Relatório Final

Apoio à preparação da Estratégia Nacional de Terras Raras

30 de Abril de 2026

Relatório Final

30 de abril de 2026

Sumário executivo 2
1. Introdução 6
1.1. Contexto geopolítico global 6
1.2. O papel do Brasil 9
1.3. Objetivos gerais para a ENTR e público alvo 10
1.4. Metodologia 11
2. Cenário global do setor de terras raras 12
2.1. Panorama geral das terras raras: o que são e para que servem 12
2.2. Evolução da criticidade e reconfiguração geopolítica das terras raras 14
2.3. Reservas globais, produção e processamento no mundo 16
2.4. Tendências da demanda mundial de terras raras 18
2.5. Demanda brasileira de ETR magnéticos 21
2.6. Análise comparativa internacional 27
3. Diagnóstico do setor de terras raras no Brasil 74
3.1. Visão geral do setor de terras raras no Brasil 74
3.2. Base de recursos: potencial geológico, reservas e projetos em desenvolvimento 76
3.3. Diagnóstico da cadeia de valor de terras raras no Brasil 84
3.4. Arcabouço regulatório e políticas nacionais 105
3.4. Ecossistema institucional e mapeamento de *stakeholders* 110
3.5. Evidências da pesquisa de campo, principais achados e lacunas 118
3.6. Oportunidades de agregação de valor e implicações estratégicas 135
3.7 Posição do Brasil nas cadeias globais de valor e parcerias estratégicas 159
3.8 Síntese do diagnóstico 163
4. Estratégia Nacional de Terras Raras 165
4.1 Visão, princípios e objetivos 165
4.2 Eixos estratégicos 166
4.3 Metas nacionais para a cadeia brasileira de terras raras 191
4.4 Condições habilitadoras 204
4.5 Parcerias estratégicas 214
5. Plano de ação, governança e implementação 219
5.1 Curto, médio e longo prazo 219
5.2 Matriz de ações prioritárias 223
5.3 Agenda regulatória e institucional 230
5.4 Agenda tributária e financeira 233
5.5 Governança e coordenação 235
5.6 Monitoramento e indicadores 241
5.7 Conclusão executiva 243
Anexo I: Lista de *stakeholders* consultados 245
Anexo II: Metodologia 248
Anexo III - Recomendações com práticas para impacto positivo 253

Lista de Siglas

ANM: Agência Nacional de Mineração.

ANSN: Autoridade Nacional de Segurança Nuclear.

BNDES: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.

CAPEX: Capital Expenditure (Investimento de capital/Esforço de capital necessário).

CEBRI: Centro Brasileiro de Relações Internacionais.

CFEM: Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais.

CNEN: Comissão Nacional de Energia Nuclear.

CNPM: Conselho Nacional de Política Mineral.

CPLI: Consentimento Prévio, Livre e Informado.

CPRM: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Serviço Geológico do Brasil).

Dy: Disprósio.

DyTb: Disprósio-Térbio.

EIA/RIMA: Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental.

ENTR: Estratégia Nacional de Terras Raras.

EPE: Empresa de Pesquisa Energética.

ESG: Environmental, Social, and Governance (Ambiental, Social e Governança).

ETR: Elementos de Terras Raras.

ETRL: Terras Raras Leves.

ETRP: Terras Raras Pesadas.

FAB: Força Aérea Brasileira.

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos.

GSI: Gabinete de Segurança Institucional.

HREE: Heavy Rare Earth Elements (Terras Raras Pesadas).

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBRAM: Instituto Brasileiro de Mineração.

IEA: Agência Internacional de Energia (International Energy Agency).

LDO: Lei de Diretrizes Orçamentárias.

LOA: Lei Orçamentária Anual.

LSO: Licença Social para Operar.

MCE: Minerais Críticos e Estratégicos.

MCTI: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

MDIC: Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços.

MMA: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima.

MME: Ministério de Minas e Energia.

MREC: Mixed Rare Earth Carbonate (Carbonato Misto de Terras Raras).

MREO: Magnetic Rare Earth Oxide (Óxido de Terras Raras Magnéticos).

Nd: Neodímio.

NdFeB: Neodímio-ferro-boro (tipo de ímã permanente de alto desempenho).

NdPr: Neodímio-Praseodímio.

NORM: Naturally Occurring Radioactive Material (Materiais Radioativos de Ocorrência Natural).

OCDE: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.

OPEX: Operational Expenditure (Despesas operacionais/Custos de operação).

P&D: Pesquisa e Desenvolvimento.

PD&I: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação.

PPA: Plano Plurianual.

PPB: Processo Produtivo Básico.

Pr: Praseodímio.

REEE: Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos

REO: Rare Earth Oxide (Óxido de Terras Raras).

ROM: Run of Mine (Minério bruto tal qual extraído da mina).

SGB: Serviço Geológico do Brasil.

Tb: Térbio.

TREO: Total Rare Earth Oxide (Óxido de Terras Raras Total).

TRL: Technology Readiness Level (Nível de Maturidade Tecnológica).

USGS: Serviço Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey).

Sumário executivo

O contexto geopolítico atual, caracterizado pela busca por segurança econômica, energética, tecnológica e industrial tornou os minerais críticos – especialmente as terras raras – em ativos estratégicos. A crescente disputa entre grandes potências por domínio das cadeias de suprimento ligadas à transição energética, à indústria de defesa e às tecnologias digitais elevou a importância de países capazes de fornecer minerais críticos de forma estável, sustentável e geopoliticamente confiável. Nesse cenário, o Brasil surge como um dos países com maior potencial estratégico do mundo, atraindo forte interesse internacional de governos, empresas e investidores em busca de diversificação e resiliência nas cadeias de suprimento. Esse movimento se reflete no aumento das propostas de parceria, dos projetos de investimento e no fortalecimento da agenda nacional, incluindo iniciativas em andamento como a tramitação do PL 2780/2024, que institui a Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE), além da incorporação do tema em políticas industriais, energéticas, climáticas e de transformação ecológica. Para transformar esse potencial em resultados concretos e converter suas vantagens competitivas em capacidades estratégicas reais, o Brasil precisa de instrumentos de política pública capazes de definir prioridades, coordenar a atuação dos diferentes atores do ecossistema e orientar investimentos e esforços em torno de uma visão comum de desenvolvimento socioeconômico sustentável, geração de valor agregado e compartilhamento mais amplo da riqueza produzida no país. O presente trabalho contribui para esse objetivo ao apresentar um diagnóstico e fundamentos para uma Estratégia Nacional. O relatório inclui uma análise dos instrumentos e políticas já existentes — em vigor ou em tramitação — e avança na proposição de uma abordagem integrada, coordenada e ambiciosa para o desenvolvimento da cadeia de Terras Raras no Brasil.

Este estudo de apoio à preparação da Estratégia Nacional de Terras Raras (ENTR) conclui que o Brasil reúne condições excepcionais para ampliar sua relevância nas cadeias globais de minerais críticos. O país detém, considerando recursos e reservas já mapeados, cerca de 23,1% dos recursos globais de terras raras e possui a segunda maior reserva mundial, além de uma carteira crescente de projetos competitivos e uma base técnico-científica relevante. Entretanto, o relatório enfatiza que a vantagem geológica, isoladamente, não garante posicionamento estratégico. O desafio central brasileiro não está somente em identificar jazidas com potencial para exploração de terras raras, extrair os recursos e desenvolver as capacidades de produção mineral de forma sustentável e inclusiva, mas também em desenvolver capacidade nacional de processamento, transformação industrial, inovação e inserção em segmentos de maior valor agregado.

Nesse sentido, a cadeia de valor das terras raras pode ser organizada em três elos principais: o ***upstream*** (mineração, concentração e beneficiamento mineral), o

midstream (separação individual dos elementos, purificação, refino e transformação em óxidos, metais e ligas) e o ***downstream*** (produção de ímãs permanentes, componentes e aplicações industriais de maior valor agregado). Considerando o domínio dos elos mais sofisticados da cadeia, especialmente o midstream – separação e refino – pela China, a reorganização das cadeias globais para superar esse gargalo estratégico global cria uma janela de oportunidade favorável ao Brasil. Países vêm estruturando políticas industriais, instrumentos financeiros e acordos de *friendshoring*[1] para diversificar fornecedores e reduzir vulnerabilidades geopolíticas. O relatório destaca que o Brasil pode se posicionar como parceiro confiável nesse processo, desde que avance rapidamente na construção de capacidades industriais e regulatórias domésticas.

A análise de experiências internacionais (benchmarking internacional) realizada por este estudo nos principais países com participação nas cadeias de Elementos de Terras Raras (ETR) mostra que os países mais bem-sucedidos combinaram instrumentos públicos de financiamento, coordenação institucional, políticas industriais, apoio à inovação, previsibilidade regulatória e mecanismos de mitigação de risco. A principal lição internacional identificada é que a competitividade em minerais críticos depende da articulação entre mineração, processamento, tecnologia e política industrial. O relatório recomenda que o Brasil evite tanto uma estratégia meramente extrativa quanto a tentativa de internalizar toda a cadeia simultaneamente. A recomendação é adotar uma trajetória gradual, seletiva e coordenada de adensamento produtivo.

O diagnóstico nacional aponta que o Brasil já possui *upstream* competitivo e projetos promissores, sobretudo em depósitos de argilas de adsorção iônica em Goiás e Minas Gerais, com potencial para descoberta de novas jazidas. O potencial adicional estimado é de aproximadamente 38,7 mil toneladas de óxidos de terras raras (TREO), equivalente a cerca de 10% da produção mundial estimada para 2025. Há ainda previsão de cerca de R$13,2 bilhões em investimentos nos projetos mais avançados.

Apesar disso, os principais gargalos nacionais concentram-se nos elos de maior valor agregado da cadeia. O Brasil ainda enfrenta limitações importantes em capacidade de processamento e transformação industrial, baixa densidade tecnológica e dependência externa em etapas críticas como separação, refino e produção de materiais avançados. Além disso, persistem desafios regulatórios, ambientais, institucionais e financeiros que dificultam o escalonamento dos projetos, aumentam a percepção de risco dos investimentos e reduzem a capacidade de coordenação entre mineração, indústria, inovação e desenvolvimento territorial.

[1] *Friendshoring* é uma estratégia político-econômica de transferência de etapas críticas da produção para países aliados, com valores e compromissos institucionais semelhantes, fortalecendo redes de fornecedores “confiáveis” e politicamente previsíveis (Müller, 2023).

Diante desse cenário, o estudo defende a necessidade de uma estratégia nacional estruturada, capaz de definir prioridades, coordenar instrumentos públicos e reduzir incertezas para investidores. A ENTR é concebida como uma estratégia de Estado voltada à transformação da vantagem geológica em capacidade produtiva e tecnológica.

A estrutura proposta para a ENTR está organizada em três horizontes temporais complementares.

No curto prazo, o objetivo central é destravar e organizar a cadeia. As prioridades incluem:

- consolidação do upstream competitivo;
- aprofundamento da inteligência geológica;
- criação de instrumentos para redução de riscos na cadeia (*de-risking);*
- instrumentos tributários e financeiros voltados à gradativa verticalização;
- coordenação regulatória para radioatividade e materiais radioativos de ocorrência natural (NORM, na sigla em inglês);
- harmonização entre órgãos federais e estaduais;
- fortalecimento institucional;
- apoio inicial a separação e refino seletivos;
- início de programas de reciclagem.

No médio prazo, a estratégia busca escalar e adensar a cadeia produtiva. As ações incluem:

- expansão da capacidade nacional de separação e refino;
- avanço em metais, ligas e magnetos;
- criação de *hubs* regionais de processamento e inovação;
- integração com setores consumidores estratégicos como defesa, mobilidade elétrica e energia renovável;
- contratos de longo prazo e estímulos à demanda doméstica.

No longo prazo, a meta é integrar e reposicionar o Brasil nas cadeias globais de maior valor agregado. O estudo prevê:

- consolidação de cadeia integrada entre mina, refino, metalurgia e magnetos;
- fortalecimento da circularidade e reciclagem;
- ampliação da produção de componentes avançados;
- inserção internacional em cadeias estratégicas;
- desenvolvimento de políticas de conteúdo nacional e compras públicas.

Um dos pilares centrais da proposta é a construção de uma agenda regulatória e institucional capaz de reduzir incertezas, aumentar a previsibilidade e coordenar

de forma mais eficiente os diferentes órgãos envolvidos no desenvolvimento da cadeia de terras raras. O relatório destaca que a fragmentação entre licenciamento mineral, ambiental e radiológico gera insegurança jurídica, eleva os riscos dos projetos e dificulta sua financiabilidade. Para enfrentar esse desafio, a estratégia propõe fortalecer a coordenação entre União e estados, aprimorar a articulação entre autoridades regulatórias, criar soluções específicas para temas sensíveis como o tratamento da radioatividade, acelerar a tramitação de projetos estratégicos e ampliar os mecanismos de governança territorial, participação social e coordenação interministerial.

Outro eixo estruturante é a agenda tributária e financeira, desenhada para viabilizar a verticalização gradual da cadeia e estimular investimentos nos elos de maior valor agregado. O relatório propõe uma combinação de instrumentos voltados para redução do custo de capital, mitigação de riscos e apoio ao escalonamento tecnológico e industrial, incluindo incentivos tributários, crédito de longo prazo, apoio à inovação, financiamento de plantas-piloto, mecanismos de internalização tecnológica e instrumentos capazes de aumentar a competitividade econômica das etapas de processamento, refino, metalização e fabricação de magnetos no território nacional. Essa agenda dialoga com e complementa instrumentos previstos no PL 2780/2024 e PL 4443/2025, que propõem mecanismos para o fortalecimento da cadeia de minerais críticos e estratégicos, incluindo incentivos à agregação de valor, coordenação institucional, financiamento e estímulo à industrialização no território nacional.

Por fim, o estudo também enfatiza que a consolidação dessa estratégia dependerá da capacidade de alinhar competitividade econômica, sustentabilidade socioambiental e legitimidade territorial, garantindo o envolvimento efetivo das comunidades locais e a geração de benefícios compartilhados nas regiões onde os projetos serão desenvolvidos. A expansão da cadeia de terras raras no Brasil deve estar ancorada em uma governança robusta, sustentabilidade socioambiental e desenvolvimento territorial, sendo esses elementos condições estruturais – e não acessórios – para a estratégia nacional. Dados a complexidade e os riscos associados ao setor, o avanço da atividade exige coordenação institucional, adoção de padrões elevados de ESG, fortalecimento da participação social e mecanismos como consentimento prévio, livre e informado quando aplicável. O desenvolvimento local não é automático, dependendo de políticas ativas para potencializar benefícios (emprego, renda, receitas públicas) e mitigar efeitos adversos (pressão sobre serviços, conflitos territoriais e deslocamentos). O relatório apresenta diretrizes, ações e indicadores nesse sentido, sendo complementado por uma cartilha de melhores práticas.

A conclusão central é que o Brasil possui uma oportunidade histórica de se tornar ator estratégico nas cadeias globais de minerais críticos, mas ela não se concretizará automaticamente. O sucesso dependerá da capacidade do país de

coordenar políticas públicas, mobilizar investimentos, reduzir incertezas regulatórias, desenvolver capacidades industriais e garantir legitimidade territorial e socioambiental aos projetos.

A ENTR propõe justamente este caminho: transformar a abundância mineral em desenvolvimento industrial, tecnológico e geopolítico sustentável. Em um contexto internacional marcado pela disputa por segurança de suprimento, o Brasil tem condições de se posicionar como parceiro estratégico em cadeias globais de maior valor agregado e relevância geopolítica. Sem estratégia, que proporcione capacidade de negociação com parceiros internacionais em bases paritárias, o país corre o risco de perder a oportunidade de se posicionar nas cadeias globais de minerais críticos, mantendo a histórica baixa captura de valor econômico, reduzida integração industrial e elevada dependência tecnológica externa. Por outro lado, a implementação da ENTR poderá criar condições para estruturar uma cadeia nacional integrada e competitiva, incluindo a expansão da produção mineral, o desenvolvimento do processamento intermediário e a agregação de valor industrial. O custo da inação não se limita à perda de oportunidades econômicas, mas também à limitação da capacidade do país de ocupar posição estratégica no mercado global de tecnologias avançadas e ampliar seu poder de barganha geopolítica.

