Incentivar a implantação de instalações industriais de acordo com as melhores tecnologias disponíveis;
- Capacitar recursos humanos para subsidiar o desenvolvimento e as inovações para a produção de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais;
- Promover o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e produtos com *know-how* próprio, registro de propriedade intelectual voltado para o aperfeiçoamento contínuo da cadeia produtiva de aplicações ópticas (pós para polimento e fabricação de vidros e lentes).

A exemplo das cadeias anteriores, apresentam-se os resultados do levantamento de patentes, focalizando-se pós para polimento à base de óxido de cério. Esse levantamento, realizado diretamente na base Derwent Innovations Index, considerando-se o período de 1981 a 2011, permitiu identificar somente 29 patentes, que foram apresentadas em quadro específico no Capítulo 10.



Os depositantes de patentes referentes a pós para polimento à base de TRs no período de 1981 a 2011 são mostrados na Tabela 30.

Tabela 30. Depositantes de patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras: 1981-2011

Depositantes	Nº de patentes
Beijing Non-Ferrous Metal Inst	2
Gansu Rare Earth New Material LLC	2
Auspros Rare Zhuhai Co Ltd	2
Kudryavtseva N L	2
Beijing Fangzheng Rare Earth Sci&Technology	1
Changsha Hanlin Chem Technology Co Ltd	1
Dongguan Zhuoyue Grinding Material Co	1
Ekologiya Sci Prodn Coop	1
Fu S	1
Ganzhou Xinlongkang Rare Earth Co Ltd	1
Grirem Advanced Materials Co Ltd	1
Haohua Technology Ind Co Ltd	1
Huaming High Technology Group Co Ltd	1
Inner Mongolia Winner Metals&Chem Co	1
Kunshan Guangai Electronic Materials Co Ltd	1
Lanjing Chuangxin Sci & Tech Co Ltd	1
Milliron L A	1
Rare Metal Ind Res	1
Shanghai Huaming Gona Rare Earth New Mat	1
Shanghai Minggaona Rare Earth New Material Co Ltd	1
Tian R	1
Univ Guangdong Technology	1
Univ Nankai	1
Univ Peking	1
Univ Peking Founder Group Co	1
Univ Shenyang Jianzhu	1
Univ Zhejiang Normal	1
Xian Maxsun Kores New Materials Co Ltd	1
Xiao H	1
Yongzhou Haozhi Rare Earth Materials Co	1

Conforme apresentado na Tabela 30, a maioria dos proprietários de patentes referentes a pós para polimento à base de TRs é de origem chinesa, diferentemente do observado nas cadeias de ímãs permanentes, ligas metálicas e fósforos, em que predominam empresas japonesas. Nesse caso, houve uma distribuição bastante uniforme, não havendo destaque para um ou mais proprietários.

Finalmente, cabe ressaltar que a construção do cenário global de referência e as proposições voltadas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de TRs, bem como das cadeias referentes a suas aplicações, visam fundamentalmente fortalecer o posicionamento estratégico do Brasil como um país capaz de explorar, de modo sustentável, TRs para as diversas aplicações focalizadas neste estudo prospectivo. Tais proposições foram resultado de um processo participativo e estruturado, envolvendo cerca de 70 especialistas em TRs, oriundos dos setores acadêmico, empresarial e governamental.

Recomenda-se fortemente a ampla divulgação do estudo por parte do MCTI, MME e CGEE e a posterior construção dos *roadmaps* estratégicos do desenvolvimento das cadeias produtivas consideradas estratégicas para o Brasil, envolvendo representantes dos diversos setores associados aos 23 usos industriais de TRs.



Referências

- ABRÃO, A. Química e tecnologia das terras-raras. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994.
- ALMEIDA, M.F.L. Produção científica e propriedade intelectual em terras raras: 1981 – 2011. Mimeo. Brasília: CGEE, 2012.
- _____. Subsídios metodológicos para o estudo prospectivo “Usos e Aplicações de Terras-Raras no Brasil: 2012 - 2030”. Brasília: CGEE. Mimeo. Abril de 2012.
- ALONSO et al. Evaluating rare earth element availability. Environmental Science and technology, v.46, p. 3406-3416. 2012.
- APS PHYSICS WASHINGTON OFFICE. Energy critical elements: securing materials for emerging technologies. Washington: Aps Physics Washington Office 2011.
- BAUER, D.; DIAMOND, D.; LI, J.; SANDALOW, D.; TELLEEN, P.; WANNER, B. Critical Materials Strategy, Department of Energy, 2010. Disponível em: <<http://www.energy.gov/news/documents/criticalmaterialsstrategy.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2012.
- BLOOMBERG NEWS. Global rare earth demand to rise to 210,000 metric tons by 2015, October 18, 2010.
- BNDES. Terras-raras: situação atual e perspectivas. BNDES Setorial, n.35, p. 369 – 420. 2012.
- BRASIL. Instituto Nacional de Propriedade Intelectual. Classificação internacional de patentes atual. Edição 2007:1 (em vigor a partir de 01/01/2007). Disponível em: <<http://pesquisa.inpi.gov.br/patentes/classificacao/classificacao.htm>>. Acesso em: 23 mar. 2012.
- BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI. Portal Inovação. Disponível em: <<http://www.portalinovacao.mct.gov.br>>. Acesso em: junho de 2012.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia – MME/MCT de Minerais Estratégicos. Grupo de Trabalho Interministerial. Perspectivas de desenvolvimento da indústria mineiro-metalúrgica de terras-raras no Brasil. Brasília, 2010.
- _____. Relatório do Grupo de Trabalho Interministerial MME– MCT de Minerais Estratégicos [GTI_ME]. Brasília: MME. MCT. Dezembro de 2011.
- BRASIL. Plano nacional sobre mudança climática. Brasília, 2001.
- CATINAT, M. Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, European Commission Enterprise and Industry, 2010. Disponível em: <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/raw-materials/files/docs/report-b_en.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2012.

CENTER FOR STRATEGIC AND INTERNATIONAL STUDIES. Global rare-earth production: history and outlook. 2010.

CERTI-IFAM. Estudo para a implantação de uma cadeia produtiva de ímãs de terras raras no Brasil. Florianópolis: CERTI-IFAM, 2011.

CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM/MCT. Inventário e classificação das ocorrências de terras raras no Brasil. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010.

CHEN, H. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry. *Journal of Rare Earths*, v. 29, n.1, p. 1-6. 2011.

CONGRESSIONAL RESEARCH SERVICE. China's rare earth industry and export regime: economic and trade implications for the United States 2012.

_____. Rare earth elements: the global supply chain 2012.

CONNELLY, N.G.; DAMHUS, T.; HARTSHORN, R.M.; HUTTON, A.T. Nomenclature of inorganic chemistry: IUPAC. Recommendations. RSC Publishing, Cambridge, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq. Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil. 2012. Disponível em: <<http://dgp.cnpq.br/buscaoperacional/>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM. Sumário Mineral 2011. Brasília: DNPM, 2012.

EGGERT, R.D.; CARPENTER, A.S. FREIMAN, S.W.; GRAEDEL, T.E.; MEYER, D.A.; MCNULTY, T.P.; MOUDGIL, B.M.; POULTON, M.M.; SURGES, L.J.; EIDE, E.A.; ROGERS, N.D. Minerals, critical minerals, and the U.S. economy. Washington, D.C.: The National Academies Press, 2008, 246 p.

ELSEVIER B.V. Scopus Database. Disponível em: <<http://www.scopus.com/home.url>>. Acesso em: 23 mar. 2012.

ERNST & YOUNG. Material risk impact to EU high-tech industries? Rare Earths: Europe-Australia cooperation on trade, security and sustainability. New York: Ernst &Young, 2010.

_____. Rare Earth Elements: opportunities and challenges. New York: Ernst &Young, 2010.

_____. Technology minerals: the rare earths race is on!. New York: Ernst &Young, 2011.

EUROPEAN COMMISSION. Critical raw materials for the EU: Report of the Ad-hoc Working Group on Defining Critical Raw Materials. 2010.

FROST & SULLIVAN. The global role of rare earth materials. New York: Frost &Sullivan, 2011.



- GODET, M. A caixa de ferramentas da prospectiva estratégica. Lisboa: Cepes, 2000.
- _____. Manual de prospectiva estratégica: da antecipação à acção. Coleção Gestão & Inovação, Série Macrotendências, n.1, Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1993.
- _____. Manuel de prospective strategique: tome 1 – une indisciplinée intellectuelle. 2. ed. Paris: Dunod, 2001.
- GUIMARÃES, L.S. Terras raras e minerais estratégicos. Apresentação na Câmara dos Deputados. Brasília, 2011.
- HATCH, G.P. Critical rare earths: global supply & demand projections and the leading contenders for new sources of supply. Carpentersville, IL: Technology Metals Research, LLC, Aug 2011.
- HEDRICK, J.B. Yttrium. U.S. Geological Survey, January 2012.
- HEFA Rare Earth Canada Ltd. 2012. Disponível em: www.baotou-rareearth.com. Acesso em: 23 mar. 2012.
- INSTITUTE FOR THE ANALYSIS OF GLOBAL SECURITY. IAGS. China's rare earth elements industry: what can the west learn?. 2010.
- JAFFE, R.; PRICE, J.; CEDER, G.; EGGERT, R.; GRAEDEL, T.; GSCHNEIDNER, K.; HITZMAN, M.; HOULE, F.; HURD, A.; KELLEY, R.; KING, A.; MILLIRON, D.; SKINNER, B.; SLAKEY F.; RUSSO, J., Energy critical elements: securing materials for emerging technologies. Washington: APS Physics Washington Office, 2011. Disponível em: <<http://www.aps.org/policy/reports/popa-reports/loader.cfm?csModule=security/getfile&PageID=236337>>. Acesso em: 23 mar. 2012.
- MIT. AMERICAN CHEMICAL SOCIETY. Evaluating rare earth element availability: a case with revolutionary demand from clean technologies. 2012.
- MIT. Critical elements for new energy technologies: An MIT Energy Initiative Workshop Report. Boston: MIT, 2010.
- ÖKO-INSTITUT E.V. Study on rare earths and their recycling. 2011.
- RARE EARTH INDUSTRY AND TECHNOLOGY ASSOCIATION. Commercial Applications for Rare Earth Technologies. Disponível em:< <http://www.reitaglobal.org>> Acesso em: 23 mar. 2012.
- RESEARCHINCHINA. China rare earth permanent magnet industry report, 2011-2012. 2012.
- ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS. The rare earths challenge: how companies react and what they expect for the future. 2011
- SCHWARTZ, P. A arte da previsão: planejando o futuro em um mundo de incertezas. São Paulo: Ed. Best Seller, 2000.
- SCHWARTZ, P. Cenários: as surpresas inevitáveis. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 2003.

TECHNOLOGY METALS RESEARCH, LLC. Critical rare earths. Global supply & demand projections and the leading contenders for new sources of supply. 2011

THE NATIONAL ACADEMIES PRESS. Minerals, critical minerals, and the U.S. economy. Washington D.C.: The National Academies Press, 2007.

THOMPSON SCIENTIFIC INFORMATION. ISI. Derwent innovations index. Disponível em: <<http://gos.isiknowledge.com>>. Acesso em: 12 mar. 2012.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. USGS. Mineral commodity summaries. 2012.

U.S.-CHINA ECONOMIC AND SECURITY REVIEW COMMISSION. Staff Backgrounder China's rare earths industry and its role in the international market .2010.

US DOE. Critical materials strategy. 2010.

VIEIRA, E.V.; LINS, F.F. Concentração de minérios de terras-raras: uma revisão. Série Tecnologia Mineral, n. 73. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997.



Anexo 1: Glossário

Atores: São entidades ou grupos de influência, organizações públicas ou privadas, instâncias de decisão, classes sociais, agentes econômicos. Governo federal, grandes companhias privadas, empresas estatais, organizações não governamentais são exemplos de atores.

Cadeia causal: Representação gráfica das relações de causa e efeito entre variáveis externas (TRs no mundo) e variáveis internas (TRs no Brasil) que permite identificar as forças motrizes (*drivers*), as variáveis de ligação e as de resultado. Apoia a descrição das trajetórias.

Cenários prospectivos: Descrições de futuros qualitativamente distintos para um sistema e seu contexto e dos caminhos ou trajetórias que os ligam à situação inicial deste sistema e seu contexto (nesse caso, é do contexto mundial de TRs). Compreendem a descrição de uma situação de origem e dos acontecimentos que conduzem à situação futura. Esse conjunto de acontecimentos ou “jogo de hipóteses” deve apresentar uma coerência interna.

Condicionantes do futuro: Tendências, invariantes, mudanças em andamento, fatos portadores de futuro e incertezas críticas (condicionante de alto impacto e de alta incerteza).

Condições de plausibilidade do cenário: Condições que tornam plausíveis as trajetórias descritas para cada período considerado (nesse caso, 2012-2020 e 2021-2030).

Fato Portador de Futuro (FPF): Sinal fraco hoje, porém de impacto potencial muito alto no horizonte de tempo considerado.

Filosofia do cenário: Sintetiza o movimento ou a direção fundamental do sistema considerado. Traduz a ideia-força do cenário, como, por exemplo, desenvolvimento sustentável.

Incerteza crítica (INC): Fenômeno ou situação do contexto mundial que, devido ao seu alto grau de incerteza e de impacto para o futuro das cadeias produtivas de TRs no horizonte considerado, constitui uma incerteza crítica.

Invariante (INV): Fenômeno ou situação que se mantém constante até o horizonte explorado pelo cenário.

Matriz SWOT: Matriz que visa explicitar as interações relevantes entre as oportunidades e ameaças, pontos fortes e pontos fracos que servem de base para identificação dos principais objetivos estratégicos. A matriz deve ser analisada em função dos seguintes quadrantes: (i) Quadrante 1: (Pontos Fortes x Oportunidades) – visualiza as potencialidades e capacidade de aproveitar as oportunidades mediante seus atuais pontos fortes; (ii) Quadrante 2: (Pontos Fortes x Ameaças) – visualiza a capacidade defensiva da instituição de minimizar com seus pontos fortes as ameaças; (iii) Quadrante 3: (Pontos Fracos x Oportunidades) – visualiza as debilidades que dificultam o aproveitamento das oportunidades; e (iv) Quadrante 4: (Pontos Fracos x Ameaças) – visualiza as vulnerabilidades que acentuam as possibilidades de concretização das ameaças.

Mudança em andamento (MAN): Movimento de atores ou variáveis que já estão ocorrendo e que poderão ter impactos no horizonte do cenário.

Objetivos estratégicos: Objetivos que deverão orientar estrategicamente o gerenciamento das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças identificadas na análise *SWOT* para o alcance da visão de futuro definida para um determinado horizonte temporal.

Roadmap estratégico: Processo de planejamento que permite aos tomadores de decisão identificar, avaliar e selecionar alternativas estratégicas para atingir objetivos definidos, em alinhamento à visão de futuro e a valores num determinado horizonte temporal. No *foresight* estratégico, o *roadmap* é utilizado para a avaliação estratégica em relação à identificação de oportunidades, gargalos e desafios. Identificam-se hiatos entre a situação atual e a visão de futuro desejada de tal forma que as diretrizes e ações estratégicas propostas possam preencher efetivamente tais hiatos.

Tendência (TEN): Perspectiva cuja direção é suficientemente visível para se admitir sua permanência no período considerado. Movimento bastante provável de um ator ou variável dentro do horizonte do cenário.

Trajetória em um determinado período: Percurso ou caminho das variáveis do contexto ou do sistema (nesse caso, do contexto TRs no mundo) no horizonte de tempo considerado. Descreve o movimento ou a dinâmica do contexto mundial a partir da cena inicial até a cena final.