1. Introdução

1.1. Contexto geopolítico global

Os minerais críticos ocupam uma posição central na geopolítica contemporânea por serem insumos essenciais para a transformação energética, a transformação digital, a indústria de defesa e a competitividade industrial. Materiais como cobre, lítio, níquel, grafita e terras raras são tratados de forma crescente como ativos estratégicos por seu papel na segurança nacional e autonomia tecnológica dos países. Nesse contexto, a disputa em torno desses recursos deixou de se limitar ao acesso geológico e passou a envolver o controle das etapas de processamento, refino, manufatura e inovação tecnológica e a busca pela resiliência das cadeias de suprimento.

Entre os minerais críticos, os elementos de terras raras (ETR) assumem importância singular em razão de suas propriedades magnéticas, luminescentes, catalíticas e eletroquímicas, que os tornam essenciais para uma ampla gama de aplicações estratégicas na economia atual. Esses elementos são utilizados na fabricação de ímãs permanentes de alto desempenho, fundamentais para tecnologias de energia renovável e mobilidade elétrica, assim como em automação e infraestrutura digital. Também são empregados em dispositivos optoeletrônicos, lasers, sensores e catalisadores, além de aplicações em sistemas

aeronáuticos e de defesa, contribuindo para o aumento da eficiência e da precisão dessas tecnologias (CEBRI, 2025).

Quatro elementos (neodímio, praseodímio, disprósio e térbio) ganharam particular destaque por seu papel na produção de ímãs permanentes utilizados em veículos elétricos, turbinas eólicas e sistemas industriais avançados. Estudos apontam que a demanda por esses elementos pode triplicar na próxima década, ainda que em volumes relativamente limitados.[2]

A crescente relevância dos elementos terras raras decorre tanto da expansão da demanda quanto das vulnerabilidades associadas à sua oferta. Do lado da demanda, três tendências estruturais contribuem para sua importância crescente. Primeiro, a eletrificação da economia e expansão das energias renováveis elevaram a demanda por turbinas eólicas, motores elétricos, soluções de armazenamento e equipamentos de alta eficiência energética intensivos em terras raras, tornando os ETR um pilar da transição energética. Segundo, a digitalização acelerada da economia e o avanço da inteligência artificial, da conectividade e da automação requerem insumos de alto desempenho como os ETR, para o funcionamento de dispositivos e infraestruturas críticas.[3] Por fim, o aumento da competição geopolítica e a modernização dos sistemas de defesa reforçam a importância desses insumos para radares, sensores, drones, satélites, sistemas guiados e outras tecnologias sensíveis.

No entanto, a criticidade dos ETR não decorre de escassez geológica absoluta. Esses elementos existem em diversas regiões do mundo, ainda que, em geral, em baixos teores e com elevada complexidade de separação e refino. O principal fator de risco está na elevada concentração geográfica e tecnológica da cadeia de valor, especialmente nas etapas intermediárias e finais. Nas últimas décadas, a China consolidou posição dominante no processamento, refino e manufatura de produtos de maior valor agregado, em especial ímãs permanentes, para além da mineração.

Esse padrão de concentração resultou de uma combinação entre dotação geológica favorável, política industrial de longo prazo, investimentos em capacidade produtiva, domínio tecnológico e custos competitivos. A China detém cerca da metade dos recursos mundiais de ETR, sendo responsável por 70% da produção e por praticamente toda a cadeia de processamento (CEBRI, 2025). No downstream, detém 94% da produção de ímãs, uma situação de quase

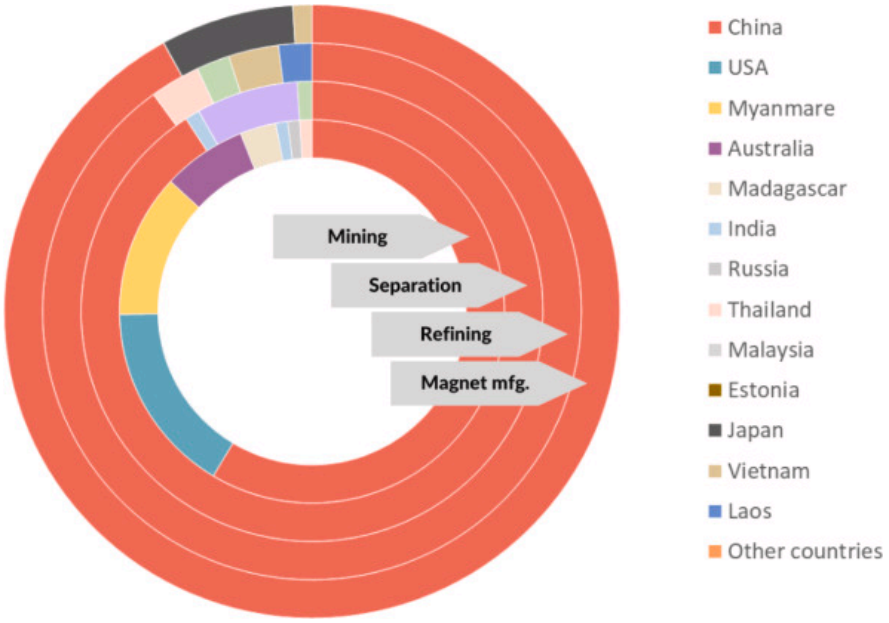
[2] A International Energy Agency (2025) estima que a demanda por terras raras magnéticas quase dobre entre 2021 e 2040, de 78 quilotoneladas (kt) para 140 kt. Já outros estudos mais ambiciosos, como o da McKinsey (2025), apontam que a demanda por terras raras magnéticas pode triplicar entre 2022 e 2035, de 59 kt para 176 kt.
https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/powering-the-energy-transitions-motor-circular-rare-earth-elements#/

[3] De acordo com o relatório da International Energy Agency "*The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*"
https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions

monopólio.[4] A produção fora da China entrou em declínio no fim do século passado, quando empresas deslocaram suas atividades para o país, motivadas por menores custos e crescente capacidade industrial chinesa, além de restrições ambientais e dificuldade em competir com os preços chineses.

A concentração da cadeia global em um número reduzido de atores passou a gerar preocupações mais agudas a partir dos anos 2010, quando restrições de exportação, tensões comerciais e disrupções logísticas evidenciaram a vulnerabilidade das cadeias de suprimento. Desde então, os ETR passaram a ser tratados como críticos sob a ótica da segurança econômica, da soberania tecnológica e da resiliência industrial.

Figura 1. Concentração geográfica das etapas da cadeia de suprimentos de ímãs Neodímio-Ferro-Boro



Fonte: US Department of Energy (2022).

Para reduzir as suas vulnerabilidades, países e blocos econômicos passaram a adotar estratégias voltadas à diversificação de fontes de suprimento, à retomada da mineração doméstica, ao fortalecimento de capacidades de processamento e refino, à reciclagem e à formação de estoques estratégicos. Esse movimento revela uma mudança importante na forma como os ETR são considerados, deixando de se limitar ao acesso ao recurso mineral e passando a envolver, de maneira mais ampla, a disputa por capacidades produtivas, tecnológicas e

[4] https://oglobo.globo.com/economia/noticia/2025/08/15/china-faz-alerta-a-empresas-estrangeiras-nao-acumulem-estoques-de-terras-raras.ghtml

institucionais ao longo de toda a cadeia de valor. A relevância estratégica das terras raras hoje está também associada à capacidade de transformar recursos geológicos em produção, processamento, manufatura, inovação e inserção competitiva em cadeias globais de maior valor agregado.

Nesse cenário, países com reservas e potencial de expansão produtiva passaram a ganhar atenção. O Brasil se insere nesse contexto como ator relevante, considerando o tamanho da sua reserva, pela possibilidade de contribuir para a diversificação geográfica da oferta e, progressivamente, para o desenvolvimento de capacidades industriais e tecnológicas associadas às terras raras. A relevância estratégica do país, contudo, dependerá da capacidade de converter essa dotação mineral em posição competitiva ao longo da cadeia de valor, conciliando atratividade para investimentos, agregação de valor, sustentabilidade e interesse nacional.

Sem uma estratégia coordenada, o país tende a permanecer concentrado nos segmentos de menor valor agregado, com limitada inserção industrial e elevada dependência tecnológica externa. Em contrapartida, a implementação da ENTR pode criar condições para ampliar a captura de valor econômico, fortalecer capacidades industriais e tecnológicas e posicionar o Brasil de forma mais relevante nas cadeias globais de minerais críticos e estratégicos.

1.2. O papel do Brasil

O Brasil ocupa uma posição estratégica na produção global de terras raras, possuindo a segunda maior reserva atrás apenas da China. Considerando o grande potencial de exploração do país, que concentra quase um quarto (23,1%) dos recursos globais de ETR, totalizando 4.058 megatoneladas (Mt) em recursos e 21 Mt em reservas (Instituto Brasileiro de Mineração - Ibram, 2025; CEBRI, 2025), o Brasil se destaca como um parceiro de peso na busca global pela diversificação das fontes de ETR. Outras vantagens comparativas contribuem para ampliar o interesse internacional, incluindo a disponibilidade hídrica e de energia a baixo custo, as capacidades minerais já instaladas e a estabilidade política. Além disso, o país se destaca por possuir uma matriz elétrica majoritariamente renovável, o que reforça sua atratividade para investidores que buscam reduzir a pegada de carbono de suas atividades.

Esse interesse se traduz de forma prática no aumento expressivo nas pesquisas geológicas e nas decisões de investimentos. Entre 2023 e 2024 o número de novos alvarás de autorização de pesquisa deu um salto de +291%, de acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM) (2025), com 1.370 novos alvarás de autorização de pesquisa (ETR e monazita). A Mineração Serra Verde, única produtora em operação no Brasil, anunciou em abril de 2026 sua fusão com a USA Rare Earth, acompanhada de contrato de fornecimento de 15 anos e

financiamento de US$ 565 milhões junto à Corporação Financeira dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (DFC), consolidando um arranjo de *de-risking* e a formação de uma cadeia integrada de terras raras fora da Ásia. Outras empresas em fase-piloto, como Meteoric e Viridis, também avançaram na captação de recursos e nas negociações com parceiros internacionais, incluindo apoio da ORE Investments, Régia Capital e Ucore Rare Metals Inc., além de negociações com agências de crédito à exportação de países como Austrália, Canadá, França e Estados Unidos. No total, os projetos de terras raras no Brasil já somam cerca de R$ 13,2 bilhões em investimentos anunciados.[5]

Essas evoluções devem viabilizar o aumento da produção nos próximos anos, considerando que a exploração ainda se encontra em fase incipiente, com apenas uma mina em operação (Serra Verde). Apesar da concentração atual na fase de upstream (da extração até o concentrado de ETR mistos), o Brasil também tem potencial para contribuir em diversas etapas da cadeia produtiva, com iniciativas pilotos no midstream (separação e refino) e downstream (produção de ímãs).

A realização do potencial do Brasil e a expansão da capacidade produtiva em diferentes etapas exigem um arcabouço de políticas públicas que concilie competitividade e atratividade para investidores com salvaguardas socioambientais e retornos para a sociedade.

1.3. Objetivos gerais para a ENTR e público alvo

A formulação de uma Estratégia Nacional de Terras Raras (ENTR) tem como principal objetivo o estabelecimento de prioridades estratégicas e a formulação de políticas públicas que garantam que os recursos minerais do Brasil sejam transformados em ativos para o desenvolvimento, a soberania e o fortalecimento da competitividade industrial, tecnológica e geopolítica do país nas cadeias globais de minerais críticos.

Em particular, a ENTR deve contribuir para:

- Elevar a **relevância estratégica do Brasil como fornecedor** competitivo e criar capacidade doméstica para garantir a **segurança de suprimento** e reduzir a dependência externa em etapas críticas;
- Assegurar o **desenvolvimento ordenado e responsável da cadeia produtiva dos ETR** e aumentar a atratividade do setor para investimentos necessários para esse desenvolvimento, por meio da redução de riscos e previsibilidade regulatória;

5 https://valorinternational.globo.com/business/news/2026/02/18/rare-earth-projects-in-brazil-total-r132bn-in-investments.ghtml

- Consolidar uma **indústria competitiva e desenvolver a capacidade tecnológica** para elevar o nível de maturidade e o valor agregado da produção nacional, promovendo o **desenvolvimento sustentável**;
- **Formar, capacitar e reter recursos humanos qualificados** e desenvolver competências alinhadas às necessidades da cadeia produtiva, gerando empregos e renda para as populações locais;
- Reforçar as capacidades em **pesquisa, desenvolvimento e inovação** para garantir a competitividade da produção brasileira e ampliar as capacidades tecnológicas domésticas, reduzindo dependências.
- Assegurar que as indústrias adotem os princípios da **responsabilidade socioambiental** com a maximização de benefícios socioeconômicos aos territórios afetados.
- Priorizar o uso de terras raras **em aplicações energéticas**, impulsionando a transição para energias limpas e tecnologias de descarbonização, em alinhamento aos compromissos climáticos do Brasil estabelecidos no âmbito internacional.

A Estratégia tem como principal alvo os formuladores de política pública em nível federal e estadual, buscando orientar a tomada de decisão e o processo legislativo relacionado a terras raras a partir de uma visão estratégica das prioridades e das necessidades para o país.

Outras partes interessadas incluem empresas, investidores, sociedade civil e parceiros internacionais, que poderão ter mais clareza sobre como o país pretende se posicionar nesse tema e as ações de curto, médio e longo prazo que serão desenvolvidas para atingir esses objetivos, fortalecendo a previsibilidade e a transparência na tomada de decisões.

1.4. Metodologia

O projeto utiliza a combinação de diferentes metodologias para garantir análises e recomendações consistentes. Para uma melhor compreensão sobre os problemas, desafios e os diagnósticos para o setor de terras raras, realizou-se uma revisão da literatura especializada.

Essa etapa foi conduzida por meio de consultas a fontes primárias e a bancos de dados públicos do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*US Geological Survey,* USGS), à Agência Nacional de Mineração (ANM), ao Serviço Geológico do Brasil (SGB), à Agência Internacional de Energia (IEA) e à Base de Dados de Estatísticas do Comércio de Mercadorias das Nações Unidas (UN Comtrade, COMTRADE), à Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), além de informações disponibilizadas em sites governamentais, marcos regulatórios e legislações nacionais.

Fontes acadêmicas, artigos científicos e publicações relevantes para o tema, como publicações do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), do Centro Brasileiro de Relações Internacionais (CEBRI) e do Serviço Geológico do Brasil (SGB) também foram considerados, assim como bases científicas da Scopus e do *Google Scholar*. Paralelamente, realizou-se uma análise bibliométrica a fim de mapear a produção científica relacionada a ETR.

A realização da etapa de *benchmarking* internacional teve como objetivo analisar experiências internacionais a fim de identificar boas práticas, evidenciar lacunas e extrair lições que possam subsidiar o desenho de políticas alinhadas às especificidades institucionais e produtivas do contexto brasileiro. Os países selecionados para análise foram aqueles que se destacam pela adoção de boas práticas ou pela consolidação de modelos reconhecidos internacionalmente, analisando de forma comparativa aspectos centrais para a estruturação das cadeias de valor de minerais críticos e ETR (para mais informações, ver seção de *benchmarking* internacional).

Em seguida, a consulta aos *stakeholders,* realizada por meio de entrevistas e visitas técnicas, permitiu validar os resultados identificados na literatura. Esse processo teve como propósito validar os desafios, problemas, objetivos e eixos estratégicos que deveriam ser considerados no âmbito da ENTR. Essa etapa contribuiu para elucidar as percepções e a lógica que orienta as partes interessadas analisadas[6] – aspectos que, em geral, são mais difíceis de captar por outros meios de coleta de dados. Essa etapa foi dividida em modalidades diferentes: entrevistas individuais, visitas de campo e realização de *workshops* multissetoriais, detalhadas a seguir.

1) Entrevistas virtuais com atores do governo ou órgãos reguladores, setor privado – incluindo tanto as mineradoras e processadoras quanto a indústria usuária –, academia e centros tecnológicos, associações e instituições da sociedade civil (para mais informações, ver anexo).

2) Visitas de campo nos seguintes municípios: Minaçu (Goiás), Belo Horizonte (Minas Gerais) e Poços de Caldas (Minas Gerais), incluindo visitas aos seguintes atores: Serra Verde, InvestMinas, Meteoric, Prefeitura de Minaçu (Goiás), Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Poços de Caldas (Minas Gerais) e outros (para mais detalhes, ver anexo). Também foram realizadas reuniões presenciais em Brasília com o Banco Mundial, o Gabinete do Deputado Arnaldo Jardim e o Ministério das Relações Exteriores.

3) *Workshop online* funcionando como uma consulta pública para consolidar as impressões do terceiro setor e garantir que as suas preocupações sejam levadas em consideração.

[6] https://www.scielo.br/j/er/a/QPr8CLhy4XhdJsChj7YW7jh/?format=pdf&lang=pt

4) *Workshop* multissetorial virtual, organizado com todas as partes interessadas mapeadas para o Brasil. O evento apresentou o diagnóstico, as hipóteses levantadas para a árvore de soluções, as principais recomendações e a estrutura preliminar da ENTR. O objetivo foi coletar *feedbacks* de forma organizada e colaborativa.

Para guiar a definição de objetivos e eixos estratégicos para a ENTR, utilizou-se o método de árvore de problemas e soluções. Tal ferramenta permite estabelecer uma visão geral sobre os desafios enfrentados pelo setor de terras raras, seus desdobramentos e soluções mais relevantes[7] (para mais informações, ver anexo). Dessa forma, o estudo combina análise documental, *benchmarking* internacional, coleta primária e formulação estratégica orientada à política pública.

2. Cenário global do setor de Terras Raras

2.1. Panorama geral das terras raras: o que são e para que servem

Os elementos de terras raras (ETR) correspondem a um conjunto de 17 elementos químicos, composto pelos lantanídeos, além do escândio e do ítrio. Embora sejam frequentemente tratados como um grupo, esses elementos apresentam usos, graus de criticidade e dinâmicas de mercado distintas. Em comum, possuem propriedades magnéticas, luminescentes, catalíticas, ópticas e eletroquímicas que lhes conferem elevada relevância tecnológica.[8]

Do ponto de vista geológico, os ETR não são particularmente raros na crosta terrestre. Sua criticidade decorre menos da escassez física absoluta e mais da baixa concentração em depósitos economicamente aproveitáveis, da complexidade de separação entre elementos quimicamente semelhantes e da concentração geográfica das etapas industriais de maior valor agregado. Em geral, os ETR ocorrem em baixos teores e frequentemente associados entre si ou a elementos radioativos, como tório e urânio, o que aumenta a complexidade técnica, ambiental e regulatória de sua exploração e processamento.[9]

Os ETR são usualmente classificados em dois grandes grupos: terras raras leves (ETRL) e terras raras pesadas (ETRP). Entre as terras raras leves, destacam-se o neodímio (Nd) e o praseodímio (Pr), enquanto, entre as pesadas, disprósio (Dy) e térbio (Tb) assumem especial relevância. Esses quatro elementos são particularmente estratégicos porque compõem a base dos ímãs permanentes de alto desempenho, sobretudo os do tipo neodímio-ferro-boro (NdFeB), amplamente empregados em veículos elétricos, turbinas eólicas, automação industrial e sistemas de defesa.

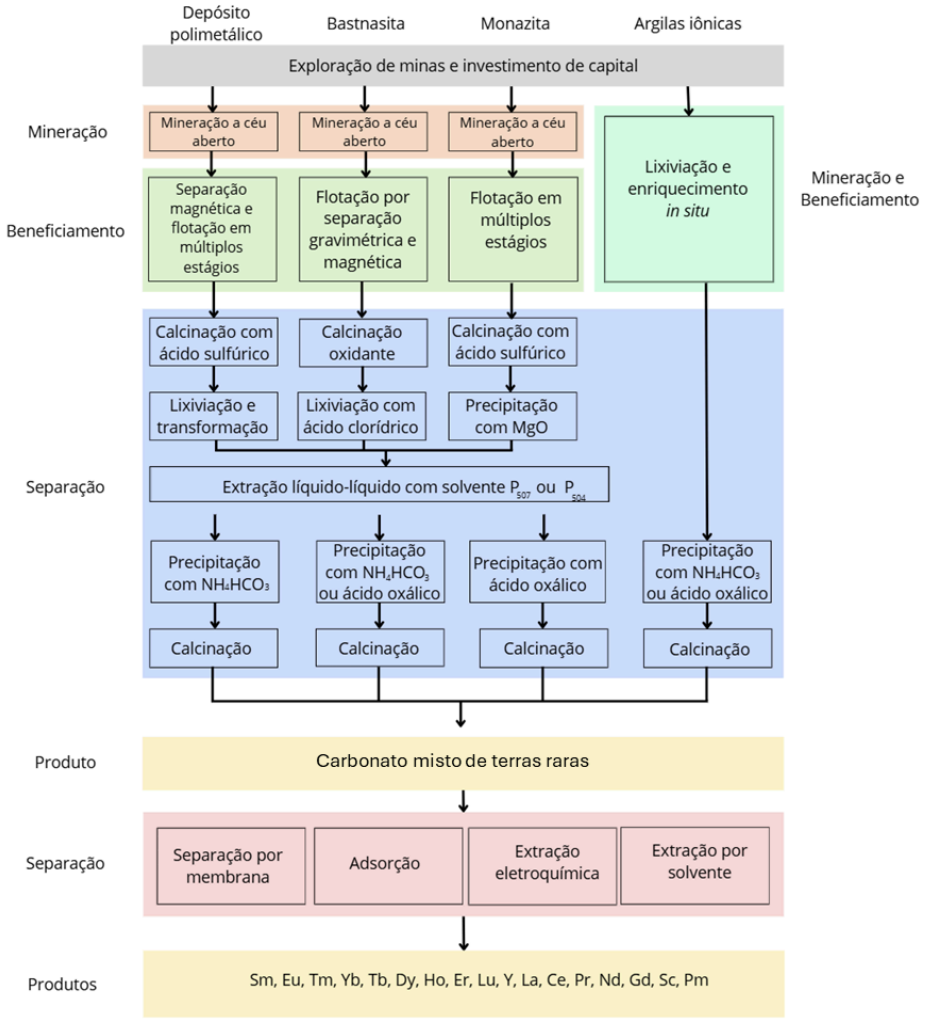
[7] https://media.odi.org/documents/192.pdf
[8] https://rareearths.com/
[9] https://www.sgb.gov.br/w/servico-geologico-do-brasil-esclarece-duvidas-sobre-potencial-do-pais-para-terras-raras-e-minerais-estrategicos

Os ETR possuem aplicações em uma ampla variedade de setores industriais. Além dos ímãs permanentes, são utilizados em catalisadores, fósforos, ligas especiais, lasers, sensores, vidros especiais, telas, LEDs, componentes ópticos, eletrônicos avançados e insumos para semicondutores. Sua relevância decorre do fato de que, mesmo em pequenas quantidades, esses elementos podem aumentar desempenho, miniaturização, precisão, durabilidade e eficiência energética de produtos e sistemas. Nesse sentido, os ETR funcionam como multiplicadores tecnológicos em setores-chave da economia contemporânea.

A cadeia de valor das terras raras pode ser organizada em três elos principais. O primeiro é o ***upstream***, que compreende mineração, concentração e beneficiamento mineral. O segundo é o ***midstream***, ou processamento, que inclui separação individual dos elementos, purificação, refino e transformação em óxidos, metais e ligas. O terceiro é o ***downstream***, que abrange a produção de ímãs permanentes, componentes e aplicações industriais de maior valor agregado. Em uma abordagem ampliada, a cadeia também inclui a recuperação de valor por meio de reciclagem, reaproveitamento de resíduos e recuperação de materiais secundários.

A etapa de processamento merece destaque específico porque constitui o principal gargalo tecnológico da cadeia. Como os ETR apresentam propriedades químicas muito semelhantes e normalmente ocorrem associados entre si, sua separação individual exige rotas complexas, em geral baseadas em extração por solventes em múltiplos estágios e, em alguns casos, técnicas complementares como troca iônica (Figura 2). Após a separação e purificação, os óxidos podem ser convertidos em metais ou ligas, que então abastecem a manufatura de produtos finais (Dutta *et al.*, 2026; Wei *et al.*, 2026). Essa combinação entre baixa concentração, alta similaridade química e intensidade de processamento ajuda a explicar por que as terras raras assumem tanta relevância geoeconômica.

Figura 2. Rotas tecnológicas de processamento para ETR



Fonte: Elaboração própria a partir de Wei *et al.* (2026) e Wang *et al.* (2026).

2.2. Evolução da criticidade e reconfiguração geopolítica das terras raras

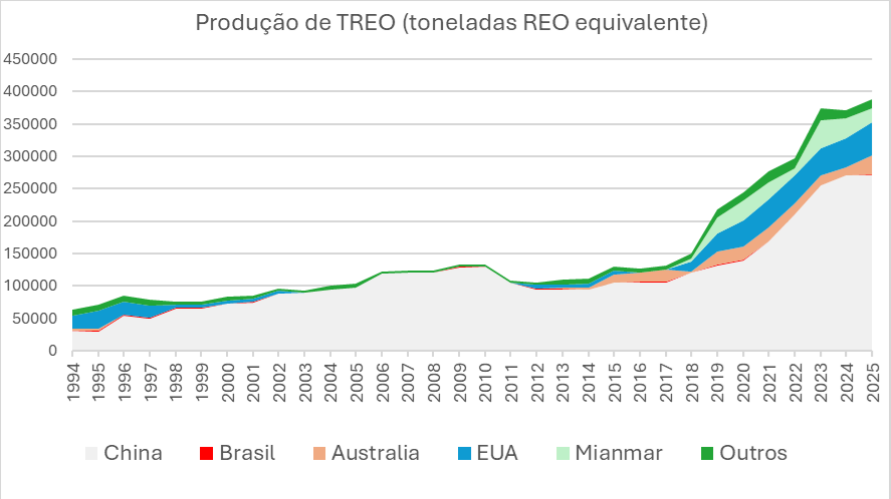
A criticidade das terras raras não foi sempre compreendida da mesma forma. Até a década de 1990, esses elementos eram valorizados sobretudo por suas aplicações industriais e tecnológicas, mas ainda não ocupavam posição central no debate geopolítico. A noção de criticidade era relativamente restrita e mais associada à utilidade funcional desses materiais do que à percepção de risco sistêmico nas cadeias de suprimento.

Esse quadro começou a mudar com a crescente concentração da produção e, principalmente, do processamento na China. A liderança chinesa no setor resultou de uma combinação entre dotação geológica favorável, baixos custos

relativos, expansão da capacidade industrial, investimentos em pesquisa e desenvolvimento e políticas públicas voltadas à verticalização da cadeia produtiva (Liu *et al.*, 2023). Ao longo das últimas décadas, a China consolidou sua posição como principal produtora mineral e também dominou as etapas de separação, refino e manufatura, especialmente no segmento de ímãs permanentes.

Um ponto de inflexão importante ocorreu em 2010–2011, quando restrições chinesas às exportações de terras raras expuseram de forma mais explícita a vulnerabilidade das cadeias globais de suprimento. O conceito de criticidade deixou de se limitar à escassez geológica ou à importância produtiva e passou a incorporar dimensões como concentração da oferta, dependência externa, baixa substituibilidade, tempo de resposta da oferta e exposição geopolítica.

Figura 3. Histórico de produção de óxidos de terras raras de 1994 a 2024



Fonte: Elaboração própria a partir de dados do USGS.

Nos anos seguintes, essa percepção foi reforçada por transformações estruturais mais amplas. De um lado, os ímãs permanentes de terras raras ganharam relevância crescente em tecnologias ligadas à transição energética, como veículos elétricos e turbinas eólicas, e também em aplicações de defesa, eletrônica avançada, automação e saúde. De outro, a pandemia, as tensões comerciais e a intensificação da competição geopolítica evidenciaram a fragilidade de cadeias globais excessivamente concentradas em poucos países e em poucos fornecedores.

Como resultado, diversos países passaram a rever suas listas de minerais críticos e a adotar estratégias específicas para terras raras. Em muitos casos, a resposta foi além da simples busca por novas minas e passou a incluir instrumentos voltados ao fortalecimento de capacidades domésticas em separação, refino, manufatura, inovação e reciclagem (Wei *et al.*, 2026).

2.3. Reservas globais, produção e processamento no mundo

A estrutura global da cadeia de terras raras é marcada por forte assimetria entre reservas, produção mineral e capacidade de processamento. Embora as reservas estejam distribuídas entre diferentes países, a produção e, sobretudo, o refino permanecem muito mais concentrados. Essa distinção é central para a análise estratégica do setor: dotação geológica não se traduz automaticamente em vocação produtiva, nem produção mineral garante domínio sobre os elos de maior valor agregado.

De acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2026), as reservas mundiais de terras raras superam 85 milhões de toneladas métricas em equivalente de óxidos de terras raras. A China detém a maior parcela dessas reservas, seguida pelo Brasil, que ocupa a segunda posição global, além de países como Austrália, Rússia, Vietnã e Estados Unidos. No entanto, a distribuição das reservas não corresponde, de forma direta, à participação na produção ou ao domínio da cadeia industrial. O Brasil, por exemplo, possui reservas expressivas, mas ainda apresenta produção limitada e baixa densidade industrial. Já os Estados Unidos, com participação relativamente menor nas reservas, mantêm produção superior à brasileira.

No upstream, a China continua como principal produtora, apoiada em grandes depósitos como Bayan Obo e nas argilas de adsorção iônica do sul do país. Fora da China, destacam-se ativos como Mount Weld, na Austrália, e Mountain Pass, nos Estados Unidos (Tabela 1). Esses projetos ajudam a diversificar a mineração global, mas não alteram, por si só, a configuração estratégica da cadeia, uma vez que a maior parte do poder econômico e geopolítico está concentrada nas etapas intermediárias e finais.

Tabela 1. Histórico de produção de terras raras de 1994 a 2025

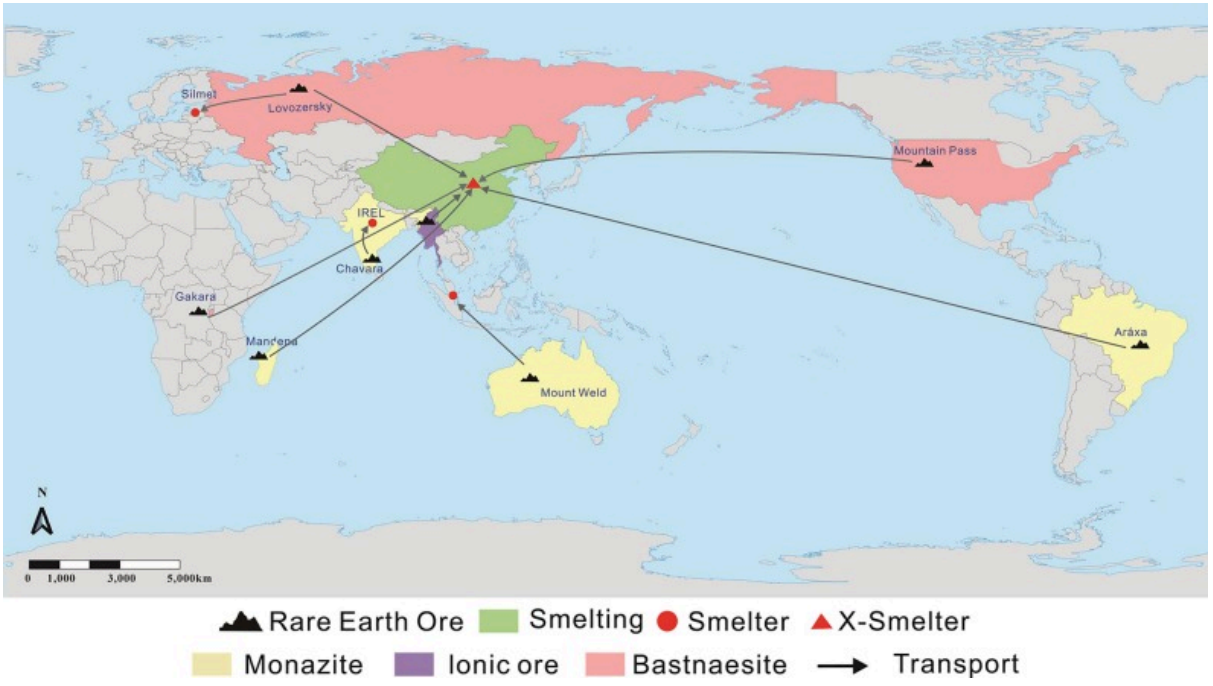
Produção Mina	1994	2004	2014	2024	2025
China	22000	95000	95000	270000	270000
EUA	20000		7000	45000	51000
Austrália	5000		2500	13000	29000
Mianmar				27000	22000
Tailândia	50	2000	1100	2100	4800
Índia	2500	2700	3000	2900	2900
Madagascar				2000	2700
Rússia	8000		2500	2600	2600

Brasil	800			20	2000
Nigéria				1500	1500
Vietnã			200	300	150
Malásia	200	250	200	130	110
África do Sul	700				

Fonte: USGS

É no midstream que a concentração se torna mais crítica. A separação e o refino de terras raras permanecem amplamente dominados pela China,[10] que reúne escala, experiência industrial, domínio tecnológico e integração vertical. Ainda que existam iniciativas relevantes fora do país, como as operações da Lynas na Austrália/Malásia, da MP Materials nos Estados Unidos, da Indian Rare Earths Limited (IREL) na Índia e da Silmet na Estônia, a maior parte das cadeias internacionais ainda depende, em maior ou menor grau, do envio de concentrados ou intermediários à China para etapas críticas de separação e refino (Figura 4).