Visão de futuro: Algo concreto que se deseja alcançar num determinado espaço temporal. Nesse caso, a visão é uma descrição clara de intenções estratégicas do país em um prazo determinado e é representada pela declaração sobre o futuro da cadeia produtiva de TRs no horizonte determinado. A visão de futuro deve representar as expectativas e os legítimos interesses das entidades envolvidas (governo, empresas, ICTs e outras partes interessadas) para a evolução de um determinado sistema ou organização.



Anexo 2: Participantes do *workshop* “Terras Raras: Cenários Prospectivos Globais e Cenário de Referência: 2012-2030”

Adalberto Fazzio | MCTI/SETEC
 Adriana Badaró | CGEE
 Alexandre Fernandes Marques | CGEE
 Luciano Pagano Júnior | CTMSP
 Aloisio Nelmo Klein | UFSC/EMC/LabMat
 Alvaro Gregorio Silva | Ugimag Brasil
 Bruno Domenico Bragazza | Robert Bosch Ltda
 Carlos Alberto Rosa | TCU
 Carlos Alberto Schneider | UFSC/CERTI
 Carlos Augusto Caldas de Moraes | CGEE
 Carlos Eduardo da Silva Braga | MBAC Fertilizantes
 Carlos Nogueira da Costa Junior | MME/SGM
 Claudio Scliar | MME/SGM
 Cristina Ferreira Correia Silva | MCTI/Setec
 Daniel Alves de Lima | MME/SGM
 Edmilson Rodrigues da Costa | Spectrum
 Eduardo Celino | MDIC
 Eduardo Falabella Sousa-Aguiar | Petrobras
 Elisa Marin | Embaixada da França no Brasil
 Elaine Marcial | SAE
 Elzvir Azevedo Guerra | MME
 Eptácio Pinto Marinho | CNPq
 Euler Martins Lage | CNPq
 Fabiano Tonucci | Vale
 Fernando Antonio Lins | Cetem
 Fernando José Landgraf | IPT
 Fernando Whiteros Torres | Embraco
 Filipe Wiltgen | VSE
 Frank Missel | UCS/RS
 Frederico Montenegro | MME
 Guilherme Sales Melo | CNPq
 Horacício Leal Barbosa Filho | ABM
 Iran Ferreira Machado | Unicamp
 José Carlos Bressiani | IPEN/Cnen
 José Ferreira Leal | Consultor
 Josimar Gomes da Silva | CTMSP
 Kiomar Oguino | DNPM
 Leonam dos Santos Guimarães | Eletronuclear
 Luciana da Silva Teixeira | Câmara dos Deputados
 Lucy Takehara Chemale | CPRM
 Marcelo Lima | CPRM
 Marcelo Tunes Ribeiro | Ibram
 Marcio Gabriel Ribeiro | SEF/Exército Brasileiro
 Marcos Teixeira | Câmara dos Deputados
 Marcus de Freitas Simões | CGEE
 Maria Fatima Ludovico de Almeida | PUC/Rio - consultora do CGEE
 Marisa Nascimento | Cetem
 Mathias Heider | DNPM
 Miguel Nery | ABDI
 Milton da Paz | CGEE
 Natacha Carvalho Ferreira Santos | CNPq
 Osvaldo Antonio Serra | USP/Ribeirão Preto
 Paulo Cesar Ribeiro Lima | Câmara dos Deputados
 Paulo Emilio David Chaves | FCC
 Paulo Motta | Câmara dos Deputados
 Paulo Sergio Moreira Soares | Cetem
 Paulo Antonio Pereira Wendhausen | UFSC/EMC/Labmat
 Renan Martins de Sousa | TCU
 Rinaldo Cesar Mancin | Ibram
 Romualdo Paes de Andrade | DNPM
 Ronaldo Luiz Correa dos Santos | Cetem
 Rubens de Andrade Junior | UFRJ
 Tassia de Melo Arraes | MCTI
 Tawana Sousa | CPRM
 Tomaz Back Carrijo | CGEE

Anexo 3: Participantes das reuniões de “Construção do *Roadmap* Estratégico da Cadeia Produtiva de Terras Raras no Brasil: 2012-2030”

Alexandre Fernandez | Univ. Candido Mendes
Carlos Augusto Caldas de Moraes | CGEE
Cristina Ferreira Correia Silva | MCTI/Setec
Daniel Alves de Lima | MME/SGM
Daniel Rodrigues | Brats
Edmar Medeiros | MBAC
Eduardo Falabella Sousa-Aguiar | Petrobras e UFRJ
Elzivir Azevedo Guerra | MME
Fatima Maria Zanon Zotin | UERJ
Fernando Antonio Freitas Lins | Cetem
Fernando José Landgraf | IPT
Ivan Ondino de Carvalho Masson | Cetem
José F. Leal | Consultor
Lucia Gorenstin Appel | INT

Marco Cremona | PUC/Rio
Marcos Henrique Botelho | CBMM
Maria Fatima Ludovico de Almeida | PUC/Rio - consultora do CGEE
Marisa Nascimento | Cetem
Osvaldo Antonio Serra | USP/Ribeirão Preto
Paulo Sergio Moreira Soares | Cetem
Paulo Antonio Pereira Wendhausen | UFSC/EMC/Labmat
Ronaldo Luiz Correa dos Santos | Cetem
Tassia de Melo Arraes | MCTI/Setec
Vanessa Neves Chermant da Costa | FCC
Victor Pellegrini Mammanna | CTI



Anexo 4: Principais universidades e institutos de pesquisa com projetos de P&D associados à cadeia produtiva de terras raras no Brasil

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN	Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares	Análise por Ativação com Nêutrons de Materiais Geológicos	Linha de pesquisa: Análise de elementos terras raras, urânio, tório e outros elementos traço em materiais geológicos por ativação neutrônica. Descrição: Determinação de urânio, tório, terras raras e outros elementos traço em materiais geológicos por análise por ativação neutrônica para estudos geoquímicos. Realização de trabalhos em colaboração com pesquisadores da área de geociências da USP, Unicamp e UFRGS. Trabalho de iniciação científica em colaboração com o Instituto Astronômico e Geofísico da USP dentro do programa CNPq/Pibic.	Ana Maria Graciano Figueiredo Leila Soares Marques
		Desenvolvimento de Materiais e Lasers de Estado Sólido	Linha de pesquisa: Espectroscopia óptica de terras raras. Descrição: A Espectroscopia óptica de íons de terras raras (3+) nos sólidos visa ao desenvolvimento de novos meios laser ativos emissores na região do ultravioleta e do infravermelho, a partir da investigação dos mecanismos de transferência de energia e da dinâmica temporal dos estados excitados destes íons sob excitação laser seletiva de alta intensidade na região espectral de 0,4 a 2mm, incluindo os efeitos de concentração de dopantes e de temperatura.	Laercio Gomes Sonia Licia Baldochi Líliá Coronato Courrol
	Órgão: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear	Desenvolvimento e Otimização de Processos Hidrometalúrgicos	Linha de pesquisa: Separação e purificação de elementos terras raras. Descrição: Desenvolvimento de processos para a separação e obtenção de elementos terras raras individuais de elevada pureza, visando ao domínio da tecnologia, hoje dominada por poucos países.	Carlos Antônio de Moraes Ana Claudia Queiroz Ladeira Carlos Antônio de Moraes Marcelo Borges Mansur Renata Dias Abreu Chaves Virginia Sampaio Teixeira Ciminelli
	Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Unidade: Centro de Química e Meio Ambiente	Grupo de Materiais Nanoestruturados Funcionais	Linha de pesquisa: Desenvolvimento de supermoléculas e nanomateriais luminescentes para biodiagnóstico e diagnóstico ambiental. Descrição: Essa linha tem como objetivo geral o <i>design</i> e o desenvolvimento de nanomateriais luminescentes para aplicação em ensaios biológicos e ambientais, para diagnóstico e detecção de substâncias tóxicas. A proposta tem como finalidade desenvolver tecnologia nacional para obtenção de marcadores fluorescentes de vida longa para utilização em fluorimunoensaios (FIA), (DELFI) e (FRET), tendo como base compostos de lantanídeos.	Cláudia Akemi Kodaira Góes Duclerc Fernandes Parra Maria Aparecida Faustino Pires Maria Claudia F. da Cunha Felinto Paulo Ernesto de O. Lainetti

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (cont.)	Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Unidade: Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais	Materiais e Desenvolvimento Sustentável	Linha de pesquisa: Desenvolvimento de componentes para queimadores de biogás. Descrição: Contribuir para o desenvolvimento de utilização de biogás para a geração de energia luminosa e térmica, desenvolvendo materiais e processos de fabricação de bulbos e dispersores de gás de materiais cerâmicos. Palavras-chave: natural; meio ambiente; processamento cerâmico; terras raras.	Chieko Yamagata Sonia Regina Homem de Mello Castanho
	Órgão: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear Unidade: Serviço de Nanotecnologia	Nanociência, Física de Superfícies e Espectroscopia Mössbauer	Linha de pesquisa: Nanoestruturas magnéticas baseadas em metais de transição 3D. Descrição: Estudo da síntese e das correlações estrutura X magnetismo em nanoestruturas magnéticas preparadas por diferentes rotas. Estamos investigando principalmente o acoplamento de bicamadas de materiais ferromagnéticos e antiferromagnéticos (FM/AFM), efeitos magneto-volumétricos em filmes ultrafinos e multicamadas e, ainda, a estrutura e o magnetismo de nanopartículas metálicas e de óxidos magnéticos.	Adriana Silva de Albuquerque José Domingos Ardisson Luís Eugenio Fernandez Outon Maximiliano Delany Martins Pedro Lana Gastelois Thatyara Freire de Souza Waldemar A. de A. Macedo
	Órgão: Instituto de Engenharia Nuclear Unidade: Supervisão de Tecnologia Química	Processos Químicos	Linha de pesquisa: Obtenção de materiais por spray dryer e leito fluidizado. Descrição: idem.	Gloria Regina da Silva Wildhagen
	Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares Unidade: Departamento de Engenharia Química e Ambiental	Química Supramolecular e Nanotecnologia de Elementos F	Linha de pesquisa1: Caracterização de novos materiais poliméricos contendo íons de terras raras. Descrição: Síntese de materiais poliméricos a partir de precursores contendo íons de terras raras e sua caracterização por métodos de análise térmica, espectroscopia no infravermelho, de massas, de ressonância magnética de hidrogênio e carbono e espectroscopia eletrônica. Linha de pesquisa2: Materiais com persistência luminescente. Descrição: Desenvolvimento de materiais com persistência de luminescência para serem utilizados como marcadores ópticos e marcação para segurança. Linha de pesquisa3: Nanopartículas magnéticas luminescentes para aplicações biológicas. Descrição: Complexos de lantanídeos; polímero luminescente; química supramolecular. Linha de pesquisa 4: Química de separação e reconhecimento molecular de elementos F. Descrição: Desenvolvimento de novos materiais, produtos e serviços voltados para a defesa e proteção do meio ambiente. Linha de pesquisa 5: Síntese de supermoléculas de elementos F e suas aplicações. Descrição: Desenvolver novos materiais supramoleculares baseados em elementos F para aplicações na área de sensores.	Ademar Benévolo Lugão Hermi Felinto de Brito Jiang Kai Maria Claudia F. da C. Felinto Jorma Holsa Roberval Stefani Jacinete Lima dos Santos Ruth Luqueze Camilo Ercules E. de Sousa Teotonio Oscar Manoel Loureiro Malta Luiz Antonio de Oliveira Nunes Marco Cremona



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN (cont.)	<p>Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares</p> <p>Unidade: Laboratório de Radiometria Ambiental</p>	Radioecologia e Radioproteção Ambiental	<p>Linha de pesquisa: Determinação da taxa de sedimentação e concentração de radionuclídeos, elementos terras raras e traços em sedimentos recentes do estuário e baía de Santos.</p> <p>Descrição: Determinação da taxa de sedimentação e concentração de radionuclídeos, elementos terras raras e traços em sedimentos recentes do estuário e baía de Santos.</p>	Deborah Inês Teixeira Favaro Paulo Sergio Cardoso da Silva
	<p>Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares</p> <p>Unidade: Centro de Células a Combustível e Hidrogênio</p>	Síntese e Purificação de Compostos de Interesse Nuclear	<p>Linha de pesquisa: Tratamento de um rejeito contendo tório e terras raras (RETOTER).</p> <p>Descrição: Como consequência da operação de uma unidade de purificação de tório, acumulou-se uma pasta residual obtida da alcalinização dos efluentes, rica em terras raras, contendo ainda tório e pequeno teor de urânio, registrada como RETOTER. Contém, ainda, outras impurezas e os radioisótopos naturais das séries do urânio e do tório. O objetivo é desenvolver um processo para tratar esse rejeito, visando à obtenção de tório com alto grau de pureza e o fracionamento das terras raras.</p>	Fátima Maria Sequeira de Carvalho José Antônio Seneda Josiane Zini
	<p>Órgão: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares</p> <p>Unidade: Centro de Ciência e Tecnologia de Materiais</p>	Grupo de Estudo e Desenvolvimento de Vidros e Compósitos	<p>Linha de pesquisa: Desenvolvimento de selantes herméticos para união metal/cerâmica, cerâmica/cerâmica.</p> <p>Descrição: Desenvolver vidros e vitro-cerâmicas que possam atuar na selagem hermética de componentes de células combustíveis e que apresentem características físico-químicas adequadas para garantir a funcionalidade no dispositivo.</p> <p>Linha de pesquisa: Pesquisa e desenvolvimento de vidros e vitro-cerâmicas.</p> <p>Descrição: Pesquisa e desenvolvimento de vidros e vitro-cerâmicas para aplicações ópticas, médicas, imobilização de rejeitos e obtenção de vidrados a partir de resíduos industriais.</p>	José Roberto Martinelli Luciana Reyes Pires Kassab Frank Ferrer Sene Signo Tadeu dos Reis Ulisses Soares do Prado