Figura 4. Principais rotas transfronteiriças das cadeias de suprimento dos REO.



Fonte: Wei *et al.* (2026).

No downstream, essa concentração é ainda mais evidente no segmento de ímãs permanentes, em que a China mantém posição amplamente dominante. Isso significa que a dependência global em terras raras não é apenas dependência de

[10] https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025

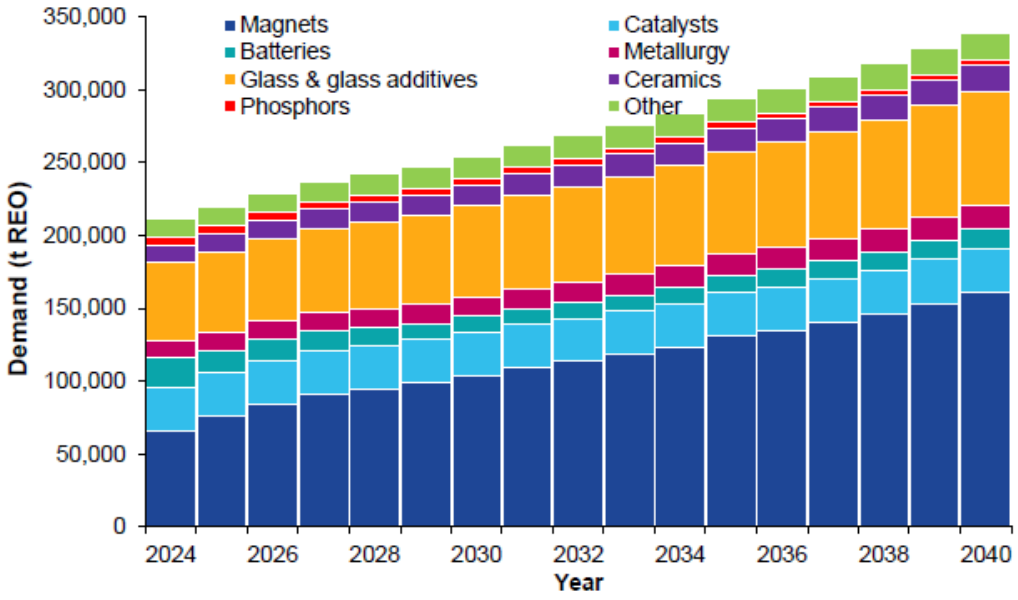
minério ou de concentrado, mas dependência de uma arquitetura industrial integrada, construída ao longo de décadas, que conecta mineração, química de separação, metalurgia, ligas, magnetos e manufatura final.

Essa estrutura da cadeia tem implicações estratégicas diretas. Em primeiro lugar, evidencia que reservas elevadas são condição necessária, mas insuficiente, para participação competitiva. Em segundo, mostra que o elo decisivo para agregação de valor e redução de vulnerabilidade é o midstream. Em terceiro, reforça que países interessados em ampliar sua relevância no setor precisam pensar a cadeia de forma integrada, combinando mineração, processamento, inovação, industrialização e, progressivamente, reciclagem.

2.4. Tendências da demanda mundial de terras raras

A demanda global por terras raras tende a crescer nas próximas décadas, impulsionada principalmente por tecnologias associadas à transição energética, à digitalização, à automação e à defesa.[11] Embora os volumes totais sejam relativamente modestos quando comparados a minerais de base – com produção anual na ordem de cerca de 1 bilhão de toneladas para minério de ferro, milhões de toneladas para cobre e níquel e apenas milhares de toneladas para ETR –, esses elementos ocupam posição estratégica por sua capacidade de elevar o desempenho, a eficiência e a densidade tecnológica de produtos e sistemas.

Figura 5. Demanda projetada de óxidos de terras raras (REO) por aplicação - 2024-2040



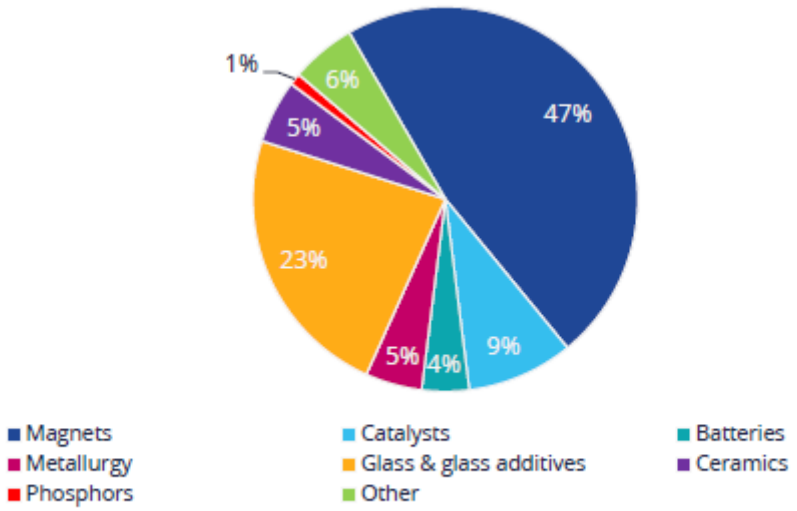
[11] IEA (2025), *Global Critical Minerals Outlook 2025*, IEA, Paris https://www.iea.org/reports/global-critical-minerals-outlook-2025

Fonte: Argus Media, 2025

Conforme ilustrado pela Figura 5, as projeções recentes indicam expansão contínua da demanda por ETR, com destaque para os ETR magnéticos, especialmente neodímio, praseodímio, disprósio e térbio. Esses elementos estão no centro do crescimento esperado por serem essenciais para ímãs permanentes. Assim, ainda que a família dos ETR seja ampla, a dinâmica futura do mercado tende a ser cada vez mais orientada por um subconjunto de elementos de maior relevância estratégica. De acordo com dados da Argus Media, a demanda por ímãs permanentes deve aumentar 8,5% ao ano (a.a.) entre 2024 e 2030, 4,5% a.a. entre 2030 e 2035 e 4,0% a.a. entre 2035-2040, superando 150 mil toneladas em TREO em 2040.

Ainda de acordo com dados de 2025 da Argus Media, a demanda por ETR pesados (ETRP) e ETR magnéticos deve crescer em ritmo superior aos ETR leves (ETRL). Até 2040, 47% da demanda de ETR virão da produção de ímãs, enquanto que 23% virão da produção de vidros e refratários, seguida por 9% decorrentes da produção de baterias.

Figura 6. Demanda projetada de óxidos de terras raras (REO) por aplicação, 2024–2040



Fonte: Aclara, 2026

Em resposta a essa demanda crescente, projetos de mineração e processamento vêm sendo anunciados em diferentes regiões do mundo. Os estudos não indicam, no horizonte atual, um risco imediato de escassez geológica. O principal risco continua sendo a elevada concentração geográfica do processamento e da manufatura, especialmente na China. Assim, o desafio para a próxima década está em reduzir a concentração dos elos intermediários e finais da cadeia, para além da expansão da oferta mineral.

Para o Brasil, essa tendência possui implicações relevantes. De um lado, o aumento projetado da demanda global amplia a atratividade de projetos nacionais de mineração e processamento. Levando-se todos os principais projetos adiante, espera-se um aumento potencial de 38,7 mil toneladas de TREO apenas dentro do Brasil, o que corresponde a cerca de 10% da produção mundial. De outro, a expansão da demanda doméstica, especialmente em segmentos associados à transição energética, e a distribuição de valor ao longo da cadeia sugerem que a discussão sobre terras raras não deve se limitar à exportação de matéria-prima, conforme demonstrado na seção 2.5. As projeções energéticas nacionais, associadas ao crescimento da energia eólica, da mobilidade elétrica e da eletrificação da economia, indicam que o país poderá ampliar significativamente sua demanda interna por materiais e componentes baseados em ETR.[12]

O crescimento esperado da demanda mundial reforça duas conclusões estratégicas: a primeira é que o Brasil possui uma janela de oportunidade para ampliar sua participação na oferta global de terras raras. A segunda é que essa oportunidade será maior se o país conseguir avançar além da extração mineral, desenvolvendo progressivamente capacidades em processamento, refino e aplicações industriais associadas aos segmentos de maior dinamismo da demanda.

2.5. Demanda brasileira de ETR magnéticos

No caso brasileiro, os vetores principais de demanda são:

1. **Mobilidade elétrica**: ímãs permanentes são uma das principais aplicações de NdPr, Dy e Tb, e a expansão dos veículos elétricos já é um dos grandes vetores globais de demanda. Adicionalmente, há a questão da demanda interna e indústrias montadoras já existentes no Brasil e América Latina.
2. **Energia renovável, especialmente eólica:** turbinas eólicas de maior desempenho usam ímãs permanentes, especialmente ligados ao Nd, Pr, Dy e Tb
3. **Robótica e automação:** de acordo com a Adamas (2026), a indústria de robótica deve se tornar o maior *driver* global de demanda por NdFeB até 2040, superando EVs no médio e longo prazo. Isso é importante porque conecta terras raras à agenda brasileira de reindustrialização e automação avançada.

[12] Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2025). *Caderno: Minerais críticos e estratégicos para a transição energética*. Brasília: EPE. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-877/Caderno_Minerais_Final.pdf

4. Saúde e equipamentos médicos: elementos como gadolínio, lutécio, itérbio, térbio, ítrio e samário aparecem associados a ressonância magnética, lasers, raios X, tratamento de tumores e outras aplicações médicas. É uma cadeia de menor volume do que ímãs automotivos/eólicos, mas de alto valor e bom encaixe em nichos tecnológicos, além de o Brasil concentrar variedade de especialistas em diversos centros de tecnologia aplicada à saúde (hospitais especializados em doenças de assistência terciária) e universidades no país.

5. Defesa: o mercado de defesa movimenta grande nível de recursos em nível mundial, conforme informações da Adamas (2026), que mostra que o setor de defesa movimentou um valor de US$ 2,72 trilhões em 2024. Ademais, o Brasil domina a cadeia completa de processamento de urânio, por exemplo, além de possuir especialistas já capacitados na indústria bélica. Adicionalmente, em 2026, o país avançou em mais um tema ligado à indústria, com a recente entrega dos F-39 Gripen da FAB.

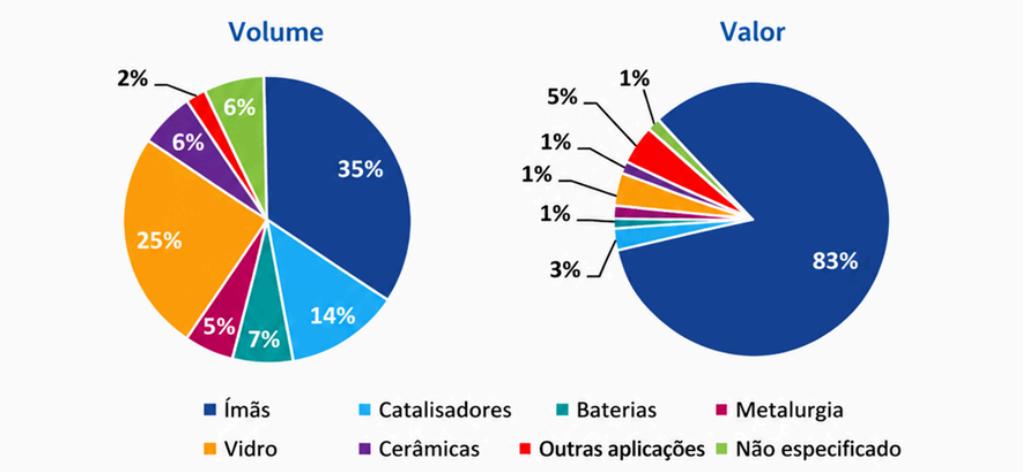
6. Semicondutores e eletrônica avançada: oportunidade complementar e seletiva, mas cujas aplicações de lantânio, cério, térbio, itérbio e outros em microchips, óptica, polimento e encapsulamento possuem potencial em produtos específicos, desde que haja identificação seleta de insumos e materiais funcionais específicos, como, por exemplo, ligados a insumos de *data centers*, celulares e outros.

7. Indústria do petróleo - A demanda de terras raras na indústria do petróleo está concentrada em dois pilares: o refino (craqueamento catalítico para transformar petróleo bruto em combustíveis) e as tecnologias de exploração, com destaque para ímãs permanentes de alta potência usados em perfurações e sensores de mapeamento em poços profundos .

A estimativa de uma demanda brasileira por ETR magnéticos – neodímio (Nd), praseodímio (Pr), disprósio (Dy) e térbio (Tb) – cumpre uma dupla função analítica: assenta a base do consumo embutido da economia brasileira por esses produtos e permite instrumentalizar essa demanda existente como lastro para o desenvolvimento de novas indústrias mais competitivas e para a identificação de oportunidades de *offtake*. Mesmo na ausência de uma cadeia industrial nacional consolidada de ímãs permanentes, o consumo embutido nos produtos finais demandados pela economia brasileira é o elo mais natural para ancorar o desenvolvimento downstream.

A escolha do recorte sobre ETR magnéticos não é arbitrária. De acordo com dados da Argus Media (2025), embora as aplicações magnéticas respondam por apenas 35% do volume total demandado de ETR no mundo, em termos monetários representam 83% do mercado (Figura abaixo).

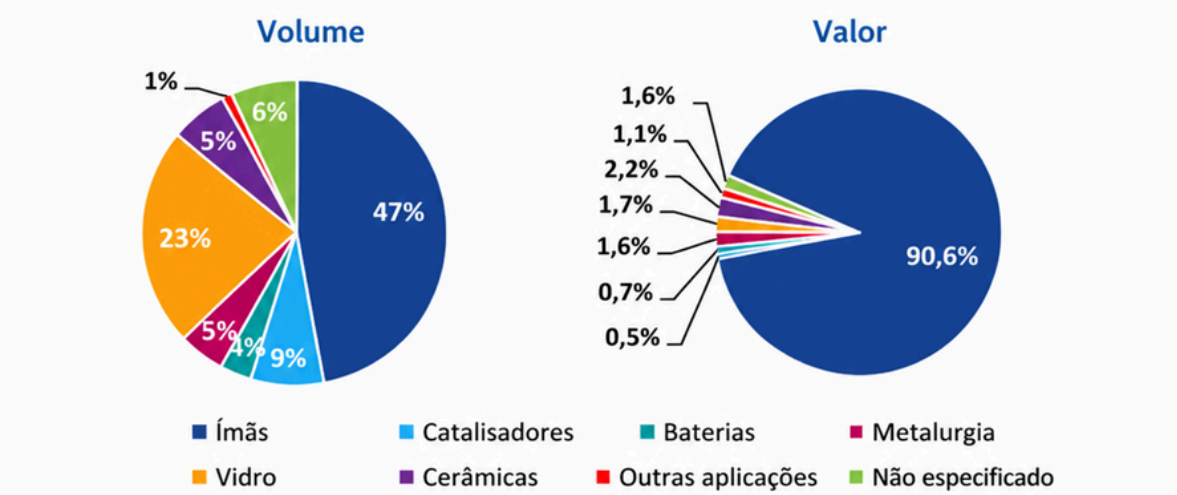
Figura 7 - Demanda de elementos de terras raras por aplicação em 2025



Fonte: Reprodução Argus Media (2025).

A projeção da Argus para 2040 reforça essa concentração de valor: ETR magnéticos chegariam a 47% do volume e 90,6% do valor total (Figura abaixo). Estimativas independentes da IEA (2026) e da Adamas Intelligence (2026) convergem para magnitudes semelhantes, conferindo robustez à leitura.

Figura 8 - Demanda de elementos de terras raras por aplicação em 2040



Fonte: Reprodução Argus Media (2025).

A inferência é direta: apesar da miríade de usos industriais dos ETR – catalisadores, polimento, vidros e cerâmicas, fósforos, ligas metálicas, baterias – a aplicação em ímãs permanentes concentra a quase totalidade do valor da cadeia e tende a aprofundar essa concentração nas próximas décadas. Por essa razão, ocupa posição central neste estudo.

2.5.1. Demanda existente no Brasil e a priorização sobre magnéticos

O Brasil hoje apresenta uma demanda – pequena em escala global, mas relevante como ponto de partida – concentrada em ETRL, particularmente cério (Ce) e lantânio (La), aplicados nas indústrias de catalisadores e refratários. Estimativas próprias derivadas do estudo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), em fase de atualização junto à própria entidade, indicam um consumo da ordem de 1,2 kt/ano de ETRL, ancorado principalmente na demanda contratada pela Petrobras por catalisadores – contrato de fornecimento renovado por mais 10 anos (FCC, 2026). Um levantamento atualizado e abrangente do consumo da indústria de refratários brasileira – também demandadora de ETRL – segue como agenda complementar.

A despeito dessa demanda existente de leves, a prioridade analítica recai sobre os ETRP e ETR magnéticos pela maior captura de valor na cadeia e pela perspectiva de crescimento estrutural associada à transição energética. É nessa frente que a estimativa que se segue se concentra.

2.5.2. Metodologia e parametrização

Para elaboração da estimativa de demanda industrial do Brasil por ETR magnéticos (Nd, Pr, Dy e Tb), foram elencadas as principais categorias embasadas no estudo realizado pelo IEA (2026), considerando a realidade dos dados setoriais e os parâmetros quantitativos de recuperação por produto.

Dadas as disponibilidades informacionais, foram estimadas as necessidades derivadas das seguintes categorias para o ano de 2025: energia eólica, motores de veículos elétricos e híbridos, outros transportes e equipamentos eletrônicos. Antecipam-se as limitações deste estudo, uma vez que não se consideram diversos tipos de produtos derivados de automações industriais, do aprimoramento de processos na indústria de transformação, da indústria de defesa, bem como outros usos industriais para ímãs e demais aplicações de ETR magnéticos.

O primeiro passo foi obter parâmetros de gramas de ETR magnéticos por produto. Para a categoria dos aerogeradores de energia eólica, a estimativa foi embasada no estudo de Pavel *et al.* (2017), que mapeia as principais turbinas existentes e os materiais utilizados, relacionando peso ao megawatt gerado. Para considerar efeitos mais conservadores, optou-se por uma estimativa de aerogerador médio que utiliza 160 kg de ETR magnéticos para produção de 1 megawatts (MW). Com relação aos dados de crescimento da capacidade instalada, a fonte foi a associação setorial ABEEólica, que entre 2024 e 2025 registrou aumento da capacidade instalada de 2.147 MW.[13]

No caso dos veículos elétricos e híbridos, o valor de recuperação de ETR magnéticos foi embasado no documento elaborado pelo Departamento de

[13] Disponível em: https://abeeolica.org.br/

Energia dos Estados Unidos (2021), que estima um uso de 1 a 2 kg por veículo. De forma a validar a fonte, foram considerados outros parâmetros de fontes setoriais (Huang, 2026), os quais avaliam, além do motor e do sistema de câmbio, outros usos para o veículo – caixas de som, motores elétricos para vidros, espelhos, assentos etc –, bem como o tamanho dos veículos: no caso de SUVs, o valor pode chegar a mais de 3 kg de ETR magnéticos/veículo. Assim, o valor de 2,5 kg por veículo foi considerado a parametrização adequada como média ponderada. Os dados de produção vieram da Associação Brasileira de Veículos Elétricos (ABVE)[14] – cerca de 224 mil veículos em 2025 –, complementados por fonte oficial do governo sobre compras de veículos para mobilidade pública pelo Novo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) em 2024 (8.250 ônibus).

Para aparelhos eletrônicos, foram considerados quatro tipos de produtos com volume relevante de produção no país e características semelhantes de parametrização: celulares/smartphones, tablets, notebooks/laptops e componentes de aparelhos de ar-condicionado.

Para celulares/smartphones, o estudo de ciclo de vida do produto elaborado por Gómez *et al.* (2023) identificou que cada tonelada de aparelhos reciclados contém, em média, 3,3 kg de ETR totais. Considerando peso médio do aparelho de 150 gramas (g), o total de ETR é de cerca de 0,5 g/aparelho; como a maior percentagem dos elementos presentes é Nd e Pr e o objetivo é justamente estimar os ETR magnéticos, considerou-se 0,25 g desses elementos por aparelho como parâmetro conservador. Para tablets e notebooks/laptops, foram estabelecidos múltiplos desse parâmetro, levando em consideração o peso total dos aparelhos. Para componentes de aparelhos de ar-condicionado do tipo *split*, com maiores concentrações de ETR magnéticos, adotou-se a premissa de 12 g desses elementos por aparelho – valor que reflete técnica conservadora de extração de 10% desses elementos a partir de ímãs permanentes, bem como o peso conservador para ar-condicionado *split* (Wang *et al.*, 2024; Huang, 2026).[15]

Para estimativa de demanda de celulares/smartphones, tablets e notebooks/laptops, os dados de produção foram extraídos de compilações da Consultoria de Inteligência em Telecomunicações - Teleco.[16] Já para informações de televisores e ar-condicionado, foram usadas informações de produção da associação setorial Eletros.[17]

2.5.3. Detalhamento das projeções

As projeções de demanda foram construídas a partir de uma abordagem conservadora de convergência gradual ao crescimento de longo prazo da

[14] Disponível em: https://abve.org.br/
[15] Estudo de Wang et al. (2024) estima a extração de 30% de Nd e Pr derivados de imãs permanentes em um processo observado em seu estudo.
[16] Disponível em: https://teleco.com.br/
[17] Disponível em: https://eletros.org.br

economia. Para os segmentos associados à energia eólica e aos veículos híbridos/elétricos, considerou-se que a expansão recente, embora expressiva, tende a apresentar desaceleração progressiva à medida que esses mercados avançam em maturidade, ampliam sua base instalada e passam a crescer em ritmo mais compatível com os fundamentos macroeconômicos de longo prazo.

No caso da energia eólica especificamente, de modo a evitar estimativas superestimadas, optou-se por realizar uma curva de desaceleração da demanda. Enquanto a projeção de crescimento da capacidade instalada de energia eólica calculada pela International Energy Agency (IEA) (2021) até os anos 2030 é de 17% ao ano e de 9,6% ao ano de 2030 até 2050, o Brasil, por possuir já um acelerado crescimento na década anterior, tende a mostrar uma trajetória de arrefecimento desse crescimento. Assim, de modo a projetar valores conservadores, optou-se por fazer um exercício de crescimento fracionado em quatro partes: i) para os próximos cinco anos, reflete a transição de um ciclo de expansão acelerada para um padrão mais estável, saindo de um crescimento de 10% em 2025 e convergindo para 2% em 2030; ii) após esse período de convergência, a demanda passa a evoluir à taxa real de 2,0% ao ano até 2035;[18] iii) 1% ao ano até 2040; e iv) 0,5% ao ano até 2050.

Para os veículos híbridos/elétricos, cuja curva de adoção ainda se encontra em fase mais intensa de crescimento, foi considerada uma trajetória inicial mais elevada, porém também decrescente ao longo do horizonte projetivo. A premissa reflete a expectativa de que, após o período de difusão tecnológica e expansão acelerada da frota, o crescimento do segmento gradualmente convergirá para patamar estrutural de longo prazo, este fixado em 2,0% ao ano até 2050.

Para as demais aplicações, por se tratarem de mercados mais maduros e com menor expectativa de ruptura estrutural relevante, adotou-se diretamente a taxa de crescimento de 2,0% ao ano de 2025 até 2050. Essa premissa busca representar uma evolução real, moderada e perene da demanda, sem incorporar choques positivos extraordinários ou acelerações não sustentáveis. Reconhece-se, contudo, que projeções macroeconômicas de longo prazo estão sujeitas a elevada incerteza; ainda assim, a adoção de crescimento real anual de 2,0% em horizonte superior a duas décadas constitui hipótese razoável, prudente e tecnicamente defensável para fins de modelagem prospectiva.

Os dados encontram-se resumidos a seguir para o ano de 2025:

[18] Utilizada como *proxy* para o crescimento potencial de longo prazo da economia, em linha com projeções de mercado de longo prazo, como as do Boletim Focus.

Tabela 2 - Necessidades de ETR magnéticos - por tipo de produto final

Dados estimados	Gramas por ETR magnéticos	Produtos ETR magnéticos - Unidades	Necessidade de ETR magnéticos, em gramas (2025)	Necessidade de ETR magnéticos, em Kt (2025)	Necessidade de ETR magnéticos, em Kt (2030)	Necessidade de ETR magnéticos, em Kt (2040)	Necessidade de ETR magnéticos, em Kt (2050)
Turbina Eólica	160.000	2.147	343.520.000	0,344	0,411	0,476	0,501
Veículos elétricos	2.500	80.184	200.460.000	0,200	0,459	0,583	0,710
Veículos híbridos	2.500	143.712	359.280.000	0,359	0,498	0,607	0,740
Outros transportes	2.500	8.250	20.625.000	0,021	0,047	0,060	0,073
Celulares / smarthphones	0,25	32.433.000	8.108.250	0,008	0,009	0,011	0,013
Tablets	0,75	3.099.000	2.324.250	0,002	0,003	0,003	0,004
Notebooks	2,00	7.661.000	15.322.000	0,015	0,017	0,021	0,025
Televisores	6,00	13.643.410	81.860.460	0,082	0,090	0,110	0,134
Ar-condicionado	12,00	6.280.224	75.362.688	0,075	0,083	0,101	0,124
Total	-	-	1.106.862.648	1,107	1,616	1,972	2,324

Fonte: Eletros (2025); Huang (2026); International Energy Agency (2026); Pavel et al. (2017); Teleco (2026a, 2026b); U.S. Department of Energy (2022); Wang et al. (2024)[19].

Os resultados dessas projeções são consistentes com estimativas recentes elaboradas por instituições nacionais, que reforçam a expectativa de crescimento expressivo da demanda por elementos de terras raras (ETR) no contexto da transição energética.

O Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) projetou uma expansão significativa das fontes eólica e solar na matriz energética brasileira, além do crescimento da frota de veículos híbridos e elétricos a bateria. A partir dessas projeções, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) estimou a demanda brasileira por ETR e outros minerais críticos e estratégicos para a transição energética. De acordo com esse estudo, a demanda por ETR no país deve crescer aproximadamente seis vezes entre 2024 e 2034 (EPE, 2025).

[19] Eletros – Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos. (2025). *Indicadores de produção e saída Zona Franca de Manaus: Ar-condicionado split system – Atualização 2025*. Eletros. https://www.eletros.org.br
Huang, I. (2026). *A comprehensive guide to rare earth magnets*. TOPMAG. https://www.topmag.in/rare-earth-magnets-guide-2026/
International Energy Agency. (2026). *Rare earth elements: Pathways to secure and diversified supply chains*. IEA. https://www.iea.org/reports/rare-earth-elements
Pavel, C. C., Lacal-Arántegui, R., Marmier, A., Schüler, D., Tzimas, E., Buchert, M., Jenseit, W., & Blagoeva, D. (2017). Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines. *Resources Policy*, *52*, 349–357. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.03.003
Teleco. (2026a). *Smartphones no Brasil*. Recuperado em 29 de maio de 2026, de https://teleco.com.br/smartphone.asp
Teleco.(2026b). *TI no Brasil*. Recuperado em 29 de maio de 2026, de https://teleco.com.br/Ti_Brasil.asp
U.S. Department of Energy. (2022). *Rare earth permanent magnets: Supply chain deep dive assessment*. https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-12/Neodymium%2520Magnets%2520Supply%2520Chain%2520Report%2520-%2520Final%5B1%5D.pdf
Wang, Z., Zhang, Z., Meng, L., Li, C., & Guo, Z. (2024). Extraction and recovery of rare earth elements from NdFeB waste using bismuth reinforced by supergravity. *Journal of Cleaner Production*, *485*, 144390. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144390

Outro estudo, conduzido pelo CEBRI, com participação da COPPE, CETEM e SGB, avaliou a oferta e a demanda projetadas de minerais críticos e estratégicos (MCE) entre 2025 e 2050, no contexto da transição energética no Brasil. A análise de demanda realizada pela COPPE considerou as metas da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do país e destacou o neodímio como o principal responsável pelo crescimento da demanda, representando cerca de 80% do total acumulado, devido ao uso em geradores eólicos e motores elétricos. No curto prazo, a projeção de demanda é reduzida (cerca de 70 toneladas), mas pode alcançar aproximadamente 4,3 mil toneladas em 2045, com total acumulado de cerca de 12,8 mil toneladas de neodímio entre 2025 e 2050 (CEBRI, 2025).

2.6. Análise comparativa internacional

À medida que governos buscam estruturar políticas públicas para minerais críticos, a análise comparativa (*benchmarking*) internacional assume papel central como instrumento de aprendizado institucional, comparação estratégica e apoio à tomada de decisão. No caso das terras raras, esse exercício é particularmente relevante porque a competitividade não depende apenas da existência de reservas minerais, mas da capacidade de converter recursos geológicos em produção, processamento, manufatura, inovação e inserção estratégica nas cadeias globais de valor. No contexto atual da forte concentração geográfica e tecnológica da cadeia, diferentes países e blocos econômicos adotaram políticas industriais, instrumentos regulatórios, mecanismos de financiamento e estratégias de cooperação internacional voltados à redução de vulnerabilidades e ao fortalecimento de capacidades domésticas, incluindo tecnologias críticas e competências industriais.

Diante desse cenário, esta seção analisa comparativamente as experiências de China, Estados Unidos (EUA), União Europeia (UE), Reino Unido, Austrália, Canadá, Índia, Indonésia e Malásia, com o objetivo de identificar práticas, instrumentos e arranjos institucionais relevantes para a formulação da ENTR. O *benchmarking* busca responder a uma questão central para o Brasil: **quais países ou blocos estão mais preparados para competir em cada elo da cadeia de valor das terras raras, por quais razões, e quais lições essa trajetória oferece ao contexto brasileiro?**

Para fins analíticos, a comparação considera os três principais elos da cadeia. O upstream compreende exploração, extração e beneficiamento mineral. O midstream inclui separação, refino, produção de óxidos, metais e ligas, concentrando os maiores gargalos tecnológicos, químicos e ambientais da cadeia. O downstream abrange a fabricação de ímãs permanentes, componentes e aplicações industriais de maior valor agregado. A análise incorpora também dimensões transversais decisivas, como circularidade, regulação e incentivos, capacidades de pesquisa, desenvolvimento e inovação, e parcerias estratégicas.

A principal contribuição desta seção é o apoio à política pública. A análise procura extrair implicações para o Brasil, considerando suas especificidades geológicas, produtivas, institucionais e territoriais. Busca-se avaliar em que medida experiências internacionais podem orientar uma estratégia nacional capaz de ampliar a agregação de valor, reduzir gargalos estruturais e posicionar o país de forma mais competitiva e estratégica na cadeia global de terras raras. A Tabela 3 apresenta uma visão comparativa dos países e blocos analisados, considerando o grau de consolidação ou avanço na cadeia de valor das terras raras. O objetivo não é estabelecer um ranqueamento entre os países, mas oferecer uma leitura estruturada sobre onde cada experiência apresenta maior maturidade relativa e quais lições podem ser mais úteis ao Brasil.

Tabela 3. Síntese comparativa dos países e blocos analisados no estudo

País / bloco	Upstream	Midstream	Downstream	Circularidade	Regulação / incentivos	Atuação do Estado	P&D	Parcerias estratégicas	Principais lições para o Brasil
China	Muito forte	Muito forte	Muito forte	Média em consolidação	Muito forte	Forte	Muito forte	Muito forte	A liderança decorre de uma estratégia de Estado de longo prazo, coordenação industrial, verticalização, P&D contínuo e domínio da cadeia de valor completa, em particular o downstream. Reservas, por si só, não geram liderança; o diferencial está na integração entre política industrial, tecnologia e escala.
Estados Unidos	Forte	Médio em expansão	Médio em reconstrução	Média em expansão	Muito forte	Forte	Forte	Muito forte	A principal lição é o uso agressivo de instrumentos de *de-risking*, compras estratégicas, financiamento e política industrial para reconstituir elos perdidos da cadeia, especialmente midstream e magnetos.
União Europeia	Fraco no presente / potencial emergente	Forte	Forte	Forte	Muito forte	Médio	Forte	Muito forte	A UE mostra que, mesmo com baixa base mineral, é possível construir competitividade via refino, reciclagem, política industrial, metas regulatórias e integração entre sustentabilidade e segurança de suprimentos.
Reino Unido	Fraco	Médio em nichos	Médio em nichos	Médio em avanço	Médio	Baixo	Forte em tecnologia	Forte	A experiência britânica é relevante sobretudo em reciclagem, inovação e desenvolvimento de nichos tecnológicos, mais do que em escala mineral ou industrial ampla.
Austrália	Muito forte	Médio em expansão	Médio inicial	Médio	Forte	Médio	Forte	Muito forte	A principal lição é que uma base mineral robusta, combinada com instrumentos públicos, contratos de longo prazo e políticas de apoio ao refino, pode sustentar avanço gradual rumo à verticalização.