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Unesp	<p>Órgão: Instituto de Química de Araraquara</p> <p>Unidade: Departamento de Química Geral e Inorgânica</p>	<p> Materiais Luminescentes</p>	<p>Linha de pesquisa1: Química de coordenação de terras raras.</p> <p>Descrição: Síntese, caracterização e estudo de propriedades luminescentes de compostos de coordenação de terras raras.</p> <p>Linha de pesquisa2: Espectroscopia eletrônica de compostos de coordenação: terras raras e metais da 1ª série de transição.</p> <p>Descrição: Investiga-se as propriedades espectroscópicas e estruturais de compostos de coordenação de lantanídeos (Ln3+) monometálicos, heterobimetálicos (Ln3+-Ln3+ e/ou Ln3+-d). Ênfase tem sido dada aos compostos de coordenação com ligantes quelantes absorvedores na região UV-vis, estáveis, e com processos não radiativos multifonon minimizados.</p> <p>Linha de pesquisa3: Propriedades ópticas de precursores e de materiais.</p> <p>Descrição: Estudo das propriedades estruturais, morfológicas e ópticas de precursores e de materiais para obtenção de pós, filmes, compósitos e compostos suportados utilizados em dispositivos luminescentes como lâmpadas, <i>lasers</i>, tubos de raios catódicos e cintiladores. Enfatiza-se também o desenvolvimento de novos materiais através de rotas alternativas de síntese e sua caracterização.</p>	<p>Elizabeth Berwerth Stucchi Marco Aurélio Cebim Marian Rosaly Davolos Ana Maria Pires Sergio Antonio Marques de Lima</p>
	<p>Órgão: Faculdade de Ciências de Bauru</p> <p>Unidade: Departamento de Física</p>	<p>Defeitos em Semicondutores e Dielétricos</p>	<p>Linha de pesquisa 1: Semicondutores dopados com terras raras obtidos por evaporação.</p> <p>Descrição: Dopagem de semicondutores com íons terras raras.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Semicondutores óxidos dopados com terras raras.</p> <p>Descrição: Dopagem de semicondutores óxidos com íons terras raras, combinando a alta transparência da matriz com propriedades luminescentes das terras raras. O objetivo no longo prazo é a produção de dispositivos de comunicação via fibra óptica, principalmente dispositivos eletroluminescentes.</p>	<p>Luís Vicente de A. Scalvi Rosa Maria F. Scalvi Elisabete A. Andreollo Rubo Ligia de Oliveira Ruggiero</p>
	<p>Órgão: Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente</p> <p>Unidade: Departamento de Física, Química e Biologia</p>	<p>Grupo de Compósitos e Cerâmicas Funcionais</p>	<p>Linha de pesquisa: Nanomarcadores e sondas luminescentes.</p> <p>Descrição: Investigação de nanomateriais luminescentes contendo íons terras raras para aplicação em marcação biológica, como onda estrutural e sensores químicos.</p>	<p>Ana Maria Pires Marcos Augusto de Lima Nobre</p>
	<p>Órgão: Instituto de Química de Araraquara</p> <p>Unidade: Departamento de Química Geral e Inorgânica</p>	<p>Laboratório de Materiais Fotônicos – LAMF</p>	<p>Linha de pesquisa1: Espectroscopia de íons lantanídeos.</p> <p>Descrição: Estudo espectroscópico de íons lantanídeos em cristais, vidros, vitrocerâmicas e guias de luz. Parâmetros de campo cristalino e de intensidade são estudados em função da matriz.</p> <p>Linha de pesquisa2: Fibras ópticas.</p> <p>Descrição: Obtenção e caracterização de fibras ópticas especiais à base de óxidos, fluoretos e calcogenetos para aplicações em telecomunicações e sensoriamento.</p> <p>Linha de pesquisa3: Vidros e vitrocerâmicas.</p> <p>Descrição: Estudo de vidros especiais óxidos e não óxidos para fotônica.</p>	<p>José Maurício Almeida Caiut Sidney Jose Lima Ribeiro Younes Messaddeq Sílvia Helena Santagneli</p>



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
	Órgão: Instituto de Química de Araraquara Unidade: Departamento de Bioquímica e Tecnologia Química	Bio-hidrometalurgia	Linha de pesquisa: Biossorção de metais terras raras por sistemas celulares. Descrição: Desenvolver processo para concentração de metais terras raras, utilizando-se vários tipos de biomassa.	Oswaldo Garcia Junior
		Bioprocessos Aplicados à Mineração e Meio Ambiente	Linha de pesquisa: Biossorção de metais terras raras por sistemas celulares. Descrição: Desenvolver processo para concentração de metais terras raras, utilizando-se vários tipos de biomassa.	Denise Bevilaqua Mauricio Cesar Palmieri
	Órgão: Faculdade de Ciências e Tecnologia de Presidente Prudente Unidade: Departamento de Física Química e Biologia	Luminescência de Materiais e Sensores	Linha de pesquisa 1: Complexos de lantanídeos. Descrição: Síntese e estudo de complexos de íons lantanídeos. Linha de pesquisa 2: Complexos de metais de transição. Descrição: Síntese e estudo de complexos de metais de transição. Linha de pesquisa 3: Compostos intermetálicos supermoleculares. Descrição: Síntese e estudo de compostos intermetálicos de metais de transição e lantanídeos. Linha de pesquisa 4: Materiais Luminescentes contendo lantanídeos Descrição: Idem.	Ana Maria Pires Sergio Antônio Marques de Lima
Universidade Federal de Goiás – UFG	Órgão: Departamento de Química	Centro Multidisciplinar em Materiais de Catalão	Linha de pesquisa1:: Interdisciplinar. Descrição: Trabalhar com matérias não metálicos e/ou inorgânicos; complexos inorgânicos; materiais; não metais; rutênio; terras raras. Linha de pesquisa2:: Processamento e caracterização de cerâmicas eletrônicas, catálise e sensores; processamento de materiais. Descrição: Caracterização de cerâmicas; nanoestruturas; nanopartículas; processamento; síntese. Linha de pesquisa3:: Química de materiais. Descrição: Catalisadores; cerâmica eletrônica; pigmentos; sensores; síntese de nanopós; varistores.	Alberthmeiry T. de Figueiredo Luciana Melo Coelho Alessandro de Souza Carneiro Maria Fernanda do C. Gurgel Antonio Eduardo da H. Machado Maria Rita de Cássia Santos Gustavo Von Poelhsitz Mario Godinho Junior Jalles Franco Ribeiro da Cunha Roseâmely de Carvalho Barros Leonardo Santos Andrade

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Física	Nano Óptica	<p>Linha de pesquisa1: Espectroscopia óptica de nanopartículas. Descrição: Investigar as propriedades ópticas lineares e não lineares de nanopartículas dielétricas e metálicas isoladas ou embebidas em matrizes poliméricas ou dielétricas. Linha de pesquisa2: Microcavidades óticas. Descrição: Estudar experimental e teoricamente a interação da luz com a matéria em nanoescala e em um nível fundamentalmente quântico. Linha de pesquisa3: Microscopia óptica de ultra-alta resolução. Descrição: Estudo das propriedades ópticas de emissores de luz de tamanhos nanoscópicos com resolução espacial sub-lambda.</p>	Carlos Augusto G. Jamioy Cid Bartolomeu de Araújo Kelly Cristina Jorge Leonardo de Souza Menezes Luís Arturo Gómez Malagón
	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Física	Óptica Não Linear	<p>Linha de pesquisa1: Fenômenos ópticos em vidros dopados com terras raras. Descrição: Estudar fenômenos ópticos em vidros dopados com terras raras. Linha de pesquisa2: Espectroscopia não linear de materiais nanoestruturados. Descrição: Espectroscopia não linear de materiais nanoestruturados.</p>	Cid Bartolomeu de Araújo Edilson Lucena Falcão Filho Leonardo de Souza Menezes
	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Química Fundamental	Catálise e Organometálicos	<p>Linha de pesquisa: Catálise metálica. Descrição: O objetivo principal dessa linha de pesquisa é a preparação de novos compostos de coordenação, utilizando metais da família dos lantanídeos, e estudar o comportamento destes em reações de catálise assimétrica. Nesse contexto, a catálise homogênea assume um papel muito importante, uma vez que, mediante o emprego de catalisadores apropriados, quantidades estequiométricas de reagentes e/ou resíduos metálicos podem ser evitados.</p>	Gilberto Fernandes de Sá Jefferson Luiz Princival



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (cont.)	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Química Fundamental	Desenvolvimento de Materiais Avançados em Nível Molecular	Linha de pesquisa1: Histoquímica com criptatos de lantanídeos. Descrição: Marcação de tecidos modificados maligna e benignamente. Linha de pesquisa2: Síntese de novos marcadores luminescentes. Descrição: Síntese de complexos de lantanídeos que possam ser utilizados como DMCLs. Linha de pesquisa3: Síntese de novas MOFs (Metal Organic Frameworks) Descrição: Síntese de complexos de lantanídeos que possam ser utilizados como DMCLs.	Ricardo Oliveira Freire Severino Alves Junior André Galembeck Gilberto Fernandes de Sá Maryene Alves Camargo Cristiane Kelly de Oliveira Eduardo Henrique Lago Falcão Ingrid Távora Weber Marcelo Oliveira Rodrigues Gerd Bruno da Rocha
	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Química Fundamental	Grupo de Arquitetura de Nanodispositivos Fotônicos	Linha de pesquisa1: compostos de coordenação com lantanídeos. Descrição: Estudo de complexos fluorados voláteis; complexos luminescentes; complexos luminescentes em solução aquosa; macrocíclicos; novos ligantes e precursores de filmes finos fotodegradáveis. Linha de pesquisa2: Desenvolvimento de nanodispositivos fotônicos e optoeletrônicos. Descrição: Desenvolvimento de dispositivos fotônicos com base em nanotecnologia molecular e interfaces.	Gilberto Fernandes de Sá Oscar Manoel Loureiro Malta Petrus D Amorim Oliveira Severino Alves Junior Walter Mendes de Azevedo André Galembeck Flávia Menezes Barreto Silva Ricardo Luiz Longo
	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Química Fundamental	Química Teórica e Computacional	Linha de pesquisa1 : Compostos de coordenação com lantanídeos. Descrição: Estudo e desenvolvimento de marcadores ópticos baseados em compostos com íons lantanídeos. Linha de pesquisa2: Simulação computacional de materiais. Descrição: Utilização de técnicas de simulação computacional de Monte Carlo e de dinâmica molecular na determinação de propriedades de materiais vítreos e de materiais porosos: adsorção, difusão, propriedades ópticas e fotônicas.	Oscar Loureiro Malta Ricardo Luiz Longo Gustavo de Miranda Seabra

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade de São Paulo – USP	<p>Órgão: Instituto de Química</p> <p>Unidade: Departamento de Química Fundamental</p>	Elementos do Bloco F	<p>Linha de pesquisa1: Dispositivos eletroluminescentes à base de terras raras.</p> <p>Descrição: Existe atualmente um crescente interesse por dispositivos eletroluminescentes (EL) utilizando íons terras raras trivalentes (TR3+) como centro emissor, conhecidos por exibirem alta luminescência. No estudo fotoluminescente, serão preparados complexos com b-dicetonatos e íons Sm3+, Eu3+ e Tb3+, contendo ligantes fosfinóxido e sulfóxidos que possibilitarão projetar dispositivos eficientemente eletroluminescentes.</p> <p>Linha de pesquisa2: Espectroscopia de terras raras.</p> <p>Descrição: Preparar e caracterizar compostos de terras raras altamente luminescentes e estudar as propriedades fotoluminescentes e eletroluminescentes.</p> <p>Linha de pesquisa3: Fotoluminescentes de terras raras.</p> <p>Descrição: Os dicetonatos de TR3+ exibem cores monocromáticas de emissão e apresentam altos rendimentos quânticos. Essas propriedades indicam que esses sistemas apresentam grande potencial como camadas emissoras em dispositivos eletroluminescentes.</p> <p>Linha de pesquisa4: Polímeros luminescentes à base de terras raras.</p> <p>Descrição: Desenvolvimento de polímeros luminescentes à base de terras raras.</p>	<p>Hermi Felinto de Brito</p> <p>Marco Cremona</p> <p>Oscar Manoel Loureiro Malta</p> <p>Luiz Antônio de Oliveira Nunes</p> <p>Maria Claudia França da Cunha Felinto</p> <p>Ercules E. de Sousa Teotônio</p> <p>Duclerc Fernandes Parra</p>
Universidade de São Paulo – USP	<p>Órgão: Instituto de Química</p> <p>Unidade: Departamento de Físico-química</p>	Grupo de Eletroquímica	<p>Linha de pesquisa1: Desenvolvimento de materiais eletródicos.</p> <p>Linha de pesquisa2: Reatores Químicos e Catálise Heterogênea.</p> <p>Linha de pesquisa3: Sistemas Complexos e Dinâmica não linear.</p>	<p>Alessandra Fonseca Lucrédio</p> <p>Hamilton B. V. de Albuquerque</p> <p>Ana Paula Martins Camargo</p> <p>Janaina Fernandes Gomes</p> <p>Camilo Enrique La Rotta</p> <p>Hernández Joelma Perez</p> <p>César Augusto Duarte</p> <p>Rodríguez</p> <p>Jorge David Alguiar Bellido</p> <p>Cristiane Pontes de Oliveira</p> <p>José Joaquín Linares León</p> <p>Edson Antonio Ticianelli</p> <p>Luiz Henrique Gasparotto</p> <p>Eduardo Gonçalves Ciapina</p> <p>Maria Cecília Henrique Tavares</p> <p>Elisabete Moreira Assaf</p> <p>Mauro Roberto Fernandes</p> <p>Ernesto Rafael Gonzalez</p> <p>Patricia Maria Patrizi Pratta</p> <p>Fabio Henrique Barros de Lima</p> <p>Silvia Sálua Maluf</p> <p>Germano Tremiliosi Filho</p> <p>Valdecir Antonio Paganin</p>



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
	<p>Órgão: Instituto de Física de São Carlos</p> <p>Unidade: Departamento de Física e Ciência dos Materiais</p>	Estrutura e Função de Materiais Ópticos	<p>Linha de pesquisa1: Materiais híbridos luminescentes baseados em complexos de metais de transição e lantanídeos.</p> <p>Descrição: Desenvolvimento de materiais híbridos luminescentes baseados em complexos de metais de transição e lantanídeos.</p> <p>Linha de pesquisa2: Síntese e caracterização de materiais fotônicos micro- e mesoporosos.</p> <p>Descrição: Espécies altamente luminescentes como moléculas de corantes e complexos de íons terras raras podem ser incorporados nos micro- e mesoporos de vidros e cerâmicas. Essa linha de pesquisa interdisciplinar envolve a síntese e a caracterização estrutural e fotofísica de vários desses materiais por meio de técnicas de espectroscopia óptica e de RMN de estado sólido.</p> <p>Linha de pesquisa3: Estudos espectroscópicos de sólidos com propriedades ópticas e magnéticas.</p> <p>Descrição: Essa linha de pesquisa inclui estudos estruturais e espectroscópicos de cristais, vidros e cerâmicas dopados com íons metálicos dos blocos F e D. Esses materiais encontram aplicações como meios ativos para <i>laser</i>, guias de onda, sensores, amplificadores, etc. As caracterizações são feitas por meio de técnicas de espectroscopia óptica e de ressonância magnética nuclear de alta resolução em sólidos, entre outras. Os projetos da linha envolvem colaborações nacionais e internacionais.</p>	Andrea Simone Stucchi de Camargo Alvarez Bernardez Hellmut Eckert
Universidade de São Paulo – USP	<p>Órgão: Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto</p>	Laboratório de Terras Raras	<p>Linha de pesquisa 1: Catalisadores para motores a diesel.</p> <p>Descrição: Este trabalho procura novos aditivos à base de complexos de cério para adição em biodiesel, visando diminuir a emissão de poluentes atmosféricos, principalmente, material particulado.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Desenvolvimento de novos catalisadores e tecnologias para a síntese de biodiesel etílico.</p> <p>Descrição: Desenvolvimento e aplicação de catalisadores inovadores na síntese desse combustível e que possam ser escalonados à produção industrial, sem depender da qualidade das matérias-primas, capazes de transformar a produção de biodiesel.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Terapia Fotodinâmica.</p> <p>Descrição: Síntese de novos compostos porfirínicos e/ou ftalocianínicos. Constituem aspecto importante das pesquisas os testes de aplicabilidade de vários derivados produzidos ou não no grupo. Os testes podem ser físico-químicos ou biológicos (em colaboração com a F. Medicina de Rib. Preto – USP e com o Hospital das clínicas da mesma faculdade).</p> <p>Linha de pesquisa 4: Estudo e aplicação de novas metodologias para a caracterização e controle de qualidade do biodiesel e suas misturas com o diesel de petróleo</p> <p>Descrição: Desenvolvimento e aplicação de novos compostos que poderão ser utilizados como marcadores de combustíveis, notadamente biodiesel, produzidos a partir de terras raras e porfirinas.</p>	Oswaldo Antônio Serra Adjaci Uchôa Fernandes Janete W. de Camargo Liberatori Cláudio Roberto Neri