Canadá	Médio	Médio inicial	Baixo a médio	Médio	Forte	Baixo	Forte	Forte	O Canadá oferece lições úteis em coordenação institucional, infraestrutura habilitadora, financiamento e construção de ecossistemas para minerais críticos, ainda que sua cadeia de ETR esteja em consolidação.
Índia	Médio	Médio inicial	Médio inicial	Baixo a médio em estruturação	Forte	Médio	Médio	Forte	A Índia mostra a importância de combinar política industrial, proteção do abastecimento doméstico, estímulo à manufatura e uso estratégico de acordos internacionais.
Indonésia	Médio com potencial	Baixo	Baixo	Baixo	Médio a forte	Alto	Médio inicial	Médio	A lição principal está no uso de instrumentos de agregação de valor e no foco em viabilizar a industrialização doméstica, mas também nos riscos de baixa coordenação regulatória e de capacidade tecnológica insuficiente.
Malásia	Baixo no upstream doméstico	Forte como hub de processamento	Baixo a médio	Médio	Médio	Alto	Médio	Forte	A principal lição é a possibilidade de construção de um *hub* de processamento ancorado em logística, regulação específica e integração com cadeias externas, mesmo sem grande base mineral própria.

Fonte: Elaboração própria.

A comparação internacional sugere quatro conclusões centrais. Em primeiro lugar, a China permanece como único ator plenamente integrado em todos os elos da cadeia, reunindo simultaneamente reservas, escala produtiva, capacidade de separação e refino, manufatura e coordenação estratégica. Em segundo, observa-se a emergência de um grupo de países e blocos que, embora ainda não rivalizem plenamente com a China, já competem em partes relevantes da cadeia, especialmente em mineração, refino seletivo, magnetos, reciclagem e instrumentos de política industrial. Em terceiro, a experiência internacional mostra que o midstream é o elo mais decisivo para a captura de valor e para a redução de vulnerabilidades estratégicas. Por fim, torna-se evidente que a construção de competitividade em terras raras depende de coordenação entre mineração, tecnologia, indústria, financiamento, regulação e parcerias internacionais, e não apenas da disponibilidade de reservas.

Para o Brasil, essa comparação reforça uma implicação central: o país possui ativos relevantes no upstream e uma janela de oportunidade real para avançar na cadeia, mas sua inserção competitiva dependerá da capacidade de usar a base mineral como plataforma para desenvolver, de forma seletiva, competências em processamento, refino, inovação, magnetos e circularidade. A experiência internacional sugere que o caminho mais promissor não é tentar replicar integralmente a estrutura chinesa no curto prazo, mas construir uma trajetória gradual e coordenada de adensamento industrial, focada nos segmentos de maior aderência à base mineral e à estrutura produtiva nacional.

A) Referência internacional: país dominante na cadeia de terras raras

China

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

A cadeia de valor das terras raras na China é atualmente a mais consolidada do mundo. Fatores de competitividade como ambiente regulatório historicamente mais permissivo em relação a padrões ambientais, planejamento estratégico robusto, custos de mão de obra menores e acesso facilitado a crédito público, permitiram rápida expansão de capacidade produtiva. Outros movimentos, relacionados à ampliação de laços geopolíticos foram realizados através de investimentos em mineração em ativos no exterior, ampliando a dominância chinesa sobre depósitos estratégicos. Adicionalmente, grandes investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento consolidaram competências técnicas em separação química complexa, etapa crítica da cadeia e principal gargalo tecnológico global na etapa de midstream. Além disso, a percepção dos ETR enquanto uma importante matéria-prima para a indústria chinesa fortaleceu a valorização desses recursos naturais, conectando esta oferta a uma demanda industrial.

Tabela 4. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR na China

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação & Dissolução	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
China	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

No upstream, destaca-se a extração de depósitos geológicos, como Bayan Obo e argilas de adsorção iônica no sul do país. Após consolidação da liderança no segmento primário, a política chinesa evoluiu para estimular atividades de processamento e manufatura downstream, ou seja, de produtos com maior valor agregado. Paralelamente a essa estratégia, outro conjunto de vantagens estruturais permite também a ascensão e o domínio chinês para além da indústria extrativa.

Midstream

No midstream, a China lidera globalmente em separação e refino químico, etapa tecnologicamente sofisticada e ambientalmente sensível.

Downstream

O país domina a produção de ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro, ligas especiais e componentes industriais estratégicos. Por fim, no segmento final, integra esses insumos à manufatura de bens de capital, eletrônicos, veículos elétricos e sistemas de energia renovável. Essa segmentação, contudo, não é algo recente, sendo gerada ao longo das últimas três décadas. A liderança chinesa não se limita ao volume de produção, mas se revela também no domínio tecnológico e industrial em todas as etapas da cadeia produtiva, sendo o único país com capacidade instalada para processar todos os tipos de elementos de terras raras e transformá-los em óxidos, metais, ligas e produtos finais de alto valor agregado.

Economia Circular

Uma indústria de reciclagem de ímãs de terras raras, ainda de escala limitada, já se encontra em operação, com produção estimada em aproximadamente 25 kt na China, predominantemente a partir de resíduos industriais do tipo *swarf* (cavacos metálicos) gerados durante a usinagem de ímãs NdFeB. Paralelamente, verifica-se a expansão de iniciativas empresariais e projetos tecnológicos voltados à recuperação e ao reprocessamento de terras raras, sinalizando a consolidação progressiva de rotas secundárias de suprimento no contexto da economia circular.

Regulação e incentivos

Na China, a implementação de políticas públicas, como *Normas de Gestão de Terras Raras,* estabelece um quadro para a proteção e utilização dos recursos de terras raras no país. Tal regulamento rege atividades como mineração, fundição, separação, metalurgia, circulação de produtos, incluindo a importação e exportação de elementos de terras raras. Além de reforçar o controle do Estado sob os recursos minerais, essa política também implementa diretrizes para uma mineração sustentável e mantém um planejamento unificado para o desenvolvimento da indústria de terras raras juntamente com outros setores relevantes ligados à indústria e tecnologia (IEA, 2025). A fim de garantir o desenvolvimento coordenado da indústria de terras raras, a *Comissão de Supervisão e Administração de Ativos Estatais do Conselho de Estado (SASAC)* anunciou o estabelecimento do *Grupo de Terras Raras da China* (China, 2021)[20] – reforçando o controle direto do governo central sobre esses recursos. Além dessas medidas, também foi publicado, em 2021, o 14º Plano Quinquenal para o Desenvolvimento da Indústria de Matérias-Primas (*14th Five Year Plan for Raw Material Industry Development*) (IEA, 2022).[21] De acordo com essa política, a China planeja estabelecer, padronizar e promover *clusters* da indústria de terras raras e otimizar a estrutura industrial do setor, formando um grupo de terras raras ainda maior e mais fortalecido (Sohee, 2023).[22]

Licenciamento Ambiental

Desde 2006, o governo chinês busca regulamentar a indústria de terras raras,[23] introduzindo sistemas e políticas que estabelecem padrões de emissões industriais e energéticas, sistemas de licenciamento, Estudos de Impacto

[20] http://www.sasac.gov.cn/n2588030/n2588924/c22341074/content.html
[21] https://www.iea.org/policies/14702-14th-fyp-for-raw-material-industry-development
[22] The Gold of Industry and the Core of the Military: China's Rare Earths Strategy and its Implications for Korea: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4561555
[23] Chinese Government's Official Web Portal, Situation and Policies of China's Rare Earth Industry, 2012 http://www.gov.cn/english/2012-06/20/content_2165802_6.htm e https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining

Ambiental (EIA) e mecanismos de responsabilização pela reabilitação e restauração das regiões que abrigam tais atividades (China Water Risk, 2016, 2016).[24] Iniciativas como o Diretório Abrangente de Proteção Ambiental (*Comprehensive Directory on Environmental Protection)*, lançado pelo Ministério de Proteção Ambiental, define terras raras e óxidos de terras raras adsorvidos por íons como "produtos de alta poluição e alto risco ambiental", exigindo regulamentos mais rígidos para a mineração de terras raras e as operações de lixiviação, particularmente nas regiões mais afetadas como Hong Kong, Shenzhen, Guangzhou. Além disso, estratégias de incentivos e punições, impostos verdes, financiamentos verdes e políticas governamentais de "compras verdes" visam incentivar as empresas a atualizarem suas tecnologias de mineração e adotarem processos de mineração e extração menos prejudiciais ao meio ambiente (China Water Risk, 2016).[25] Isso inclui consolidar operações de processamento de terras raras e localizá-las em parques industriais designados com estações de tratamento de águas residuais a fim de evitar que a água poluída chegue às províncias vizinhas. Além disso, adotar medidas para reduzir a erosão e a poeira (Standaert, 2019).[26]

Parcerias Estratégicas

A China estruturou uma estratégia internacional coordenada para assegurar acesso e influência nas cadeias globais de minerais críticos e terras raras, combinando diplomacia econômica, financiamento estatal e acordos comerciais para garantir suprimento estável e liderança nas etapas de maior valor agregado. No plano multilateral, iniciativas como a *Belt and Road Initiative* (Iniciativa Cinturão e Rota, BRI), a atuação no BRICS e na Parceria Econômica Regional Abrangente (*Regional Comprehensive Economic Partnership,* RCEP) ampliam investimentos em mineração, infraestrutura e processamento mineral, enquanto acordos bilaterais com países detentores de reservas estratégicas reforçam a cooperação tecnológica e financeira. No caso das terras raras, a combinação entre consolidação doméstica e instrumentos regulatórios fortalece sua posição na gestão da oferta e na governança internacional dessas cadeias. Nesse contexto, as relações entre Brasil e China têm se aprofundado, com destaque para a atuação conjunta no BRICS, a possibilidade de emissão de Panda Bonds e a implementação do Plano de Ação para Mineração Sustentável 2025–2026 (*2025-2026 Action Plan for Sustainable Mining)*, que sinaliza uma agenda de cooperação voltada à inovação, agregação de valor e sustentabilidade. Somam-se a isso diversos acordos bilaterais e memorandos de entendimento (MoUs),

24 https://www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2016/07/CWR-Rare-Earths-Shades-Of-Grey-2016-ENG.pdf

25 https://www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2016/07/CWR-Rare-Earths-Shades-Of-Grey-2016-ENG.pdf

26 https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining

envolvendo atores públicos e privados, que consolidam a China como parceiro central do Brasil na expansão e modernização do setor mineral e industrial, com potencial para o desenvolvimento conjunto de cadeias produtivas mais sofisticadas.

Projetos e ativos relevantes

Tabela 5. Projetos e ativos relevantes de ETR na China

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
China Northern Rare Earth Group	Upstream / Midstream	Mineração, concentração e processamento de elementos leves de terras raras	Relevante: situada em Baotou, Inner Mongolia, nordeste. Estatal. Depósito de bastnasita.
China Rare Earth Group	Upstream / Midstream	Mineração, concentração, processamento de elementos médios e pesados de terras raras	Relevante: maior produtora chinesa, resultado da fusão de outras empresas, concentrando a produção de 70% do restante do país. Estatal. Depósito de monazita e bastnasita
China Minmetals Rare Earth	Upstream / Midstream	Mineração e processamento de metais não ferrosos – coproduto	Relevante: subsidiária da China Minmetals; compõe o grupo China Rare Earth Group. Estatal. Depósito de Monazita e bastnasita
Shenghe Resources Holding	Upstream / Midstream	Mineração, concentração e processamento de elementos leves de terras raras	Relevante: foco em tecnologias de separação. Capital misto.
Guangdong Rare Earth Group	Upstream / Midstream / Downstream	Mineração, concentração, processamento e produtos de terras raras,P&D	Relevante: subsidiária da China Rare Earth Group, com atuação no sul chinês, Guangdong-Jiangxi. Estatal. Depósito de bastnasita e argila iônica.
Xiamen Tungsten	Upstream / Midstream / Downstream	Mineração e processamento de metais tungstênio – coproduto. Metalurgia.	Relevante: foco em terras raras, materiais de alto desempenho e metais estratégicos. Privada.
JL MAG Rare-Earth	Downstream	Metalurgia e produção de ímãs permanentes	Muito relevante: líder global em ímãs permanentes de NdFeB com base em terras raras, relevante para setores automotivos e eólicos. Privada.
Ningbo Yunsheng	Downstream	Metalurgia e produção de ímãs permanentes	Relevante: especializada em ímãs de terras raras e materiais magnéticos para setores automotivo,

			eletrodomésticos e renováveis. Privada.
Yongxing Special Materials	Downstream	Metalurgia e produção de ligas	Relevante: especializada em ligas especiais à base de terras raras, materiais magnéticos e componentes de alta tecnologia. Privada.
Rare Earth Materials Chemistry and Applications	Todos	P&D	Relevante: principal laboratório estatal, associado à Universidade de Pequim.
Rare Earth Resource Utilization	Todos	P&D	Relevante: laboratório estatal, na região de Changchun, Jilin.

Fonte: Elaboração própria.

B) Competidores quase sistêmicos (países ou blocos que já competem com a China em mais de um elo): EUA, União Europeia, Austrália

Estados Unidos

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

Os Estados Unidos estão em processo acelerado de reconstrução da cadeia de valor de terras raras. O país já possui um ativo upstream relevante e avança na reindustrialização dos elos midstream e downstream, mas ainda não alcançou a autonomia plena. Sua principal força está menos na maturidade atual da cadeia e mais na capacidade de mobilizar instrumentos financeiros, regulatórios e estratégicos para acelerar esse processo.

Tabela 6. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR nos EUA

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficia-mento & Concentração	Abertura química/ Lixiviação & Dissolução	Purifi-cação & Precipi-tação	Sepa-ração & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
EUA	x	x	x						x	x	

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

Os Estados Unidos possuem base mineral relevante em terras raras, com reservas estimadas pela USGS em cerca de 13 milhões de toneladas. O principal ativo é Mountain Pass, na Califórnia, que segue como o depósito mais importante do país. Após o declínio da produção doméstica no final dos anos 1990, os EUA passaram a retomar investimentos no elo upstream como parte de uma estratégia mais ampla de segurança de suprimentos.

Midstream

O midstream representa um dos principais gargalos da cadeia norte-americana. Embora o país tenha avançado na retomada da produção mineral, ainda busca consolidar capacidades domésticas em separação, refino e processamento químico, etapas historicamente concentradas na China. Nos últimos anos, a política industrial americana passou a direcionar recursos de forma explícita para esses elos, reconhecendo que a segurança mineral não depende apenas da mineração, mas também do domínio das etapas intermediárias.

Downstream

No downstream, o principal desafio é a reconstituição da indústria de ímãs permanentes de NdFeB, que deixou de operar em grande escala no país desde meados da década de 1990. Em resposta, o governo americano vem apoiando a criação de instalações industriais voltadas à produção doméstica de ímãs e à integração com cadeias estratégicas, especialmente nos setores de defesa, veículos elétricos e energia.

Regulação e incentivos

A estratégia dos Estados Unidos para minerais e materiais críticos combina instrumentos transversais e medidas específicas voltadas à redução da dependência externa – sobretudo em relação à China. Nesse contexto, destaca-se a Executive Order 14017, que impulsionou uma revisão abrangente das cadeias de suprimento estratégicas, incluindo terras raras. O país tem mobilizado volumes expressivos de recursos para infraestrutura doméstica, recuperação de minas, separação mineral, inovação tecnológica e fortalecimento da manufatura, com o objetivo de ampliar a segurança econômica, estimular a inovação e consolidar sua base industrial. Entre as iniciativas, destaca-se o Project Vault, instrumento inovador que busca reduzir riscos de investimento ao permitir que o governo atue temporariamente como comprador ou detentor intermediário de materiais estratégicos, viabilizando projetos de extração e processamento e aumentando sua atratividade para o financiamento privado.