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade de São Paulo – USP	Órgão: Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto Unidade: Departamento de Química	Laboratório de Terras Raras (cont.)	Linha de pesquisa 5: Interação metaloporfirinas-terras raras. Descrição: O objetivo principal é o de síntese e caracterização de compostos em que a interação entre novas metaloporfirinas interagem com íons de terras raras, quer através do anel ou de grupos periféricos. Linha de pesquisa 6: Terras Raras : materiais luminescentes contendo terras raras. Síntese, caracterização, propriedades e aplicações. Descrição: Ênfase vem sendo dada em nanocompostos obtidos por novas rotas de síntese e também em compostos luminescentes incorporados em matrizes obtidas pelo método sol-gel. São pesquisados materiais com aplicações potenciais em sistemas biológicos, raios-x, protetores solares etc. cuja morfologia tem papel importante na definição das propriedades.	Listados na página anterior
	Órgão: Escola Politécnica Unidade: Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais	Materiais para Aplicações Avançadas	Linha de pesquisa 1: Materiais magnéticos. Descrição: Estudar as relações microestrutura-propriedades em materiais magneticamente duros (ímãs de terras raras) e magneticamente moles – aços elétricos para utilização em motores, transformadores, etc. Linha de pesquisa 2: Materiais cerâmicos. Descrição: Desenvolvimento de novos materiais cerâmicos.	Fernando J. G. Landgraf Ivan G. Sandoval Falleiros André Paulo Tschiptschin Douglas Gouvêa
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS	Unidade: Instituto de Geociências	Evolução do Manto Litosférico da Placa Sul-Americana – Isótopos e Petrologia Experimental	Linha de pesquisa: Geoquímica; elementos terras raras; elementos traços; geoquímica. Descrição: Determinação de elementos químicos e de parâmetros geoquímicos (coeficientes de difusão, distribuição, por exemplo).	Romulo Vieira Conceição Ana Maria Ribeiro Althoff Márcia Elisa Boscato Gomes
	Unidade: Instituto de Física	Espectroscopia Mössbauer	Linha de pesquisa: Propriedades magnéticas dos compostos intermetálicos com terras raras. Descrição: Investigar as propriedades magnéticas dos compostos intermetálicos com terras raras.	João B. Marimon da Cunha Lívio Amaral
	Órgão: Centro de Tecnologia Unidade: Escola de Engenharia	Grupo de Desenvolvimento em Energias Renováveis	Linha de pesquisa: Desenvolvimento de ímãs de Nd-Fe-B aplicados em máquinas elétricas. Descrição: desenvolvimento de ímãs de Nd-Fe-B (neodímio-ferro-boro) especificamente aplicados na construção de núcleos de rotores de máquinas elétricas rotativas síncronas polifásicas. Nesse tipo de máquina, os ímãs substituem os enrolamentos de campo do rotor, responsáveis pela produção de um campo magnético contínuo e estático.	Lírio Schaeffer Wilberth Harold Deza Luna Moisés de Mattos Dias



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS (cont.)	Unidade: Instituto de Química	Eletroquímica	<p>Linha de pesquisa 1: Sensores eletroquímicos. Descrição: Desenvolvimento de novos sensores eletroquímicos com diferentes materiais para aplicações de interesse analítico e ambiental.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Desenvolvimento de eletrodos modificados. Descrição: Os materiais híbridos orgânico-inorgânicos fascinam pelas suas características estruturais únicas, atraindo a atenção de muitos pesquisadores pela diversidade de campos de aplicação, principalmente nas áreas de catálise, magnetismo, fotoquímica e processos de adsorção.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Eletroquímica ambiental. Remoção de metais traços em matrizes ambientais, utilizando eletrodos modificados e sistemas em fluxo. Avaliação da eficiência de remoção e da eficiência de corrente, com diferentes cátodos, concentração do metal, pH do meio, objetivando aplicação em sistemas de interesse prático.</p>	Clarisse Maria Sartori Piatnicki Reinaldo Simões Gonçalves Sílvio Luís Pereira Dias Jacqueline Arguello da Silva
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG	Órgão: Instituto de Ciências Exatas Unidade: Departamento de Química	Grupo de Pesquisa em Química Organometálica Aplicada	<p>Linha de pesquisa 1: Química de coordenação. Descrição: Sintetizar e caracterizar compostos de coordenação e organometálicos com possível atividade biológica.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Catálise. Descrição: Preparar catalisadores heterogêneos para aplicação em formação de ligação C-C.</p>	Claudio Luís Donnici Jose Danilo Ayala Maria Helena de Araújo Flavia Cristina Camilo Moura
	Órgão: Instituto de Ciências Exatas Unidade: Departamento de Física	Laboratório de Microanálises do Consórcio Física-Geologia-Química/UFMG-CDTN/CNEN	<p>Linha de pesquisa 1: Caracterização física e estrutural de novos compostos magnéticos. Descrição: Produção e estudo de novos materiais magneticamente moles e magneticamente duros (sistemas terras raras-ferro/cobalto).</p> <p>Linha de pesquisa 2: Nanofabricação de dispositivos por litografia por feixe eletrônico. Descrição: Pesquisa das propriedades e condições de produzir em baixa escala e baixo grau de integração nano e microsensores de campo magnético.</p>	Aba Israel Cohen Persiano Marco Túlio Raposo
	Órgão: Instituto de Ciências Exatas Unidade: Departamento de Química	Laserorguim – Laboratório de Síntese, Eletrossíntese Orgânica e Química Medicinal	<p>Linha de pesquisa 1: Síntese de tiomacrociclos com aplicações tecnológicas e ambientais. Descrição: Complexação com metais de transição e de terras raras; macrociclos organossulfurados. Desenvolvimento de aplicações ambientais; aplicações tecnológicas; carvões modificados para tratamento de efluentes.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Síntese de ligantes e de complexos com atividade antitumoral e fotofísica. Descrição: Síntese química e caracterização espectroscópica (CHN, AAS, IV, RMN, UV-Vis, EM) de ligantes específicos planejados racionalmente e de complexos com metais de transição para avaliação de propriedades fotofísicas e de atividade antitumoral ou/ citoprotetora.</p>	Alzir Azevedo Batista Claudio Luís Donnici Rodinei Augusti Viviane Martins R. dos Santos

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG (cont.)	Órgão: Instituto de Ciências Exatas Unidade: Departamento de Química (cont.)	Química de Coordenação de Terras Raras	<p>Linha de pesquisa 1: Aplicações dos complexos de Ln(III) com ligantes contendo oxigênio e/ou nitrogênio como átomos doadores. Descrição: Desenvolvimento de aplicações dos complexos de Ln(III) com ligantes contendo oxigênio e/ou nitrogênio como átomos doadores.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Determinação de estrutura cristalina de compostos de coordenação. Descrição: Idem.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Síntese e caracterização de compostos de coordenação de terras raras. Descrição: Idem.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Síntese solvotérmica de compostos de coordenação de terra raras. Descrição: Idem.</p> <p>Linha de pesquisa 4: Viabilidade das aplicações dos complexos de Ln(III) com ligantes macrocíclicos. Descrição: Estudo de viabilidade das aplicações dos complexos de Ln(III) com ligantes macrocíclicos.</p>	Claudio Luís Donnici Jose Danilo Ayala Flavia Cristina Camilo Moura Camilo Moura Maria Helena de Araújo Hermi Felinto de Brito Vito Modesto De Bellis
Universidade Federal de Sergipe – UFS	Órgão: Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Unidade: Departamento de Física	Grupo de Magnetismo	<p>Linha de pesquisa: Magnetismo de terras raras. Descrição: Modelar dados experimentais de ligas de terras raras que apresentam diversos comportamentos, tipo Kondo, férmions pesados, supercondutividade não convencional etc.</p>	Milan Lalic Nelson Orlando Moreno Salazar



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Sergipe – UFS (cont.)	Órgão: Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Unidade: Departamento de Química	Arquitetura Molecular e Simulação Computacional	Linha de pesquisa: Desenvolvimento e otimização de métodos semiempíricos para o cálculo de propriedades espectroscópicas de complexos de lantanídeo. Descrição: Idem.	Ricardo Oliveira Freire
		Desenvolvimento e Otimização de Materiais	Linha de pesquisa: Preparação e caracterização de materiais poliméricos funcionalizados. Descrição: Dentre os objetivos, destacam-se: sintetizar novos materiais com características morfológicas adequadas para serem utilizados como adsorventes; caracterizar os materiais sintetizados e os naturais para avaliar suas propriedades morfológicas e estruturais; modelar estudos cinéticos e termodinâmicos na interação de moléculas orgânicas e inorgânicas em adsorventes sintéticos e naturais.	Antônio Reinaldo Cestari Eunice Fragoso da Silva Vieira
	Órgão: Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Unidade: Departamento de Física	Grupo de Preparação e Caracterização de Materiais	Linha de pesquisa 1: Produção e caracterização estrutural de materiais. Descrição: Produzir diferentes tipos de materiais utilizando métodos de síntese cerâmica, sol-gel e outros e caracterizá-los por meio de técnicas estruturais tais como difração de raios-X, análise térmica (TG, DTA, DSC), determinação de tamanho de partícula por técnicas de espalhamento dinâmico de luz, potencial zeta, porosidade, densidade relativa, espalhamento a baixo ângulo, FTIR, Raman e outras. Linha de pesquisa 2: Propriedades elétricas de materiais. Descrição: Caracterizar por técnicas de espectroscopia de impedância, histerese ferroelétrica, condutividade DC e outras, materiais com possíveis aplicações em dispositivos eletrônicos, tais como capacitores, varistores, etc. Linha de pesquisa 3: Propriedades magnéticas de materiais. Descrição: Caracterizar por técnicas de susceptibilidade magnética, efeito Kerr e outras, propriedades magnéticas de materiais. Linha de pesquisa 4: Propriedades ópticas de materiais. Descrição: Caracterizar por espectroscopia eletrônica materiais (vidros cristais e complexos) puros ou dopados, utilizando, para isso, técnicas de absorção, emissão e excitação, tempo de vida de luminescência e outras e técnicas de simulação de estrutura e cálculos dos efeitos do campo cristalino.	Edvaldo Alves de Souza Junior Marcelo Andrade Macêdo Mario Ernesto G. Valério Paulo Jorge Ribeiro Montes Susana de Souza Lalic Victor Hugo Vitorino Sarmento Zélia Soares Macedo Corinne Arrouvel Milan Lalic Marcos Antonio C. dos Santos Marcos Vinícius dos S. Rezende

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar	Órgão: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia	Compostos Inorgânicos e Organometálicos das Terras Raras	<p>Linha de pesquisa1: Compostos inorgânicos e organometálicos das terras raras.</p> <p>Descrição: Caracterização; estrutura; propriedades; síntese; sítio de coordenação; simetria.</p> <p>Linha de pesquisa2: Compostos luminescentes das terras raras.</p> <p>Descrição: Difrátograma de raios-X; espectro de emissão; estrutura; propriedades; sítio de coordenação; simetria.</p> <p>Linha de pesquisa3: Nanomateriais, catálise e análise térmica.</p> <p>Descrição: Preparar nanomateriais de lantanídeos e níquel. Submeter à análise elementar e análise térmica. Utilização em catálise.</p>	Júlio Zukerman Schpector Lea Barbieri Zinner
		Cristalografia, Estereodinâmica e Modelagem Molecular – LaCrEMM	<p>Linha de pesquisa: Síntese de complexos terras raras.</p> <p>Descrição: Os lantanídeos têm propriedades espectroscópicas e magnéticas muito variadas e exclusivas que são vantajosas, tanto para pesquisas quanto para produção de novos materiais com propriedades físico-químicas específicas. Esse projeto visa sintetizar complexos de lantanídeos (III) e caracterizá-los por meio de diversas técnicas, incluindo a difração de raios-X, usando como ligante lactamas e investigando a influência do tamanho do anel da lactama na formação dos complexos.</p>	Júlio Zukerman Schpector Pedro Miranda Junior
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar (cont.)	Órgão: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Unidade: Departamento de Química	Síntese, Reações e Mecanismos de Compostos Inorgânicos	<p>Linha de Pesquisa: Química de coordenação.</p> <p>Descrição: Extensão dos estudos de complexos dos metais de transição e lantanídeos com os ligantes “equatoriais” derivados da reação entre um composto carbonilado e uma diamina. Os compostos sintetizados serão utilizados também em outros estudos como: estudos eletroquímicos, estudos termoquímicos e estudos espectroscópicos visível I- ultravioleta, infravermelho, ressonância nuclear magnética.</p> <p>Linha de pesquisa2: Química molecular de metais de transição e elementos representativos.</p> <p>Descrição: Síntese e caracterização de compostos com características estruturais inéditas.</p>	Alzir Azevedo Batista Antônio Gilberto Ferreira Éder Tadeu G. Cavalheiro Edward Ralph Dockal Marcos F.de Souza Teixeira Mitsukimi Tsunoda Neurivaldo J.de Guzzi Filho Renê Alexandre Giampetro Roberto Carlos Felício
		Grupo de Materiais Cerâmicos Especiais	<p>Linha de Pesquisa: Materiais cerâmicos semicondutores.</p> <p>Descrição: Varistores cerâmicos, eletrodos cerâmicos.</p> <p>Linha de pesquisa2: Nanopartículas e nanoestruturas.</p> <p>Descrição: Obtenção de partículas de ferroelétricos, pizeletrônicos e pigmentos com tamanho médio inferior a 50nm e filmes finos de materiais ferroelétricos e pizeletrônicos.</p>	Ieda Maria Garcia dos Santos Carlos de Oliveira Paiva Santos Edson Roberto Leite Elson Longo Flavio Leandro de Souza José Arana Varela Mario Cilense Sílvio Rainho Teixeira
	Órgão: Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia Unidade: Departamento de Engenharia Química	Desenvolvimento de Catalisadores e Processos para Produção de Combustíveis	<p>Linhas de Pesquisa₁: Catalisadores para produção de biocombustíveis.</p> <p>Linhas de Pesquisa₂: Catálise por metais.</p>	Alessandra Fonseca Lucrédio Jose Mansur Assaf Clelia Mara de Paula Marques Cristhiane Guimarães Maciel Elisabete Moreira Assaf José Mansur Assaf José Maria Correa Bueno Patricia Maria Patrizi Pratta Tháisa Aparecida Maia



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ	Unidade: Departamento de Eletrônica Quântica	Propriedades Físicas de Materiais	<p>Linha de pesquisa 1: Espectroscopia óptica de sólidos. Descrição: Fluorescência; fluoretos; óxidos. Linha de pesquisa 2: Ressonância magnética. Descrição: Ressonância; terras raras.</p>	Ada Petronila López Giménez Armando Dias Tavares Júnior Lilian Pantoja Sosman Raul José da Silva Câmara Maurício da Fonseca
		Física da Matéria Condensada	<p>Os trabalhos do grupo se situam em áreas de grande importância científica, representando também alta potencialidade de inovação tecnológica. Eles se concentram nos seguintes tópicos: (i) spintrônica e nanoestruturas semicondutoras; (ii) sistemas fortemente relacionados; e (iii) magnetismo de metais e efeito magnetotérmico. São cinco as linhas atuais de pesquisa: Linha de pesquisa 1: Física de nanoestruturas semicondutoras e sistemas mesoscópicos. Linha de pesquisa 2: Propriedades magnéticas e termodinâmicas de sistemas metálicos. Linha de pesquisa 3: Semicondutores magnéticos diluídos. Linha de pesquisa 4: Sistemas fortemente correlacionados. Linha de pesquisa 5: Spintrônica.</p>	Ivan Costa da Cunha Lima Nilson Antunes de Oliveira Maria Lúcia Netto Grillo Pedro J. von Ranke Perlingeiro
		Magnetismo	<p>Linha de pesquisa 1: Campos hiperfinos de impurezas em sistemas metálicos. Descrição: Investigam-se os comportamentos dos momentos magnéticos e campos hiperfinos em sítios de impurezas sp e de transição diluídas em matrizes metálicas antiferromagnéticas. Estudaremos o campo hiperfino de impurezas de actínídeos diluídas em metais de transição. Linha de pesquisa 2: Efeito magnetocalórico em sistemas metálicos. Descrição: Estudo do efeito magnetocalórico em diversos sistemas metálicos com transição de fase de primeira e segunda ordem, tais como: MnAs, MnFePAs, LaFe_{13-x}Six, RFe₂ e RNi₅ (R= terra rara). Linha de pesquisa 3: Transições de fase em isolantes de kondo. Descrição: Alguns sistemas metálicos formados por terras raras e actínídeos apresentam propriedades físicas como um elevado calor específico. Em particular, investigam-se as transições de fase i) isolante paramagnética * metálica paramagnética ii) isolante paramagnética * metálica antiferromagnética.</p>	Nilson Antunes de Oliveira Amos Troper Alexandre Magnus Gomes Carvalho Bruno de Pinho Alho Eduardo Pilad Nóbrega Luciano Gomes de Medeiros Jr. Pedro J. von Ranke Perlingeiro Vinícius da Silva Ramos de Sousa