Além disso, a Lei de Redução da Inflação (*Inflation Reduction Act,* IRA) introduziu incentivos fiscais equivalentes a 10% dos custos de produção de minerais críticos e estratégicos (MCEs) nos EUA, bem como créditos de até 30% dos custos de capital para novas plantas de transformação, beneficiamento e reciclagem.[27] No campo dos investimentos diretos, a Lei Bipartidária de Infraestrutura (*Bipartisan Infrastructure Law*) de 2021 destinou US$ 6,3 bilhões para processamento, reciclagem e manufatura de baterias – cujos principais componentes são MCEs –, enquanto empréstimos adicionais, incluindo operações da ordem de US$ 2,5 bilhões, vêm sendo concedidos a empresas voltadas à produção desses materiais e ao desenvolvimento de tecnologias associadas, especialmente no segmento de baterias.[28] Os EUA também estabeleceram um preço mínimo de 10 anos para o óxido de neodímio-praseodímio (NdPr), fixado em US$ 110 por quilograma (kg).[29] Esse mecanismo visa garantir que a MP Materials receba receita previsível mesmo que os preços globais caiam devido a um aumento na produção global, medida aprendida, em partes, com o setor do níquel, também fortemente controlado por um único país, que consegue pressionar negativamente os preços da commodity globalmente.[30]

No âmbito regulatório, observa-se um movimento de aceleração e coordenação dos processos de licenciamento. Em 30 de março de 2025, o Presidente Donald Trump assinou uma ordem executiva voltada ao aumento da produção doméstica de MCEs, com ênfase na melhoria da coordenação entre órgãos federais e na revisão do arcabouço minerário.[31] Adicionalmente, alguns empreendimentos foram enquadrados no programa FAST-41, que busca maior harmonização entre autoridades e redução de prazos de análise. Por fim, outra ordem executiva, assinada em 24 de abril de 2025, visa ampliar o acesso e o aproveitamento de recursos minerais na Zona Econômica Exclusiva dos Estados Unidos.[32]

---

[27] https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/5376

[28] https://bidenwhitehouse.archives.gov/briefing-room/statements-releases/2024/09/20/fact-sheet-biden-harris-administration-takes-further-action-to-strengthen-and-secure-critical-mineral-supply-chains/#:~:text=,processing%2C%20and%20battery%20component%20manufacturing

[29] O preço de mercado atual do NdPr na China é inferior a US$ 60/kg; portanto, o preço mínimo funciona como um subsídio e estabilizador de mercado.

[30] https://www-energypolicy-columbia-edu.translate.goog/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=pt&_x_tr_hl=pt&_x_tr_pto=tc&_x_tr_hist=true

[31] https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/03/immediate-measures-to-increase-american-mineral-production/.

[32] https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2025/04/unleashing-americas-offshore-critical-minerals-and-resources/.

Economia circular

Os Estados Unidos também vêm incorporando a economia circular à sua estratégia de terras raras. Os investimentos públicos incluem reciclagem e recuperação de materiais a partir de fontes secundárias, como rejeitos, resíduos industriais, cinzas e sucata eletrônica.

Licenciamento ambiental

Os Estados Unidos foram pioneiros na adoção de instrumentos de licenciamento ambiental estruturados, com base na Lei de Política Ambiental Nacional (*National Environmental Policy Act, NEPA).* O sistema opera em regime de gestão cooperativa entre níveis federal, estadual, territorial e tribal, com coordenação institucional em projetos sujeitos à avaliação de impacto ambiental. O modelo combina procedimentos eletrônicos, participação pública, guias técnicos e múltiplas licenças setoriais. Em geral, o sistema busca compatibilizar previsibilidade regulatória e rigor ambiental, embora a complexidade federativa possa gerar sobreposição de competências e variação de prazos entre estados. Para ampliar a previsibilidade e dar celeridade ao licenciamento federal de grandes projetos, foi elaborado o Título 41 da Lei de Reparação do Transporte de Superfície da América (*Fixing America's Surface Transportation Act*, FAST-41), que contempla coordenação interagências, definição de cronogramas vinculantes, transparência via Painel de Licenciamento (*Permitting Dashboard*) e supervisão pelo Conselho Diretivo de Melhoria de Licenciamento Federal (*Federal Permitting Improvement Steering Council*).[33]

Parcerias estratégicas

No plano internacional, os Estados Unidos têm buscado diversificar fontes de suprimento e consolidar alianças com países considerados confiáveis. Essa estratégia inclui acordos, memorandos de entendimento e articulação com parceiros como Austrália, Japão, Malásia, Tailândia, Canadá, Arábia Saudita, Brasil, México e Angola. Essas parcerias têm como objetivo fortalecer exploração, processamento, refino, reciclagem, investimento e comércio em minerais críticos, compondo uma estratégia geoeconômica voltada à formação de cadeias mais resilientes, transparentes e menos dependentes de fornecedores adversários. O governo estadunidense também busca expandir sua atuação no Brasil, sobretudo no estado de Goiás, culminando na assinatura de um memorando de entendimento (MoU).

[33] https://www.permitting.gov/projects/title-41-fixing-americas-surface-transportation-act-fast-41

Projetos e ativos relevantes

Tabela 7. Projetos e ativos relevantes de ETR nos EUA

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
Mountain Pass	Upstream	mineração	principal ativo mineral dos EUA
MP Materials + expansão industrial	Upstream / Midstream	mineração e processamento	base para reconstrução da cadeia doméstica
MP Materials + Apple	Circularidade / Midstream	reciclagem	recuperação de ETR de componentes eletrônicos
MP Materials + General Motors	Downstream	ímãs e integração industrial	conexão com a cadeia automotiva e fortalecimento da manufatura doméstica
ReElement Technologies	Midstream / Circularidade	reciclagem e separação	reforço da oferta secundária e desenvolvimento de rotas alternativas
Noveon	Downstream	produção de ímãs via short loop	recuperação de valor em manufatura e fortalecimento da circularidade
Hypromag	Downstream / Circularidade	reciclagem de ímãs por processamento com hidrogênio	desenvolvimento de rota tecnológica para recuperação de ímãs de resíduos eletroeletrônicos
Project Vault	Transversal	instrumento de política pública	redução de risco, apoio à bancabilidade e estímulo simultâneo ao upstream e midstream

Fonte: Elaboração própria.

União Europeia e Reino Unido

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

A União Europeia (UE) é caracterizada pela sua relevante capacidade tecnológica nos elos intermediários (midstream) e finais (downstream) e elevada dependência externa nos segmentos a montante (upstream). Para reduzir essa dependência, foi elaborado um arcabouço robusto de políticas industriais, regulatórias e de inovação, com destaque para a Lei Europeia das Matérias-Primas Críticas (*Critical Raw Materials Act*, CRMA) (Regulation EU 2024/1252). Tal iniciativa estabelece metas ambiciosas para 2030 (10% de extração doméstica, 40% de processamento e 25% de reciclagem), bem como para iniciativas como a Aliança Europeia de Matérias-Primas (*European Raw Materials Alliance,* ERMA), tendo a economia circular como eixo central, com foco em ampliar a reciclagem e a recuperação de matérias-primas secundárias por meio de investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), políticas ambientais rigorosas e parcerias internacionais, incluindo a *Minerals Security Partnership e a EU Strategic Partnership on*

Sustainable Raw Materials Value Chains. Em conjunto, essas medidas visam reduzir vulnerabilidades geopolíticas e construir uma cadeia de valor mais resiliente, sustentável e tecnologicamente avançada, destacando projetos de refino e reciclagem da Silmet, na Estônia, e da Solvay e da Carester, na França. Ao longo da cadeia de valor, incorporam-se práticas de mineração e remediação sustentáveis, além de sinergias em pesquisa e formação, buscando, na prática, converter a vantagem mineral nórdica em produtos estratégicos "prontos para a UE", com menor pegada de carbono e maior segurança de abastecimento.

O Reino Unido, por sua vez, é caracterizado por uma baixa capacidade de produção mineral doméstica – atendendo a cerca de 6% de sua demanda por minerais críticos – e elevada dependência externa, especialmente nas etapas iniciais da cadeia (upstream). Em resposta, o país tem estruturado uma estratégia centrada na segurança de suprimento, na resiliência das cadeias globais e na redução de vulnerabilidades geopolíticas, com destaque para a Estratégia Britânica de Minerais Críticos 2025 (*UK Critical Minerals Strategy 2025*). Essa abordagem estabelece metas ambiciosas para ampliar a capacidade doméstica para até 30% da demanda até 2035, combinando o aumento da produção interna (10%) com investimentos robustos em reciclagem e economia circular (20%). Diferentemente de outros atores, o Reino Unido aposta menos na expansão da extração mineral em larga escala e mais no fortalecimento de capacidades nos elos intermediários e finais da cadeia de valor (midstream e downstream), com foco em inovação tecnológica, refino, reciclagem e financiamento. Em paralelo, o país prioriza parcerias internacionais com países ricos em recursos – como o Brasil – e o uso de instrumentos financeiros e cooperação técnica para viabilizar projetos, buscando posicionar-se como um integrador de cadeias de valor mais resilientes, sustentáveis e tecnologicamente avançadas.

Tabela 8. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR na UE e no Reino Unido

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/ Lixiviação & Dissolução	Purifi-cação & Precipi-tação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
União Europeia / Reino Unido	X			X	X	X	X	X	X	X	X

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

A União Europeia (UE) e o Reino Unido não possuem minas operacionais de terras raras, dependendo totalmente de importações, principalmente da China. A

restrição no upstream decorre de três fatores principais: restrições regulatórias à importação de minerais com conteúdo radioativo; dificuldades e custos associados à exportação de concentrados pouco processados da China; e, por fim, a competitividade de preços dos produtos separados na Ásia, que tornam economicamente desafiadora a separação primária em território europeu. Como resposta, as empresas europeias desenvolveram modelos baseados na aquisição de produtos já separados, agregando valor por meio de purificação adicional, formulação customizada e desenvolvimento de aplicações específicas.

Vale mencionar que descobertas recentes indicam um potencial relevante em grandes depósitos de países na Suécia (região de Kiruna) e na Noruega, parceiro próximo da UE (Complexo Fen), com projetos que visam iniciar a produção por volta de 2030–2031. Além disso, etapas de reciclagem e recuperação secundária de ETR configuram-se como estratégias complementares para compensar a ausência atual de produção em upstream e fortalecer a resiliência da cadeia de ETR.

Outra fonte complementar de ETR que vem sendo estudada na Europa é a ocorrência desses elementos em depósitos de bauxita cárstica e em resíduos do processamento da alumina, como a lama vermelha (red mud). A bauxita cárstica é um tipo de minério de alumínio associado a terrenos calcários, acumulado em cavidades e depressões do relevo cárstico, com ocorrências relevantes no sul da Europa, Bálcãs, Turquia, Irã e China (Yalçın & Altunbey, 2026). Diferentemente das bauxitas formadas por alteração residual in situ, esses depósitos resultam do transporte, deposição e posterior enriquecimento geoquímico de materiais ricos em alumínio (Deady et al., 2014).

Embora as bauxitas cársticas sejam historicamente exploradas como fonte de alumínio, recentemente esses depósitos passaram a despertar interesse também como potenciais fontes secundárias de minerais críticos e estratégicos, incluindo ETR e outros elementos-traço associados (Kovačević Galović et al., 2025). Além disso, a lama vermelha gerada no processamento da bauxita representa uma fonte potencial de ETR, já que esses elementos tendem a se concentrar durante a produção de alumina (Deady et al., 2014). Apesar de os teores normalmente serem inferiores aos observados em depósitos primários, o aproveitamento desses resíduos apresenta vantagens ambientais relevantes, como a redução de passivos históricos de mineração, menor necessidade de abertura de novas minas e possibilidade de recuperação de valor a partir de materiais já estocados. Estudos em depósitos mediterrâneos, incluindo a Croácia, indicam que avanços tecnológicos podem ampliar a viabilidade econômica do reaproveitamento de antigas províncias bauxíticas tanto para alumínio quanto para ETR (Kovačević Galović et al., 2025).

Midstream

A cadeia de valor é concentrada na separação química de concentrados importados e na formulação de óxidos, metais e ligas. No segmento de terras raras, o principal gargalo estratégico europeu está na etapa de separação e refino, historicamente dominada por agentes não europeus. Nesse contexto, a França vem se consolidando como polo industrial para mitigar essa lacuna. A planta da Solvay, em La Rochelle, maior instalação europeia de separação de terras raras, iniciou suas entregas comerciais de NdPr em 2025. Além disso, está incorporando capacidade para disprósio e térbio (terras raras pesadas) em 2026, com meta de atender a 30% da demanda europeia por ímãs até 2030, além de reduzir sua intensidade hídrica e de carbono. Em paralelo, a Carester está implantando, na bacia de Lacq, um *hub* de reciclagem e refino de € 216 milhões, com entrada em operação prevista até o fim de 2026, para processar ímãs reciclados e concentrados minerais, com o objetivo de suprir 15% da demanda global por terras raras pesadas.

Downstream

No segmento de downstream, a União Europeia tem avançado na consolidação da produção de ímãs permanentes. Em 2025 foi inaugurada a maior fábrica europeia de ímãs permanentes de terras raras pela Neo Performance Materials em Narva, na Estônia. Paralelamente, iniciativas estratégicas financiadas pelo bloco, como o PERMANET, visam ampliar a capacidade produtiva e internalizar completamente a cadeia de valor de imãs permanentes, reunindo dezenas de parceiros industriais e tecnológicos. Esforços em pesquisa e inovação incluem o projeto MagREEsource, que visa ao desenvolvimento de ímãs 100% reciclados, início de fabricação até 2028, e projetos como o PASSENGER, que pesquisam materiais alternativos, como ligas de manganês-alumínio-carbono (MnAlC) e ferritas de estrôncio, para reduzir a dependência de ETR.

Regulação e incentivos

No âmbito da União Europeia, destacam-se iniciativas como a Aliança Europeia de Matérias-Primas (*European Raw Materials Alliance*, ERMA), que reúne indústria, academia, formuladores de políticas e investidores para identificar oportunidades de investimento e mapear entraves regulatórios ao desenvolvimento do setor. Em paralelo, a Raw Materials Initiative estabelece uma abordagem estratégica para garantir o acesso às matérias-primas utilizadas pela indústria europeia, com ênfase na sustentabilidade do fornecimento, na reciclabilidade e no uso eficiente dos recursos. Esse conjunto de políticas foi reforçado por instrumentos mais recentes, como o CRMA e o Plano de Ação de Matérias-Primas Críticas (*Action Plan on Critical Raw Materials*), que buscam reduzir a dependência da UE em relação a países terceiros, diversificar o

abastecimento – tanto de fontes primárias quanto secundárias –, mitigar riscos geopolíticos e de volatilidade de preços, e fomentar parcerias com países alinhados (European Commission, 2020; Regulation (EU) 2024/1252; Boruta, 2025).

No campo dos incentivos, a União Europeia aprovou, em 24 de junho de 2025, uma nova estrutura para subsídios estatais voltada às indústrias verdes, no âmbito do Pacto da Indústria Limpa (*Clean Industrial Deal*),[34] o que tende a ampliar, nos próximos anos, os investimentos em setores dependentes de MCEs, incluindo incentivos fiscais para projetos de transformação desses minerais, a serem implementados pelos Estados-membros conforme suas políticas nacionais. Em termos de financiamento direto, o CRMA instituiu o Comitê Europeu de Matérias-Primas Críticas, com a função de apoiar projetos na obtenção de recursos, enquanto o Banco Europeu de Investimento (BEI) anunciou a disponibilização de € 2 bilhões ainda em 2025, para fortalecer a cadeia de suprimentos desses minerais na região, somando-se a iniciativas nacionais.

No âmbito regulatório, o CRMA introduz mecanismos para maior coordenação e previsibilidade no licenciamento. Projetos considerados estratégicos passam a ser acompanhados por instâncias europeias, com prioridade nas análises e apoio à articulação entre autoridades nacionais. A iniciativa também prevê a criação de pontos únicos de contato para o licenciamento, simplificando a obtenção de permissões ambientais e de uso da terra, além de estabelecer prazos máximos para a tomada de decisão. Por fim, a UE reforça o monitoramento das cadeias de suprimento, exigindo que os Estados-membros realizem testes de estresse e reportem informações sobre estoques, contribuindo para maior transparência e segurança no abastecimento.