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ (cont.)	Unidade: Departamento de Eletrônica Quântica (cont.)	Luminescência dos Sólidos	Linha de pesquisa 1: Espectroscopia Mössbauer. Linha de pesquisa 2: Propriedades ópticas, estruturais e magnéticas dos sólidos.	Ada Petronila López Giménez Lilian Pantoja Sosman Andrés Reinaldo Rodriguez Papa Raul José da Silva Camara Mauricio da Fonseca Armando Dias Tavares Júnior Ricardo Borges Barthem
	Unidade: Departamento de Tecnologia de Processos Bioquímicos	Bioprocessos e Tecnologia Ambiental	Linha de pesquisa 1: Biossorção de metais pesados. Linha de pesquisa 2: Catálise enzimática e processos fermentativos. Linha de pesquisa 3: Determinação de elementos traços por espectrometria atômica. Linha de pesquisa 4: Remoção de metais por processo biológico anaeróbico. Linha de pesquisa 5: Técnicas de separação: eletroforese capilar e HPLC.	Aderval Severino Luna Marcia de Viveiros Carreira Antonio Carlos Augusto da Costa Márcia M. M. Gonçalves Cristiane Assumpção Henriques Marta Antunes Pereira Langone
	Unidade: n.d.	Fundamentos de Engenharia Química e Engenharia de Processo	Linha de pesquisa 1: Análise de redes de escoamento. Linha de pesquisa 2: Avaliação de tecnologias no setor petróleo/petroquímica. Linha de pesquisa 3: Processos de separação com fluido supercrítico. Linha de pesquisa 4: Processos de separação por membranas. Linha de pesquisa 5: Projeto de processos de separação. Linha de pesquisa 6: Termodinâmica molecular e aplicada.	Alexandre Rodrigues Tôres André Luiz Hemery Costa Cristiane Assumpção Henriques Deborah Vargas Cesar Fatima Maria Zanon Zotin Márcio Luis Lyra Paredes Marco Antonio G. de Figueiredo Maria Eugenia Piacsek Borges Rodrigo Azevedo dos Reis
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio	Unidade: Departamento de Física	Grupo de Espectroscopia Óptica e Optoeletrônica Molecular	O Grupo de Espectroscopia Óptica e Optoeletrônica Molecular é bem posicionado e atua com sucesso e competência na área dos OLEDs moleculares. O grupo é líder no país na fabricação de OLEDs baseados em terras raras e já teve resultados interessantes com diversos compostos, todos sintetizados no Brasil, fruto das várias colaborações com grupos de pesquisa nacionais. As linhas de pesquisa são: Linha de pesquisa 1: Dispositivos optoeletrônicos orgânicos; Linha de pesquisa 2: Espectroscopia e caracterização óptica de materiais; Linha de pesquisa 3: Produção e caracterização de filmes de óxidos condutores; Linha de pesquisa 4: Produção e caracterização de filmes finos para diodos eletroluminescentes; Linha de pesquisa 5: Produção e caracterização de filmes finos para guias de onda.	Marco Cremona Hermi Felinto de Brito Caroline Arantes da Silva Oscar Manoel Loureiro Malta Cristiano Legnani Rogerio Valaski Sônia Renaux Wanderley Louro Welber Gianini Quirino
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-Rio (cont.)	Unidade: Departamento de Física	Dispositivos Fotônicos em Fibras e Vidros	Linha de pesquisa: Fotônica em sistemas vítreos. Descrição: Nanopartículas metálicas são fabricadas em vidros para aplicação em sensores plasmônicos. Sensores de pressão em fibras ópticas microestruturadas são pesquisados. Utiliza-se a polarização eletrotérmica de vidros para indução de não linearidade. Filmes de sol-gel com nanopartículas de ouro em vidros e polarizados eletro-termicamente são investigados. A fabricação de guias de onda é investigada: por polarização eletrotérmica e ablação <i>laser</i> .	Isabel Cristina dos S. Carvalho Bernhard Johannes Lesche Christiano J. Santiago de Matos Cristiano M. de Barros Cordeiro Maria Cristina Ribeiro Carvalho Paula Medeiros P.de Gouvêa



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Instituto Federal de Sergipe – IFS	Órgão: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe Unidade: Campus Lagarto	Grupo de Tecnologias Nucleares Aplicadas	Linha de pesquisa: Arqueometria. Descrição: Datação termoluminescente; estatística multivariada; INAA. Linha de pesquisa: Caracterização de materiais cerâmicos. Descrição: Idem.	Adeilson Pessoa de Melo José Osman dos Santos Marcos Vinicius dos S. Rezende Paulo Jorge Ribeiro Montes
	Órgão: Escola Técnica Federal de Sergipe Unidade: Aracaju	Grupo de Ciência e Tecnologia em Alimentos	Linha de pesquisa: Compostos de coordenação. Descrição: Estudo de redes poliméricas de coordenação como materiais metal-orgânicos ou Metal-Organic Frameworks (MOFs) aplicados à análise de pesticidas em alimentos.	Alysson Santos Barreto
Universidade Federal de Alagoas – UFAL	Unidade: Departamento de Física	Dispositivos Fotônicos Integrados	Linha de pesquisa: Espectroscopia em meios amorfos dopados com íons terras raras. Descrição: Investigar processos ópticos em meios amorfos dopados com íons terras raras, visando obter suas características espectroscópicas relevantes para o desenvolvimento de dispositivos fotônicos.	Carlos Jacinto da Silva Marcos Vinicius Dias Vermelho Maria Tereza de Araújo Sidney Jose Lima Ribeiro
	Órgão: Unidade Acadêmica de Física Unidade: Instituto de Física	Grupo de Fotônica e Fluidos Complexos	Linha de pesquisa 1: Medidas de não linearidades em materiais dopados com terras raras. Descrição: conversão ascendente de energia; fluidos complexos; materiais vítreos e cristalinos; terras raras; transferência de energia; Z-Scan. Linha de pesquisa 2: Processos não lineares de terceira ordem e espectroscopia não linear em amostras vítreas puras e dopadas com íons terras raras. Descrição: Desenvolvimento de novos materiais para fabricação de aparelhos e equipamentos de telecomunicação; fabricação de equipamentos de instrumentação médico-hospitalares, instrumentos de precisão e ópticos, equipamentos para automação industrial, cronômetros e relógios.	Carlos Jacinto da Silva Marcos Vinicius Dias Vermelho Maria Tereza de Araújo Pedro Valentim dos Santos
Universidade Federal do Ceará – UFC	Unidade: Centro de Ciências	Espalhamento de Luz e Medidas Elétricas	Linha de pesquisa: Propriedades luminescentes de íons terras raras em matrizes amorfas e cristalinas. Descrição: Investigar as propriedades óticas de impurezas de íons terras raras em matrizes vítreas e cristalinas, analisando os espectros de emissão e absorção em função da concentração, pressão e temperatura.	Antônio Gomes de Souza Filho Ilde Guedes da Silva Josué Mendes Filho
	Unidade: Departamento de Química Analítica e Físico-Química	CQMAT – Grupo de Química de Materiais Avançados	Linha de pesquisa1: Funcionalização de nanopartículas magnéticas. Descrição: Idem. Linha de pesquisa2: Síntese de cerâmicas dielétricas e magnéticas. Descrição: Idem. Linha de pesquisa3: Síntese de nanopartículas magnéticas para aplicações biomédicas. Descrição: Idem.	Elisane Longhinotti Pierre Basílio Almeida Fechine

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – UFMS	Unidade: Departamento de Física	Grupo de Materiais	<p>Linha de pesquisa 1: Desenvolvimento e caracterização de novos materiais vítreos e cerâmicos.</p> <p>Descrição: Desenvolver materiais de interesse tecnológico como vidros dopados de aplicação óptica e materiais compósitos a partir de madeira e materiais recicláveis.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Materiais porosos, nanopartículas e vidros especiais por rotas químicas ou químicas.</p> <p>Descrição: Preparam-se materiais mesoporosos adsorventes por sol-gel para serem utilizados em sistemas de armazenamento de GN e catalisadores. Vidros de fluoretos para a produção de dispositivos ópticos são preparados por sol-gel e fusão. Também se preparam nanopartículas pelo processo sol-gel e dos precursores poliméricos. Estuda-se processamento do material e caracterização quanto ao diâmetro, morfologia e distribuição de tamanho dos poros e partículas, por difração de raios-X, MEV e BET.</p>	Angela A. S. Tardivo Delben Jose Renato Jurkevicz Delben Samuel Leite de Oliveira Seila Rojas de Souza Marlene de Barros Coelho
	Unidade: Departamento de Química	Química de Superfície e Moléculas Bioativas	<p>Linha de pesquisa: Materiais mesoporosos à base de sistemas de surfactantes estruturados.</p> <p>Descrição: Desenvolvimento de estruturas porosas hierarquicamente organizadas e incorporação de complexos luminescentes para o desenvolvimento de dispositivos mesoporosos foto-eletroluminescentes, elétricos e fotônicos, bem como o estudo de biomateriais nanoestruturados e sílica mesoporosa organicamente modificada para aplicações ambientais.</p>	Gustavo Rocha de Castro Marco Antonio Utrera Martines
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ	Unidade: Departamento de Física dos Sólidos	Laboratório de Baixas Temperaturas	<p>Linha de pesquisa 1: Efecto magnetocalórico.</p> <p>Descrição: São estudadas as ligas $La[(Fe_{1-x}Co_x)Al]_{13}$ e $La[(Fe_{1-x}Co_x)Si]_{13}$, ligas de Heusler, baseadas nas ligas intermetálicas de Ni-Mn-Ga, compostos da série $Fe_{1-x}Mn_xNi_2$, e compostos da família das manganitas.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Manganitas com magnetorresistência colossal.</p> <p>Descrição: Investigam-se sistemas com separação de fases, estudando sua correlação com efeitos de magnetorresistência colossal em amostras de $La(0.5)Ca(0.5)MnO(3)$, e também em $[LaPr]_{(1-x)}Ca(x)MnO(3)$.</p>	Angelo Marcio de Souza Gomes Luis Ghivelder
		Óptica dos Sólidos	<p>Linha de pesquisa: Propriedades ópticas de terras raras em cristais fluoretos.</p>	Lilian Pantoja Sosman Ricardo Borges Barthem
	Órgão: Escola de Química Unidade: DepArtamento de Processos Inorgânicos	Laboratório de Tecnologias do Hidrogênio	<p>Linha de pesquisa 1: Adsorventes para captura de CO₂.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Catalisadores para a reação de shift a baixa temperatura.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Catalisadores para a remoção do alcatrão do gás combustível produzido por gaseificação de biomassa.</p> <p>Linha de pesquisa 4: Desenvolvimento de materiais para células a combustível de óxido sólido.</p>	Nielson Fernando da P. Ribeiro Mariana de Mattos V.M. Souza
	Órgão: Escola de Química Unidade: DepArtamento de Processos Orgânicos	Catálise	Linhas de pesquisa: n.d.	Eduardo Falabella Sousa-Aguiar Maria Auxiliadora S. Baldanza Martin Schmal Mariana de Mattos V.M. Souza



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN	<p>Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Terra</p> <p>Unidade: Instituto de Química</p>	Eletroquímica e Corrosão	<p>Linha de pesquisa: Química supramolecular de terras raras e aplicações</p> <p>Descrição: Sintetizar ligantes derivados do cicleno (<i>cyclen</i>) e ciclamo (<i>cyclam</i>) e os seus complexos com as terras raras. Caracterizar esses compostos e fazer os ensaios para promissoras aplicações como agente de contraste em imagem de RMN e fluorimunologia.</p>	<p>Maria Gorette Cavalcante</p> <p>Djalma Ribeiro da Silva</p> <p>Fabiana R. G. e Silva Hussein</p> <p>Jailson Vieira de Melo</p>
	<p>Órgão: Centro de Ciências Exatas</p> <p>Unidade: Departamento de Química</p>	Química Inorgânica e Materiais	<p>Linha de pesquisa1: Catálise heterogênea.</p> <p>Descrição: Idem.</p> <p>Linha de pesquisa2: Síntese e caracterização de materiais nanométricos.</p> <p>Descrição: Sintetizar materiais nanométricos com propriedades catalíticas, óptica e magnéticas.</p>	<p>Dulce Maria de Araújo Melo</p> <p>Joana Maria de Farias Barros</p> <p>Sibele Berenice Castellã Pergher</p> <p>Antônio Eduardo Martinelli</p> <p>Carlos Alberto Paskocimas</p> <p>Marcus Antônio de Freitas Melo</p> <p>Rubens M.do Nascimento</p> <p>Zelma Rocha da Silva</p>
Universidade Federal de Uberlândia – UFU	<p>Órgão: n.d.</p> <p>Unidade: n.d.</p>	Desenvolvimento de processos sustentáveis: catálise, termodinâmica e reatores	<p>Linha de pesquisa: Processos de adsorção.</p>	<p>Adilson José de Assis</p> <p>Carla Eponina Hori</p> <p>Eloizio Julio Ribeiro</p> <p>Erika Ohta Watanabe</p> <p>Lucienne Lobato Romanielo</p> <p>Miria Hespanhol Miranda Reis</p> <p>Miriam Maria de Resende</p> <p>Ricardo Reis Soares</p> <p>Valeria Viana Murata</p>
Universidade Federal de Uberlândia – UFU (cont.)	<p>Órgão: Instituto de Física</p> <p>Unidade: Instituto de Física</p>	Laboratório de Novos Materiais Isolantes e Semicondutores – LNMIS	<p>Linha de pesquisa 1: Dispositivos fotônicos planares (MEMS) – Espectroscopia em meios amorfos dopados com íons terras raras – Medidas de não linearidades em materiais dopados com terras raras - numéricos de dispositivos fotônicos – Óptica não linear – Propriedades de transporte.</p> <p>Descrição: Idem.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Crescimento de cristais dopados com metais de transição e terras raras via solução aquosa.</p> <p>Descrição: Estudo da influência do campo cristalino nas propriedades ópticas e magnéticas de íons de metais de transição e de terras raras.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Luminescência e efeitos cooperativos em íons terras raras; Propriedades óticas não lineares e fototérmicas – Novos materiais; Espectroscopia fototérmica – Espectroscopia óptica não linear.</p> <p>Descrição: Estudo das propriedades óticas e térmicas de novos materiais.</p> <p>Linha de pesquisa 4: Sínteses e estudo das propriedades ópticas e estruturais de vidros nanoestruturados dopados com terras raras.</p> <p>Descrição: Sínteses e estudo das propriedades ópticas e estruturais de vidros nanoestruturados dopados com terras raras.</p>	<p>Marcos Vinicius Dias Vermelho</p> <p>Noélio Oliveira Dantas</p> <p>Ademir Cavalheiro</p> <p>Djalmir Nestor Messias</p> <p>Maria Jose Valenzuela Bell</p> <p>Virgílio de Carvalho dos Anjos</p>

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade de Brasília – UnB	Unidade: Departamento de Mineralogia e Petrologia	Granitos e Mineralizações Associadas	Linha de pesquisa: Mineralizações de associação granítica. Descrição: Idem.	Nilson Francisquini Botelho Márcia Abrahão Moura Luciana Miyahara Teixeira Mariana Moellmann Negrão Sara Laís Rahal Lenharo Valmir da Silva Souza
	Unidade: Departamento de Geoquímica e Recursos Minerais	Metalogênese do Pré-Cambriano do Brasil	Linha de pesquisa: Gênese e controle de depósitos minerais. Linha de pesquisa: Geocronologia de depósitos minerais. Linha de pesquisa: Geotectônica e distribuição regional de depósitos minerais. Linha de pesquisa: Mineralogia e geoquímica de depósitos minerais. Linha de pesquisa: Origem e natureza de fluidos formadores de depósitos minerais.	Claudinei Gouveia de Oliveira Catarina Labouré Benfica Toledo Maria Emília Schutesky Della Giustina Nilson Francisquini Botelho Elton Luiz Dantas Valmir da Silva Souza Márcia Abrahão Moura
Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP	Órgão: Departamento de Ciências Exatas e da Terra Unidade: Campus Diadema	Materiais Híbridos	Linha de pesquisa: Materiais híbridos orgânicos-inorgânicos multifuncionais. Descrição: Síntese e caracterização de sólidos inorgânicos micro- e mesoporosos visando a aplicações em áreas como catálise e fotocatalise heterogênea, produção de materiais híbridos nanoestruturados, nanocompósitos, desenvolvimento de sensores, adsorventes para tratamento de efluentes e remediação ambiental, entre outras.	Celso Molina Fernanda Ferraz Camilo Laura Oliveira Péres Philadelpho Leonardo José Amaral de Siqueira Luciano Caseli Marcos Augusto Bizeto Roselena Faéz Tereza da Silva Martins
		Óptica Biomédica	Linha de pesquisa 1: Desenvolvimento de moléculas luminescentes para a aplicação em fluoróforos e filmes eletroluminescentes. Descrição: Estudo das propriedades fotoluminescentes dos complexos metálicos formados com 8-oxiquinolinacalix[4]areno e derivados. Linha de pesquisa 2: Fluorimetria óptica. Descrição: Utilizar a espectroscopia óptica de emissão e tempo de vida para caracterização de processos biofísicos, bioquímicos e biológicos. Linha de pesquisa 3: Fluorimetria resolvida no tempo. Descrição: Medir espectros resolvidos no tempo de tecidos biológicos.	Izilda Aparecida Bagatin Lília Coronato Courrol



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Estadual de Campinas – Unicamp	Órgão: Instituto de Química Unidade: Departamento de Química Inorgânica	Laboratório de Materiais Funcionais – LMF	<p>Linha de Pesquisa ₁: Influência da nanoestruturação na atividade catalítica de óxidos semicondutores em matrizes porosas: síntese, caracterização e testes catalíticos em fase líquida. Descrição: Estudo do efeito da nanoestruturação de óxidos semicondutores sobre a atividade de catalítica de óxidos semicondutores suportados em ambiente confinado.</p> <p>Linha de Pesquisa ₂: Materiais luminescentes. Descrição: Estudo espectroscópico e morfológico de nanopartículas de compostos inorgânicos dopados com íons terras raras di e trivalentes. Complexos de íons terras raras trivalentes.</p> <p>Linha de Pesquisa ₃: Materiais para fotônica. Descrição: Preparação e caracterização de guias de onda planar e canal de materiais vítreos, inorgânicos, híbridos orgânico-inorgânico contendo nanopartículas de baixo fônon de rede dopadas com íons terras raras trivalentes.</p> <p>Linha de Pesquisa ₄: Síntese de precursores metalorgânicos e organometálicos tipo <i>single-source</i> para a obtenção de nanopartículas de óxidos semicondutores. Descrição: Obtenção de precursores metalorgânicos <i>single-source</i> para a preparação de nanopartículas de óxidos individuais e óxidos binários em ambiente confinado.</p> <p>Linha de Pesquisa ₅: Sistemas inorgânicos multicomponentes nanoestruturados hierarquicamente com propriedades magnéticas, luminescentes e catalíticas. Descrição: Síntese com tamanho e morfologia controlados de materiais inorgânicos; propriedades elétricas, magnéticas, catalíticas e luminescentes.</p>	Fernando Aparecido Sigoli Italo Odone Mazali Inez Valeria Pagotto Yoshida

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Estadual de Campinas – Unicamp (cont.)	<p>Órgão: Instituto de Física Gleb Wataghin</p> <p>Unidade: Departamento de Física da Matéria Condensada</p>	Laboratório de Materiais e Baixas Temperaturas	<p>Nas décadas de 1970 e 1980, a ênfase das pesquisas foi mais em áreas aplicadas de supercondutividade, magnetismo, metalurgia física e criogenia, com os seguintes destaques: (i) obtenção do nióbio metálico de alta pureza, partindo dos minérios; (ii) produção de fios supercondutores multifilamentares de Cu-NbTi e Cu-Nb3Sn; (iii) estudo de vários metais refratários e ligas magnéticas cristalinas e amorfas. A partir da década de 1990, as pesquisas passaram a ter ênfase mais acadêmica no estudo de materiais supercondutores (de baixa e alta temperatura crítica) e magnéticos (amorfos, cristalinos, nanocristalinos e artificiais). Mais recentemente, uma nova linha de pesquisa vem sendo desenvolvida na área de nanoestruturas magnéticas e nanomagnetismo, com ênfase em nanopartículas e nanofios magnéticos. São seis as linhas de pesquisa atuais:</p> <p>Linha de pesquisa 1: Magnetoimpedância gigante.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Magnetotransporte em sistemas magnéticos artificiais.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Materiais magnéticos em geral.</p> <p>Linha de pesquisa 4: Materiais nanocristalinos.</p> <p>Linha de pesquisa 5: Propriedades físicas de materiais magnéticos produzidos através de resfriamento ultrarrápido.</p> <p>Linha de pesquisa 6: Supercondutividade.</p>	<p>Fanny Béron</p> <p>Oscar Ferreira de Lima</p> <p>Kleber Roberto Pirota</p> <p>Rogério Lucio de Almeida</p> <p>Luiz Augusto Sousa de Oliveira</p> <p>Surender Kumar Sharma</p> <p>Marcelo Knobel</p>
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF	<p>Órgão: MCTI</p> <p>Unidade: Rio de Janeiro</p>	Férmions Pesados, Supercondutores e Sistemas Nanoestruturados	<p>Linha de pesquisa 1: Sensores formados por multicamadas de óxidos de metais de transição.</p> <p>Descrição: Sensores em fibras FOP são dispositivos baseados no efeito foto refrativos em fibras ópticas poliméricas.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Supercondutividade – cerâmicas supercondutoras de altas temperaturas críticas.</p> <p>Descrição: Produção e caracterização de cerâmicas supercondutoras: estudo de efeitos da substituição através de resistividade elétrica e susceptibilidade magnética, também na fase normal ($T > T_C$).</p>	<p>Elisa Maria Baggio Saitovitch</p> <p>Marcos de Castro Carvalho</p> <p>Raul José da Silva Camara</p> <p>Maurício da Fonseca</p> <p>William Edgardo Alayo Rodriguez</p> <p>Ada Petronila López Giménez</p> <p>Eduardo Novaes Hering</p> <p>Izabel de Souza Azevedo</p> <p>Jorge Luis Gonzalez Alfonso</p> <p>Magda Bittencourt Fontes</p> <p>Mariella Alzamora Camarena</p> <p>Mucio Amado Continentino</p> <p>Rolf Andreas Eichler</p> <p>Scheilla Maria Ramos da Silva</p>



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas – CBPF (cont.)	Órgão: MCTI Unidade: Rio de Janeiro	Grupo de Estrutura Eletrônica e Fenômenos Coletivos na Matéria Condensada	<p>Linha de pesquisa 1: Efeito magneto calórico. Descrição: Idem.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Estrutura eletrônica e magnetismo em sistemas metálicos em ligas diluídas. Descrição: Estudo do problema de impurezas nd em terras raras pesadas, utilizando cálculos de primeiros princípios para a densidade de estado dessas matrizes metálicas.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Formação de momentos magnéticos em impurezas diluídas em compostos intermetálicos. Descrição: Estudo do problema de impurezas sp e nd em compostos de terras raras, utilizando cálculos de primeiros princípios para a densidade de estado dessas matrizes metálicas. Discutem-se as analogias e diferenças entre os casos de matrizes ferromagnéticas de terras raras e de transição no tocante a campos hiperfinos e a formação de momentos locais.</p> <p>Linha de pesquisa 4: Sistemas fortemente correlacionados: isolante de Kondo e transição metal isolante. Descrição: Desenvolvimento de uma teoria que descreve a transição metal isolante em função da pressão e da temperatura. Obtêm-se os expoentes críticos que caracterizam o fechamento do <i>gap</i> próximo à linha crítica que separa a fase isolante (paramagnética) da fase metálica.</p> <p>Linha de pesquisa 5: Supercondutividade em sistemas tipo férmions pesados. Descrição: Utiliza-se o modelo a duas bandas desenvolvido na década de 1990 (Phys.Rev.B 45, 2986 (1992)), calcula-se o efeito isotrópico e outras grandezas termodinâmicas. Ademais, o modelo será estendido a fim de descrever pares híbridos e supercondutividade reentrante.</p>	Amos Troper Nilson Antunes de Oliveira Carlos M. Giesbrecht F. Chaves Múcio Amado Continentino Alexandre Lopes de Oliveira Elisa Maria Baggio Saitovitch Pascoal José Giglio Pagliuso Scheilla Maria Ramos da Silva
Centro de Tecnologia Mineral – Cetem	Órgão: MCTI. Unidade: Rio de Janeiro.	Caracterização Tecnológica de Minérios e Materiais	<p>Linha de pesquisa 1: Caracterização tecnológica de minérios. Descrição: Caracterização; liberação; mineralogia; minérios; simulação e modelagem de processos.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Caracterização tecnológica de materiais inorgânicos. Descrição: Aproveitamento de rejeitos industriais; caracterização; cristal química; geopolímeros; valorização de insumos minerais; vidros.</p>	Arnaldo Alcover Neto Clelio Thaumaturgo Ciro Alexandre Ávila José Carlos Gaspar Otávio da Fonseca M. Gomes Fabiano Richard Leite Faulstich Fatima Maria Zanon Zotin Flavio Machado de S. Carvalho Luiz Carlos de Lima Luiz Fernando Cappa de Oliveira Reiner Neumann
Centro de Tecnologia Mineral – Cetem (cont.)	Órgão: MCTI Unidade: Rio de Janeiro	Química Analítica	<p>Linha de pesquisa: Caracterização química de amostras de origem minero-metalúrgicas. Descrição: Desenvolver metodologias analíticas para implantação de tecnologias para processamento mineral.</p>	Fernanda Nunes Ferreira Manuel Castro Carneiro Fernanda Veronesi Marinho Pontes Maria Inês Couto Monteiro Lílian Irene Dias da Silva

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS	Órgão: Faculdade de Tecnologia de São Paulo Unidade: Departamento de Ensino Geral	Laboratório de Tecnologia em Materiais Fotônicos e Optoeletrônicos	O grupo tem trabalhado com a produção e caracterização de novos materiais vítreos de óxidos de metais pesados dopados com terras raras com propriedades similares a muitos vidros já consagrados para uso em <i>laser</i> . O laboratório participa da Rede Nanofoton e do Instituto Nacional de Fotônica, ambos com apoio do CNPq, com o objetivo de desenvolver materiais vítreos nanoestruturados e estudar suas propriedades ópticas lineares e não lineares. As linhas de pesquisa são: Linha de pesquisa 1: Confecção e caracterização de materiais vítreos para uso em optoeletrônica; Linha de pesquisa 2: Desenvolvimento e aplicações de lasers de diodo; Linha de pesquisa 3: Fenômenos ópticos em vidros dopados com terras raras; Linha de pesquisa 4: Filmes finos com nanoestruturas metálicas depositados por sputtering; Linha de pesquisa 5: Materiais compósitos cerâmicos; Linha de pesquisa 6: Produção e caracterização de filmes finos de óxidos de metais pesados; Linha de pesquisa 7: Produção e caracterização de vidros com nanoestruturas metálicas; Linha de pesquisa 8: Propriedades ópticas não lineares; Linha de pesquisa 9: Propriedades térmicas de materiais.	Anderson Stevens L. Gomes Luciana Reyes Pires Kassab Cid Bartolomeu de Araújo Maria Jose Valenzuela Bell Jose Roberto Martinelli Niklaus Ursus Wetter
Instituto Federal do Maranhão – IFMA	Diretoria Geral	Estudo de Fases Magnéticas em Nanoestruturas Terras Raras	Linha de pesquisa: Propriedades magnéticas de nanoestruturas terras raras. Descrição: A pesquisa das propriedades magnéticas de filmes finos de terras raras é o principal interesse desse projeto, tanto do ponto de vista de física fundamental quanto do ponto de vista de aplicações em sistemas para resfriamento por desmagnetização adiabática, devido à necessidade de desenvolvimento de refrigeradores, sem compressão de gases, que podem vir a se tornar uma alternativa atraente para uso comercial.	Fabio Henrique Silva Sales Gustavo de Oliveira G. Rebouças José Joaquim de Sousa Melo Kléber Zuza Nóbrega Ligja Cristina Ferreira Costa Raisa Marya Souza de Oliveira
Instituto Federal de Pernambuco - Reitoria – IFPE	Órgão: Propesq Unidade: Campus Recife	Química de Coordenação de Sistemas Macroclíclicos	Linha de pesquisa: Síntese de éteres-coroa funcionalizados com o grupo sulfóxido e estudo de seus complexos com íons lantanídeos. Descrição: Síntese de novos éteres-coroa que apresentam, em sua estrutura, a função sulfóxido. Estudos estereoquímicos dos ligantes. Formação de complexos com íons Lantanídeos, estudos fotofísicos e estruturais desses complexos.	Severino Alves Junior Lourinaldo da Silva Junior Thiago Matheus G. Selva



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Estadual de Maringá – UEM	Órgão: Centro de Tecnologia Unidade: Departamento de Engenharia Mecânica	Grupo de Estudo de Materiais Magnetocalóricos	<p>Linha de pesquisa 1: Materiais magnéticos. Descrição: Estudo das relações de fases e propriedades físicas de materiais magnéticos.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Processos de fabricação de ligas com propriedades magnetocalóricas. Descrição: Estudar e desenvolver métodos de fabricação de ligas com propriedades magnetocalóricas que sejam aplicados na produção de elementos metálicos, poliméricos, cerâmicos ou compósitos.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Relações de fases e propriedades termodinâmicas. Descrição: Estudo de relações de fases e propriedades físicas e estruturais de materiais orgânicos, metálicos e não metálicos que podem vir a ser usados em aplicações cotidianas no médio prazo. Nosso grupo trabalhará especialmente no estudo de materiais que possam vir a ser utilizados em refrigeradores magnéticos, de baixo custo energético e ecologicamente limpos. Nesse sentido, estudaremos o processamento e as propriedades magnéticas e microestruturais de materiais magnetocalóricos.</p>	Ivair Aparecido dos Santos Sergio Gama Alexandre M. Gomes Carvalho Cleber Santiago Alves Adelino de Aguiar Coelho
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS	Unidade: Coordenação do Curso de Química	Estudo e Desenvolvimento de Materiais	<p>Linha de pesquisa: Síntese e caracterização de materiais luminescentes. Descrição: Utilizar materiais luminescentes como sonda espectroscópica para monitoramento ambiental.</p>	Margarete Soares da Silva Mario Cilense Sílvio César de Oliveira
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF	Órgão: Centro de Ciências Exatas e Tecnologia Unidade: Laboratório de Materiais Avançados	Materiais Cerâmicos	<p>Linha de pesquisa 1: Aplicação de novos materiais na forma de filmes. Descrição: O objetivo dessa linha de pesquisa em filmes cerâmicos, depositados por spray-pirólise, é investigar os efeitos da dopagem com terras raras (Ce, Sm, La, Tb) de filmes de ZnO e Al₂O₃ sobre suas propriedades elétricas, óticas e estruturais. Além disso, são estudados filmes cerâmicos para aplicação como eletrólito (ZEL e CDG) e eletrodos de pilha combustível de óxido sólido para operação em temperaturas intermediárias.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Materiais particulados. Descrição: Essa linha é voltada para a metalurgia do pó. Entre as pesquisas cujas aplicações têm interesse regional, destacam-se a síntese de pós de carbetos de metais refratários e a pesquisa em sinterização em carbetos cementados.</p>	José Nilson França de Holanda Herval Ramos Paes Junior Cezar H. Manzini Rodrigues Marcelo Gomes da Silva Marcelo Silva Sthel Angelus G. Pereira da Silva Marcílio Nunes Freire Uilame Umbelino Gomes

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB	Unidade: Departamento de Química	Grupo de Pesquisa em Síntese Orgânica e Inorgânica	<p>Linha de pesquisa 1: Síntese de complexos com ligantes macrocíclicos.</p> <p>Descrição: O uso de ligantes macrocíclicos para a síntese de complexos com lantanídeos vem se tornando cada vez mais importante devido às novas possibilidades de uso desses quelatos. Quelatos de Gd³⁺ com ligantes lineares e macrocíclicos do tipo poliamino/poliazapolicarboxílicos alteram as propriedades de ressonância magnética dos prótons da água, acentuando significativamente o contraste das imagens obtidas.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Síntese e estudos de propriedades físico-químicas de óxidos metálicos.</p> <p>Descrição: Reações de combustão e sol-gel. Atualmente, esses compostos têm aplicação em catálise heterogênea.</p>	José Arimateia Nóbrega Vandeci Dias dos Santos
Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG	Unidade: Departamento de Física	Grupo de Óptica e Espectroscopia	<p>Linha de pesquisa 1: Física dos materiais – Caracterização espectroscópica de materiais sólidos transparentes.</p> <p>Descrição: A finalidade da linha de pesquisa é o estudo e a caracterização de novos materiais para o uso em sistemas ópticos compactos. Principalmente materiais monocristalinos, com propriedades eletro-ópticas e vidros dopados com elementos terras raras.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Implementação de técnica fototérmica via fotoacústica para estudo de propriedades térmicas de vidros fluoretos e materiais supercondutores.</p> <p>Descrição: Implementação da técnica de fotoacústica para posteriormente ser aplicada no estudo de matrizes vítreas dopadas com elementos terras raras e em supercondutores.</p>	Júlio Flemming Neto Gerson Kniphoff da Cruz Rosane Falate
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG	Unidade: Departamento de Engenharia de Materiais	Termoquímica de materiais	<p>Linha de pesquisa 1: Desenvolvimento de vidros luminescentes pelo processo sol-gel.</p> <p>Descrição: Lantanídeos; luminescência; matriz vítrea; sol-gel.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Síntese e caracterização de nanocomplexos lantanídicos.</p> <p>Descrição: Análise térmica; cinética; complexos lantanídicos; espectroscopia; luminescência.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Desenvolvimento e caracterização térmica e espectroscópicas de lentes oftálmicas.</p> <p>Descrição: Caracterização espectroscópica; caracterização térmica; fotoiniciadores; produtos óticos; resinas orgânicas.</p>	Crislene R. da Silva Morais Soraya Alves de Morais Francisco Carlos de Oliveira Antônio Gouveia de Souza Bruno Freitas Lira Hélio de Lucena Lira Raílda Shelsea Taveira Rocha do Nascimento Luciana de Figueiredo Lopes Lucena



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal da Bahia – UFBA	Unidade: n.d.	Grupo de Estudos de Paleovertebrados (GEP)	Linha de pesquisa: Materiais magnéticos. Descrição: C14; elementos terras raras; isótopos instáveis de carbono.	Cristina Bertoni Machado Morgana Drefahl
	Unidade: Departamento de Físico-Química	Grupo de Estudos em Cinética e Catálise – GECCAT	Linha de pesquisa1: Cinética das reações heterogêneas. Linha de pesquisa2: Desativação de catalisadores heterogêneos. Linha de pesquisa3: Desenvolvimento de catalisadores industriais e para a proteção ambiental.	Alexilda Oliveira de Souza Ana Paula de Melo Monteiro Cristiane Martins Veloso Edgardo Meza Fuentes Genira Carneiro de Araujo Jaildes Marques Britto José Geraldo de A. Pacheco Fº Luciene Santos Carvalho Maria do Carmo R. S. Varela Marluce O.da Guarda Souza Sérgio Botelho de Oliveira Soraia Teixeira Brandão Valeria Perfeito Vicentini
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB	Unidade: n.d.	Grupo de Materiais Fotônicos	Linha de pesquisa1: Desenvolvimento de marcadores ópticos luminescentes. Linha de pesquisa2: Dispositivos moleculares para produção de ensaios clínicos.	Aluísio Marques da Fonseca Jorge Fernando Silva de Menezes Rodrigo De Paula Severino Alves Junior Sidney Jose Lima Ribeiro Breno Pannia Espósito
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN	Órgão: Faculdade das Ciências Exatas e Naturais Unidade: Departamento de Física	Física da Matéria Condensada	Linha de pesquisa: Materiais dielétricos e propriedades dielétricas. Descrição: Estudo das propriedades ópticas de materiais na faixa do infravermelho distante usando medidas dos espectros de fônons e plasmons. Modelagem e descrição teórica dessas excitações e seus correspondentes polaritons, particularmente em sistemas de baixa dimensão ou exibindo refração negativa.	Francisco Odolberto de Araújo Idalmir de Souza Queiroz Júnior João Maria Soares José Alzimir Pereira da Costa Marçílio Nunes Freire Subênia Karine de Medeiros Thomas Dumelow
Universidade Federal Fluminense – UFF	Órgão: Instituto de Química	Gerenciamento Costeiro	Linha de pesquisa: Avaliação da contaminação por metais no meio ambiente: sedimento, ar, água e solo. Aplicação da técnica de análise por ativação neutrônica e ICP-MS a amostras ambientais Descrição: Neste projeto, a análise multielementar tem sido realizada em amostras de sedimento de superfície e testemunho da região da baía de Sepetiba e baía da Ilha Grande. A análise por ativação neutrônica, tendo os limites de detecção relativamente elevados, é uma técnica adequada à análise de amostras de sedimento. Para os elementos cujas concentrações são mais baixas, a técnica de ICP-MS é mais adequada. A busca de soluções ambientalmente seguras para os processos de dragagem vêm sendo propostas.	Cesar de Faria Alvim Wasserman Ana Maria Graciano Figueiredo Andreza Portella Ribeiro Gilson Brito Alves Lima Josino Costa Moreira Júlio Cesar de F. A. Wasserman Maria Angélica V. Wasserman Reinaldo Calixto de Campos Rubens Cesar Lopes Figueira
	Órgão: Escola de Engenharia Unidade: Departamento de Engenharia Química	Eletroquímica Industrial e Meio ambiente	Linhas de pesquisa ₁ : Processos catalíticos e eletroquímica aplicados à redução de contaminantes industriais. Linhas de pesquisa ₂ : Sustentabilidade industrial e tecnologias limpas.	Beatriz Pedrosa Salvini Fabio Barbosa Passos Fernando Benedicto Mainier Geraldo de Souza Ferreira Lisiane Heinen Fernandes Lisiane Veiga Mattos Luciane P. C. Monteiro Rita de Cássia Colman Simões

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF	Órgão: Instituto de Ciências Exatas. Unidade: Departamento de Física	Grupo de Espectroscopia de Materiais	Linha de pesquisa: Estudo espectroscópico de sistemas vítreos dopados com íons terras raras. Descrição: Esta linha de pesquisa visa à caracterização de parâmetros radiativos e não radiativos de vidros, polímeros e semicondutores dopados com íons terras raras como itérbio, érbio, neodímio, túlio, európio e hólmio. O objetivo é a determinação de grandezas como a eficiência quântica e tempos de vida das emissões radioativas.	Alexandre Peixoto do Carmo Maria Jose Valenzuela Bell Virgílio de Carvalho dos Anjos
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP	Órgão: Instituto de Ciências Exatas e Biológicas Unidade: Departamento de Física	Estrutura e Propriedades de Cristais Iônicos e Moleculares	Linha de pesquisa: Síntese e caracterização estrutural de sais de sulfato de amônio e lantanídeos. Descrição: Idem.	Carlos Joel Franco Genivaldo Júlio Perpétuo
Universidade Federal da Paraíba – UFPB	Órgão: Centro de Ciências Exatas e da Natureza Unidade: Departamento de Química	Grupo de Compostos de Coordenação e Química de Superfície – GCCQS	Linha de pesquisa: Síntese e caracterização de compostos de terras raras. Descrição: desenvolver síntese e caracterização de compostos de terras raras.	Ercules Epaminondas de Souza. Teotonio Wagner de Mendonça Faustino
Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE	Órgão: Departamento de Física Unidade: Laboratório de Fotônica	Grupo de Fotônica	Linha de pesquisa 1: Espectroscopia de íons terras raras em vidros especiais. Descrição: Essa linha de pesquisa objetiva o estudo espectroscópico da emissão de luz por conversão ascendente de frequência (CAF) em vidros especiais dopados com íons terras raras. Procura-se identificar novos materiais capazes de gerar luz visível a partir de fontes de luz no infravermelho, estudar processos de interação interiônica em materiais multidopados, estabelecer novas rotas de excitação para o processo CAF, examinar novos e possíveis mecanismos de perdas em processos de amplificação de luz. Linha de pesquisa 2: Vidros especiais. Descrição: Essa linha objetiva a concepção, síntese e caracterização de vidros especiais dopados com íons terras raras com potencial para aplicação em dispositivos fotônicos.	Artur da Silva Gouveia Neto Ernande Barbosa da Costa Luciano Avallone Bueno
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC	Unidade: Departamento de Engenharia Mecânica	LABMAT – Grupo Interdisciplinar de Materiais	Linha de Pesquisa ;: Materiais magnéticos. Descrição: Desenvolvimento de materiais magnéticos <i>soft</i> e <i>hard</i> . Otimização de propriedades magnéticas. Técnicas de caracterização magnética de materiais magnéticos <i>soft</i> e <i>hard</i> . Linha de pesquisa 2: Metalurgia do pó e materiais sinterizados. Descrição: Desenvolvimento de processos e de produtos. Entre os processos de conformação dos pós, o de compactação axial em matrizes e a moldagem por injeção de pós são os mais utilizados no grupo. Materiais mais estudados no grupo: aços sinterizados, alumínio sinterizado, metal duro e ligas endurecidas por dispersão de partículas duras. Técnicas de sinterização e técnicas de liga, homogeneização e evolução microestrutural.	Paulo Antônio P. Wendhausen Aloisio Nelmo Klein Cristiano Binder Henrique Cezar Pavanati



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal de Santa Maria – UFSM	Unidade: Departamento de Química	Laboratório de Materiais Inorgânicos	Linha de pesquisa 1: Química bioinorgânica de lantanídeos. Descrição: Estudo dos mecanismos de interações moleculares com elementos da classe dos lantanídeos. Linha de pesquisa 2: Estrutura eletrônica de materiais semicondutores e nanoestruturas. Descrição: Idem.	Ernesto Schulz Lang Robert Alan Burrow Gelson Noé Manzoni de Oliveira Paulo Cesar Piquini
Universidade de Franca – UNIFRAN	Órgão: Núcleo de Pesquisa Em Ciências Exatas e Tecnológicas Unidade: Laboratório de Pesquisa em Química	Sol-Gel	Linha de pesquisa 1: Terras raras. Descrição: Cério III; Európio III; Lasers; Luminescência; Têrbio III; Vias de Onda. Linha de pesquisa 2: Sol-gel. Descrição: Cargas para resinas odontológicas; catalisadores; filmes finos; materiais híbridos orgânicos-inorgânicos; processo sol-gel; vidros com baixa TG. Linha de pesquisa 3: Nanomateriais. Descrição: Síntese e caracterização de nanomateriais com aplicações tecnológicas. Nanomateriais, sol-gel, luminescentes.	Eduardo José Nassar Katia Jorge Ciuffi Lucas Alonso Rocha Paulo Sergio Calefi Eduardo José Nassar Emerson Henrique de Faria Shirley Nakagaki Zenis Novais da Rocha
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR	Órgão: Campus Curitiba Unidade: Ecoville	Química e Recursos Renováveis	Linha de pesquisa 1: Luminescência de compostos orgânicos e inorgânicos com lantanídeos. Descrição: Estudos fotofísicos de novos compostos de íons metálicos com ligantes, tais como macrocíclicos e bases de Schiff, ou inseridos em matrizes, a exemplo de membranas de quitosana e vidros. Medidas fotofísicas têm a finalidade de determinar as propriedades espectrais, tais como a luminescência, o estado eletrônico, a eficiência quântica da luminescência e a sensibilidade óptica dos novos compostos. Linha de pesquisa 2: Nanomateriais e nanocompósitos. Descrição: Estudo de nanomateriais e nanocompósitos aplicados em dispositivos de memória, em conversores de luz em energia elétrica e também em sensores de gás.	Paulo Roberto de Oliveira Fabiana Roberta Gonçalves e Silva Hussein Marcela Mohallem Oliveira
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro	Órgão: Diretoria de Metrologia Científica e Industrial Unidade: Divisão de Metrologia de Materiais	Laboratório de Dispositivos Orgânicos (LADOR)	Fabricação, caracterização e metrologia de dispositivos eletroluminescentes orgânicos (OLEDs).	Cinco pesquisadores.

Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro	Órgão: Diretoria de Metrologia Científica e Industrial Unidade: Divisão de Metrologia de Materiais	Metrologia de Materiais e Nanotecnologia	<p>Linha de pesquisa 1: Metrologia em magnetismo. Descrição: A determinação de propriedades magnéticas de materiais magneticamente duros, como os ímãs permanentes e filmes finos magnéticos, auxilia no desenvolvimento de ímãs nanocristalinos de alto desempenho para operação a altas temperaturas.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Metrologia de dispositivos orgânicos. Descrição: Produção e caracterização de filmes finos orgânicos e inorgânicos que compõem as diversas camadas utilizadas na fabricação dos dispositivos orgânicos, tais como: dispositivos emissores de luz (OLEDs), dispositivos fotovoltaicos, sensores, transistores, etc.</p> <p>Linha de pesquisa 3: Metrologia em análise de superfícies e microscopia de ponta de prova. Descrição: Análise de superfícies em escala nanométrica ou atômica. Topografia e caracterização elementar, rugosidade, interações a níveis atômicos e moleculares podem ser objeto de estudo. O laboratório busca, assim, estar preparado para a caracterização de superfícies e filmes finos e o desenvolvimento de novos materiais nanoestruturados.</p> <p>Linha de pesquisa 4: Metrologia em difração e espectroscopia óptica. Descrição: Análise de propriedades ópticas, vibracionais, eletrônicas, identificação de estruturas cristalinas e composição química, além de medidas de propriedades microestruturais (tensão residual, textura cristalográfica e tamanho de cristalitos).</p> <p>Linha de pesquisa 5: Metrologia em análises térmicas e materiais particulados. Descrição: Análise térmica é usada como uma ferramenta de controle de qualidade em três principais áreas: caracterização, processamento (otimização e monitoramento) e desenvolvimento de materiais.</p>	Carlos Alberto Achete Jailton Carreiro Damasceno Ado Jorio de Vasconcelos Alexandre Magnus Gomes Carvalho Carlos Eduardo Cardoso Galharo Caroline Arantes da Silva Clara Muniz da Silva de Almeida Cristiano Legnani Érica Gonçalves Gravina Erlon Henrique Martins Ferreira Eveline De Robertis Gabriela Fernandes Moreira Geraldo Antônio Guerrera Cidade Giselle Nogueira Fontes Horst Niehus Jessica Rosaura Campos Delgado Marco Cremona Marcos Fukuhara Oleksii Kuznetsov Raigna Augusta da Silva Zadra Armond Rodrigo de Santis Neves Rogerio Valaski Taeko Yonamine Fukuhara Welber Gianini Quirino
Instituto Nacional de Tecnologia – INT	Órgão: n.d. Unidade: n.d.	Grupo de Pesquisa em Catálise	Linhas de pesquisa: n.d.	Fabio Bellot Noronha Lucia Gorenstin Appel Marco A. Fraga
Universidade de Caxias do Sul – UCS	Unidade: Programa de Pós-Graduação em Materiais	Materiais Cerâmicos	<p>Linha de pesquisa 1: Síntese, processamento e caracterização de materiais. Descrição: investigação de diferentes rotas de síntese e processamento de materiais e proceder à sua caracterização mediante técnicas experimentais variadas, incluindo difração de raios-X, espalhamento Raman e espectroscopia de absorção no infravermelho, bem como técnicas de caracterização mecânica, com microdureza e resistência à abrasão.</p> <p>Linha de pesquisa 2: Simulação computacional. Descrição: Aplicação da simulação computacional de primeiros princípios no cálculo de propriedades físicas de materiais.</p>	André Luis Martinotto Janete Eunice Zorzi Carlos Alberto Costa Otávio Bianchi Cláudio Antônio Perottoni Robinson Carlos Dudley Cruz Jadna Catafesta Sandro Tomaz Martins



Instituição	Órgão/Unidade	Grupo de pesquisa	Linha(s) de pesquisa (s): breve descrição	Pesquisadores
Universidade Federal do Vale do São Francisco – Univasf	Órgão: Campus Juazeiro Unidade: Colegiado de Engenharia Elétrica	Grupo de Pesquisa em Eletromagnetismo – GEMA	<p>O Grupo de Pesquisa em Eletromagnetismo (GEMA) tem por objetivo desenvolver pesquisas teóricas e aplicadas na área de eletromagnetismo. As perspectivas do GEMA são análises teóricas sobre as equações de Maxwell, estudos experimentais sobre fenômenos de indução eletromagnética, capacitâncias parasitas, bobinas planas, materiais magnéticos e elétricos, transformadores de alta tensão, entre outras. O princípio básico das pesquisas desenvolvidas pelo GEMA é fundamentar novas teorias e fundamentações a partir da matemática e de procedimentos experimentais, bem como aplicações de campos elétricos e magnéticos em novas perspectivas, utilizando, para isso, pesquisas em várias áreas afins. São seis as linhas de pesquisa atuais:</p> <p>Linha de pesquisa 1: Alta tensão. Linha de pesquisa 2: Aplicações eletromagnéticas. Linha de pesquisa 3: Capacitâncias parasitas. Linha de pesquisa 4: Caracterização de materiais magnéticos. Linha de pesquisa 5: Ondas eletromagnéticas. Linha de pesquisa 6: Sistemas ressonantes.</p>	Eduard Montgomery Meira Costa Ramon Alves Alem José Américo de Sousa Moura

Fonte: ALMEIDA, M.F.L. *Grupos de pesquisa e especialistas em terras raras no Brasil*. Mimeo. Brasília: CGEE, 2012. Fonte primária: CNPq. *Diretório de Grupos de Pesquisa no Brasil*. 2012.



Lista de figuras

Figura 1. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ímãs de terras raras	17
Figura 2. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para FCC na indústria de petróleo	20
Figura 3. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores automotivos	20
Figura 4. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para geração de hidrogênio	21
Figura 5. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras	23
Figura 6. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de fósforos de terras raras	25
Figura 7. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais	26
Figura 8. Fluxograma geral de execução do estudo Usos e Aplicações de <i>Terras Raras no Brasil: 2012-2030</i>	39
Figura 9. Demanda de terras raras por aplicação: EUA e mundo (2010)	55
Figura 10. Estimativa da demanda de terras raras por aplicação: EUA e mundo (2015)	55
Figura 11. Demanda e oferta de terras raras segundo Ernst & Young: 2010-2015-2020	57
Figura 12. Demanda e oferta de terras raras segundo TMR: período de 2010 a 2017	58
Figura 13. Estimativa de escassez/excesso de oferta de ETRs críticos: 2015-2017	59
Figura 14. Estimativa de participação chinesa no fornecimento mundial de terras raras: 2014-2017	60
Figura 15. Evolução dos preços históricos e futuros para ETRs selecionados	61
Figura 16. Fatores que influenciarão o comportamento dos preços de ETRs	63
Figura 17. Evolução da produção científica referentes ao tema terras raras: 1981-2011	65
Figura 18. Produção científica sobre terras raras por país de origem: 1981-2011	66
Figura 19. Ocorrências de ETRs no Brasil	76
Figura 20. Distribuição regional dos grupos de pesquisa em terras raras no Brasil	82
Figura 21. Modelo conceitual para construção do cenário prospectivo global de referência: horizonte 2030	86
Figura 22. Diagrama de escolha para a construção de cenários prospectivos globais da cadeia produtiva de terras raras: horizonte 2030	95
Figura 23. Escolha do cenário global de referência da cadeia produtiva de terras raras: trajetória mista	100
Figura 24. Esquema gráfico da matriz SWOT: forças, fraquezas, ameaças e oportunidades	101
Figura 25. Evolução das patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras	108
Figura 26. Competência atual nos estágios das etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras no Brasil	112
Figura 27. Localização dos ímãs de neodímio em discos rígidos	125
Figura 28. Aplicações de ímãs e outros elementos de terras raras em produtos do setor de tecnologias de informação e comunicação (TIC). Adaptada de Hocquard	126
Figura 29. Ímãs de terras raras como componente inovador em produtos de consumo	128
Figura 30. Vista explodida de motor elétrico com uso de ímãs de terras raras	129
Figura 31. Aplicações de ímãs e elementos de terras raras em veículos	130

Figura 32. Cadeia produtiva de ímãs de terras raras	130
Figura 33. Esquema de célula de redução de cloreto de neodímio via eletrólise de sais fundidos	131
Figura 34. Processo produtivo básico para a fabricação de ímãs à base de Nd-Fe-B	134
Figura 35. Evolução das patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras	136
Figura 36. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ímãs de terras raras	140
Figura 37. Formação da partícula de catalisador de FCC por atomização (<i>spray drying</i>)	147
Figura 38. Funcionamento dos conversores catalíticos	150
Figura 39. Cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras	154
Figura 40. Evolução das patentes referentes a catalisadores à base de terras raras	155
Figura 41. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para FCC na indústria de petróleo	159
Figura 42. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores automotivos	160
Figura 43. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para geração de hidrogênio	160
Figura 44. Aplicação de mischmetal em isqueiros	165
Figura 45. Cadeia produtiva de ligas metálicas de terras raras	166
Figura 46. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras	167
Figura 47. Cadeia produtiva de fósforos de terras raras	172
Figura 48. Evolução das patentes referentes a fósforos contendo terras raras	174
Figura 49. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de fósforos de terras raras	178
Figura 50. Cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais	185
Figura 51. Evolução das patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras	186
Figura 52. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais	192
Figura 53. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ímãs de terras raras	201
Figura 54. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para FCC na indústria de petróleo	204
Figura 55. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores automotivos	204
Figura 56. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de catalisadores para geração de hidrogênio	205
Figura 57. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras	207
Figura 58. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de fósforos de terras raras	209
Figura 59. Competência atual em cada estágio da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais	211



Lista de tabelas

Tabela 1. Demanda mundial de óxidos de terras raras em 2011, por aplicação	60
Tabela 2. Publicações científicas referentes ao tema terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981 - 2011 (critério: <i>top 10</i>)	67
Tabela 3. Publicações científicas referentes ao tema terras raras, classificadas por instituição de origem: 1981-2011	68
Tabela 4. Publicações científicas referentes ao tema terras raras, classificadas por título de periódico: 1981-2011	69
Tabela 5. Proprietários de patentes referentes ao tema terras raras: 1981-2011	70
Tabela 6. Patentes referentes ao tema terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério <i>top 10</i>)	71
Tabela 7. Patentes referentes ao tema terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981- 2011 (critério: <i>top 10</i>)	72
Tabela 8. Ocorrências de ETRs no Brasil	77
Tabela 9. Reservas de terras raras no Brasil	77
Tabela 10. Depositantes de patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras: 1981-2011	108
Tabela 11. Patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981- 2011 (critério <i>top 10</i>)	110
Tabela 12. Patentes referentes às etapas iniciais da cadeia produtiva de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981- 2011 (critério: <i>top 10</i>)	111
Tabela 13. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras	136
Tabela 14. Proprietários de patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras: 1981-2011	137
Tabela 15. Patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério <i>top 10</i>)	138
Tabela 16. Patentes referentes a ímãs permanentes de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: <i>top 10</i>)	139
Tabela 17. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a catalisadores – de FCC e automotivos – à base de terras raras	154
Tabela 18. Proprietários de patentes referentes a catalisadores à base de terras raras: 1981-2011	156
Tabela 19. Patentes referentes a catalisadores à base de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério <i>top 10</i>)	157
Tabela 20. Patentes referentes a catalisadores à base de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: <i>top 10</i>)	158
Tabela 21. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a fósforos contendo terras raras	173
Tabela 22. Depositantes de patentes referentes a fósforos contendo terras raras: 1981-2011	174
Tabela 23. Patentes referentes a fósforos de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério <i>top 10</i>)	176
Tabela 24. Patentes referentes a fósforos contendo terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: <i>top 10</i>)	177

Tabela 25. Principais grupos de pesquisa associados à cadeia produtiva de fósforos de terras raras no Brasil	179
Tabela 26. Estratégia de busca adotada no levantamento de patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras	185
Tabela 27. Proprietários de patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras: 1981-2011	187
Tabela 28. Patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras, classificadas por subclasses e respectivos códigos da ICP: 1981-2011 (critério <i>top 10</i>)	188
Tabela 29. Patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras, classificadas por área do conhecimento: 1981-2011 (critério: <i>top 10</i>)	189
Tabela 30. Depositantes de patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras: 1981-2011	212

Lista de quadros

Quadro 1. Estudos de referência sobre terras raras no mundo	40
Quadro 2. Estudos de referência sobre terras raras no Brasil	41
Quadro 3. Taxonomia única para o estudo prospectivo de terras raras	51
Quadro 4. Elementos de terras raras: propriedades e aplicações	56
Quadro 5. Taxas estimadas de crescimento anual de aplicações selecionadas nos períodos 2010-2015 e 2015-2020	56
Quadro 6. Estratégias-chave de países detentores de reservas de ETRs, por país	64
Quadro 7. Estratégias-chave de países não detentores de reservas de ETRs, por país	64
Quadro 8. Síntese das tendências e mudanças em andamento no panorama mundial de terras raras	74
Quadro 9. Incertezas críticas associadas ao mercado global de terras raras	75
Quadro 10. Grupos de PD&I com linhas de pesquisa em terras raras	78
Quadro 11. Principais instituições brasileiras com linhas de pesquisa em terras raras	82
Quadro 12. Situação atual do contexto global da cadeia produtiva de terras raras	89
Quadro 13. Condicionantes da evolução futura das cadeias produtivas de terras raras no mundo: horizontes 2020 e 2030	91
Quadro 14. Incertezas críticas da evolução da cadeia produtiva de terras raras no mundo: horizonte 2030	94
Quadro 15. Descrição do cenário “Missão Impossível”	96
Quadro 16. Descrição do cenário “Negócio da China”	97
Quadro 17. Descrição do cenário “Armagedon”	98
Quadro 18. Descrição do cenário “Miragem”	99
Quadro 19. Matriz SWOT da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: período 2012-2020	102
Quadro 20. Matriz SWOT da cadeia produtiva de terras raras no Brasil: período 2021-2030	103
Quadro 21. Gargalos e desafios o país em relação ao cenário global de referência: períodos 2012-2020 e 2021-2030	104
Quadro 22. Hierarquização das cadeias produtivas de aplicações de terras raras no Brasil	114



Quadro 23. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030	116
Quadro 24. <i>Roadmap</i> estratégico da cadeia produtiva de terras raras no Brasil	118
Quadro 25. Principais usos industriais de ímãs de terras raras, segundo as etapas do ciclo de vida dos produtos	124
Quadro 26. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030	143
Quadro 27. Principais usos industriais de catalisadores à base de terras raras segundo as etapas do ciclo de vida dos produtos	146
Quadro 28. Elementos terras raras como componentes de catalisadores em reações químicas	152
Quadro 29. Elementos terras raras como componentes de catalisadores para geração de hidrogênio para células a combustível	153
Quadro 30. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de catalisadores à base de terras raras	162
Quadro 31. Usos industriais de ligas metálicas portadoras de terras raras	166
Quadro 32. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de ligas metálicas portadoras de terras raras	168
Quadro 33. Usos industriais de fósforos de terras raras	171
Quadro 34. Grau de maturidade dos produtos que utilizam fósforos de terras raras	172
Quadro 35. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de fósforos	182
Quadro 36. Usos industriais de pós para polimento	184
Quadro 37. Patentes referentes a pós para polimento à base de terras raras: 1981-2011	190
Quadro 38. Objetivos estratégicos para alcance da visão de futuro 2030 da cadeia produtiva de pós para polimento e fabricação de vidros e lentes especiais	193

Lista de siglas e abreviaturas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ANM	Agência Nacional de Mineração
Certi	Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras
Cetem	Centro de Tecnologia Mineral
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ENCTI	Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação
FCC	Fluid Catalytic Cracking
FhG-IFAM	Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung
Fundo CT-Mineral	Fundo Setorial do Setor Mineral
GBN	Global Business Network
GTI-ME	Grupo de Trabalho Interministerial sobre Minerais Estratégicos
ICTs	Instituições Científicas e Tecnológicas

INB	Indústrias Nucleares do Brasil
IPC	The International Patent Classification
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MME	Ministério de Minas e Energia
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PBM	Plano Brasil Maior
PD&I	Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação
PNM	Plano Nacional de Mineração
PNMC	Política Nacional de Mudança do Clima
Pnuma	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
Setec	Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação
SGM	Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral
TRs	Terras Raras
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina





Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Ciência, Tecnologia e Inovação

ISBN 978-85-60755-64-6

Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**