Economia circular

A União Europeia tem se posicionado como líder global na transição para a economia circular, com base em dois planos sucessivos: o Plano de Ação “Closing the Loop” (2015) e o Novo Plano de Ação para a Economia Circular (2020). Inicialmente fundamentada na combinação de regulação ambiental, compromissos voluntários e metas de gestão de resíduos, essas iniciativas foram consideradas insuficientes. Nesse contexto, o futuro da Lei de Economia Cicular (*Circular Economy Act*, CEA), previsto para o terceiro trimestre de 2026, deverá se tornar pilar central do Pacto da Indústria Limpa (*Clean Industrial Deal*) e da Bússola da Competitividade (*Competitiveness Compass*) (mandato 2024–2029). Essas iniciativas pretendem revisar as principais diretivas de resíduos, bem como a adoção de medidas como harmonização tributária ambiental e regras para resíduos extrativos. Objetiva-se, portanto, elevar a taxa de uso circular de materiais para 24% até 2030, consolidar um mercado único de matérias-primas secundárias, ampliar a reciclagem e reduzir a geração de resíduos, posicionando-se também

[34] https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_pt

como política de competitividade e autonomia estratégica. Nesse cenário, a França se consolida como líder europeia na reciclagem de ímãs de terras raras, com iniciativas como a linha-piloto da Orano com o CEA-Liten e a planta de € 216 milhões da Carester em Lacq (Caremag), além do projeto da MagREEsource. Na Estônia, destaca-se a Neo Performance Materials, e no Reino Unido, a Ionic Rare Earths (em parceria com a Ford Motor Company e a Less Common Metals), reforçando a integração entre reciclagem e cadeia produtiva de ímãs de terras raras na Europa.

Licenciamento ambiental

No âmbito da União Europeia, legislações como a Diretriz de Avaliação de Impacto Ambiental (*Environmental Impact Assessment, EIA)* e a Diretriz de Resíduos de Mineração (*Mining Waste Directive) (2006/21/CE)* desempenham um papel relevante na obtenção de licenças ambientais para atividades de mineração.[35] Tais medidas estabelecem, por exemplo, uma gestão de resíduos eficiente para minimizar os impactos ambientais das atividades de mineração, além de um plano de emergência elaborado pelas autoridades competentes a ser implementado em caso de acidentes, além do monitoramento da região afetada pelo tempo que for necessário (EU, 2026; OECD, 2025).[36,37] Nesse sentido, a França implementou medidas de compensação e reparação por danos causados pela mineração, contemplando danos ambientais e à saúde pública, a fim de estabelecer uma mineração responsável, garantindo que os projetos de mineração sejam compatíveis com o meio ambiente, particularmente no que diz respeito à proteção da biodiversidade e das florestas primárias (IEA). A Espanha também estabeleceu o *Roadmap* para Roteiro para a gestão sustentável de matérias-primas minerais *(Roadmap for the Sustainable Management of Mineral Raw Materials*, composto por ações de médio e longo prazo para impulsionar a inovação e outras medidas voltadas para o fortalecimento do Plano de Ação para a Economia Circular da Espanha. Os eixos principais concentram-se em fomentar práticas sustentáveis na atividade extrativa, implementando as melhores técnicas disponíveis, e reduzir o consumo de matérias-primas por meio do uso eficiente dos recursos.

Parcerias estratégicas

A cooperação entre França e países nórdicos emerge como vetor estratégico, ao combinar a base mineral e a capacidade upstream nórdica com a infraestrutura

35 https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/06/enhancing-regional-mining-ecosystems-in-the-european-union_f4ea9924/97ba1224-en.pdf (pág 126)

36 https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/593788/EPRS_STU(2017)593788_EN.pdf

37 https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/06/enhancing-regional-mining-ecosystems-in-the-european-union_f4ea9924/97ba1224-en.pdf (pág. 126)

francesa de separação, refino e reciclagem. Essa complementaridade tende a reduzir prazos de implantação, custos logísticos e riscos de cadeia de suprimentos, bem como promove o compartilhamento de conhecimento sobre recursos geológicos e desenvolvimento de projetos conjuntos. No âmbito da UE, acordos como *Parceria para a Segurança Mineral* (Minerals Security Partnership, MSP)[38] e uma série de iniciativas, denominadas "Parcerias estratégicas da UE sobre cadeias de valor sustentáveis de matérias-primas" (*EU Strategic Partnership on Sustainable Raw Materials Value Chains*), buscam impulsionar investimentos dos governos e do setor privado em toda a cadeia de valor de minerais críticos como terras raras[39] (UE, 2025; IEA, 2022).

Projetos e ativos relevantes

Tabela 9. Projetos e ativos relevantes de ETR na Europa

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
Depósito Fensfeltet (Noruega)	Upstream	Mineração	Maior depósito de ETR na Europa (ainda em fase de licenciamento).
Neo Performance Materials, Silmet (Estônia)	Midstream/ Downstream	Separação, processamento óxidos e metalização	Essencial para redução de dependência externa do bloco. Integração entre separação, metais e imãs. Empresa privada.
Neo Performance Materials, Narva Plant (Estônia)	Midstream	Processamento, reciclagem de terras raras	Essencial para redução de dependência externa do bloco. Integração entre separação, metais e imãs. Empresa privada.
Solvay (França)	Midstream/ Downstream	Separação de óxidos e produção de ímãs permanentes	Importante plataforma europeia de refino e separação.
Carester/Caremag (França)	Midstream	Processamento, reciclagem de terras raras	Reciclagem e produção de terras raras pesadas, processamento de óxidos de neodímio, praseodímio, disprósio e térbio. Empresa com financiamento público privado. Essencial para redução de dependência externa do bloco.
Leading Edge Materials, Jönköping (Suécia)	Upstream	Projeto de terras raras pesadas de Norra Kärr	Relevante por ser um dos poucos depósitos europeus em fase de estudo de viabilidade.

[38] A MSP inclui a participação de EUA, Austrália, Canadá, Finlândia, França, Alemanha, Itália, Japão, Noruega, República da Coreia, Suécia, Reino Unido e a Comissão Europeia.
[39] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_26_862

REEtec, Herøya (Noruega)	Midstream	Planta de separação industrial e refino	Relevante por complementar fases intermediárias da cadeia de terras raras.
Mkango Resources, Pulawy (Polônia)	Midstream / Downstream	Projeto de separação de Pulawy	Projeto downstream ligado a Songwe Hill, no Malawi.
VAC - Vacuumschmelze (Alemanha)	Downstream	Produção de ímãs permanentes	Uma das maiores produtoras de imãs permanentes do mundo, a maior da Europa. Integração com Alemanha / Eslováquia / Finlândia / Estados Unidos.
Neorem Magnets (Finlândia)	Downstream	Produção de ímãs permanentes	Parte do grupo VAC.
Orano/ CEA-Liten (França)	P & D / Circularidade	Iniciativas de P&D em tecnologias hidrometalúrgicas e reciclagem	Relevante para inovação tecnológica e redução de custos de recuperação em ciclo curto.
European Raw Materials Act	Transversal	Instrumento de política pública	Estrutura normativa que abrange toda a cadeia (extração, processamento, reciclagem)

Fonte: Elaboração própria.

Projetos e ativos relevantes do Reino Unido

Embora o Reino Unido (RU) tenha base geológica identificada, permanece estruturalmente dependente do exterior para obtenção do insumo básico de mineração de terras raras. Nesse sentido, recentemente o RU tem apostado no desenvolvimento dos elos intermediários, com posicionamento estratégico entre Europa e Estados Unidos, investindo em empresas como a Pensana e a Ionic Rare Earths, empresas ainda em estágio de viabilização e consolidação industrial, além da Less Common Metals, a qual representa um ativo já operacional no segmento de metalização. Mais recentemente, nos anos de 2025 e 2026, houve avanço relevante na proposta de implantação, em Belfast, de uma planta comercial da Ionic Rare Earths voltada à reciclagem de ímãs permanentes de terras raras, com capacidade prevista para produzir óxidos separados de alta pureza, como neodímio, praseodímio, disprósio e térbio. Vale destacar que, apesar dos diferentes usos e demandas para ETR, o governo do Reino Unido prioriza o seu uso para impulsionar a agenda de transição energética.

Tabela 10. Projetos e ativos relevantes de ETR no Reino Unido

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
Saltend	Midstream	Pensana: processamento / separação	Relevante
Belfast	Circularidade / Midstream	Ionic Rare Earths: processamento e reciclagem	Recuperação de ETR de componentes eletrônicos
Birchington, Kent	Midstream	Less Common Metals: Metalização	Produção de metais e ligas de terras raras
Vision 2035: UK's Critical Minerals Strategy	Transversal	Instrumento de política pública	Combinação de produção doméstica e parcerias internacionais para reforçar a resiliência industrial do país. Regionalmente, há capacidades relevantes na Inglaterra, Escócia, País de Gales e Irlanda do Norte, com destaque para reciclagem de ímãs permanentes, economia circular e manufatura de níquel e titânio.

Fonte: Elaboração própria.

Austrália

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

A Austrália é reconhecida por sua forte vocação mineral, sustentada por uma dotação geológica rica e diversificada e por um arcabouço regulatório, aliado a políticas públicas que favorecem a atração de investimentos e conferem vantagem competitiva ao setor. A infraestrutura minerária é consolidada e, no segmento de terras raras, o país conta com a operação da Lynas Rare Earths no upstream, com capacidade anual de produção em torno de 22 mil toneladas (Aziman *et al.*, 2023). Empresas da Austrália investem em projetos minerários e em unidades de processamento e reciclagem em diferentes países, indicando a adoção de um modelo de cadeia de valor internacionalmente integrada para ETR. Para acelerar o desenvolvimento das cadeia de valor de minerais críticos (incluindo ETR) foi criado o Australian Critical Minerals Research and Development Hub, que reúne CSIRO, ANSTO e Geoscience Australia, estratégia nacional para acelerar a descoberta, o processamento e a comercialização de minerais críticos.

Tabela 11. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR na Austrália

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação & Dissolução	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
Austrália	X	X	X	X	X	X	X	X			

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

A Austrália possui um dos depósitos de terras raras de maior teor fora da China: o projeto Mount Weld, operado pela Lynas Rare Earths. Outros projetos relevantes em desenvolvimento incluem Browns Range, Dubbo e Nolans. Além disso, empresas australianas têm ampliado sua atuação internacional, com investimentos em projetos de mineração de ETR no Brasil. Em 2024, o governo australiano confirmou que investirá AU$ 566,1 milhões ao longo de 10 anos em pesquisas geológicas, a fim de reduzir riscos de novos projetos.[40]7

Midstream

O concentrado produzido em Mount Weld é enviado para processamento na Lynas Malaysia. No entanto, a Austrália tem avançado na internalização dessas etapas. Nesse contexto, a ANSTO está construindo uma planta piloto estatal para o processamento de ETR a partir de depósitos de argila iônica. A unidade será uma instalação de uso compartilhado para empresas do setor, voltada à realização de testes e à validação de rotas de processamento, com o objetivo de reduzir custos e acelerar o desenvolvimento de projetos.[41]

Downstream

A *Australian Strategic Materials* (ASM) possui o projeto minerário Dubbo, na Austrália, mas as etapas de processamento são realizadas na Coreia do Sul. A ASM Korean Metals Plant produz metais de neodímio-praseodímio (NdPr) e ímãs de neodímio-ferro-boro (NdFeB).[42]

Regulação e incentivos

[40] https://investingnews.com/australia-critical-metals-exploration/
[41] https://research.csiro.au/critical-minerals-hub/research-projects/rare-earth-elements-ree/
[42] https://asm-au.com/metals/korean-metals-plant/

A Austrália vem promovendo uma mudança estratégica em sua política para minerais críticos, deixando de atuar predominantemente como exportadora de minério bruto para priorizar o processamento e a agregação de valor domésticos. Políticas como a Estratégia para Minerais Críticos 2023-2030 (*Critical Minerals Strategy 2023–2030)* estabelecem como diretriz central o fortalecimento das etapas de beneficiamento, separação e refino, com o objetivo de reduzir vulnerabilidades nas cadeias de suprimento e ampliar a competitividade industrial. Para viabilizar essa estratégia, o país implementou instrumentos econômicos e financeiros específicos, como o Incentivo Fiscal à Produção de Minerais Críticos (*Critical Minerals Production Tax Incentive*) – incentivo tributário de 10% para atividades de refino aplicável a 31 minerais – e o Fundo de Financiamento de Minerais Críticos (*Critical Minerals Facility*) – US$ 4 bilhões. Além disso, houve a criação, em 2026, de uma Reserva Estratégica de Minerais Críticos (US$ 1,2 bilhão), que visa obter direitos sobre minerais produzidos na Austrália, como antimônio, gálio e terras raras, e reorganizar esses direitos para atender à demanda. Adicionalmente, o governo australiano adota mecanismos de preço mínimo (*price floor*) compensando a diferença entre o preço de mercado e um preço de referência (*strike price*). Em conjunto, essas medidas buscam internalizar etapas de maior valor agregado, estimular investimentos em capacidades industriais e aumentar a previsibilidade econômica dos empreendimentos.

Ressalta-se que o direito minerário australiano é regulado principalmente no âmbito estadual. Nesse contexto, destacam-se duas iniciativas: i. a Austrália Ocidental passou a utilizar um modelo de agência única para licenciamento ambiental e regulatório da mineração, que é o Departamento de Minas, Petróleo e Exploração (*Department of Mines, Petroleum and Exploration, DMPE*); ii. Queensland designou alguns empreendimentos de MCEs como prioritários, de modo que eles devem ser analisados prioritariamente em relação aos demais.

O governo australiano tem anunciado diversos incentivos fiscais. Em 2024, foi instituído um crédito tributário reembolsável equivalente a 10% dos custos elegíveis de projetos para a transformação de certos MCEs na Austrália, em evidente tentativa de estimular setores downstream.[43] Ademais, por meio do Incentivo à Exploração Mineral Júnior (*Junior Minerals Exploration Incentive)*,[44] permite-se a emissão de créditos tributários relativos a gastos com pesquisa de projetos *greenfield*. Além disso, no nível estadual, Nova Gales do Sul implementou um programa de diferimento do pagamento de *royalties* para

43 https://www.ato.gov.au/businesses-and-organisations/income-deductions-and-concessions/incentives-and-concessions/production-tax-incentives/critical-minerals-production-tax-incentive.

44 https://www.ato.gov.au/businesses-and-organisations/income-deductions-and-concessions/incentives-and-concessions/junior-minerals-exploration-incentive

projetos focados em MCEs para reduzir custos iniciais,[45] enquanto Queensland deixou de cobrar valores para manter alvarás de licença até 2028[46] e passou a aplicar descontos para recebíveis em caso em transformação dos minerais.[47]

Investimentos diretos: Em 2021, foi anunciado o Fundo de Financiamento de Minerais Críticos (*Critical Minerals Facility*), que direcionou AU$ 2 bilhões para financiar a mineração e transformação de MCEs, acrescentando o dobro desse valor dois anos depois.[48] Outro projeto que merece destaque é o Programa de Desenvolvimento para Minerais Críticos (*Critical Minerals Development Program*), que oferecia entre AU$ 1 milhão e 30 milhões para projetos de MCEs em fase inicial de desenvolvimento.[49] Além disso, partes do Fundo de Reconstrução Nacional (*National Reconstruction Fund*), que administra AU$ 15 bilhões, podem ser utilizadas para agregar valor na cadeia desses minerais.

Há ainda outras iniciativas estaduais específicas para MCEs, como a construção de uma planta estatal de transformação de vanádio em Queensland[50], e programas de financiamento que impactarão diretamente esse mercado, como a linha de crédito para desenvolvimento de infraestrutura no Território do Norte australiano.[51] Além disso, o próprio governo planeja celebrar contratos de fornecimento de MCEs e mantê-los em reserva.[52]

Economia circular

A Austrália lançou, em dezembro de 2024, o Quadro de Economia Circular (*Circular Economy Framework*), que estabelece a meta de duplicar o nível nacional de circularidade até 2035, promovendo a transição do modelo econômico linear para um sistema regenerativo, com foco na redução de resíduos, aumento da eficiência no uso de recursos e fortalecimento do crescimento econômico em setores-chave. Nesse contexto, a empresa Ionic Rare Earths, por meio de sua subsidiária Ionic Technologies, desenvolveu processos hidrometalúrgicos patenteados para a reciclagem de ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro (NdFeB), possibilitando a recuperação de óxidos de terras

45 https://www.resources.nsw.gov.au/invest-nsw/nsw-mineral-resources/critical-minerals-and-high-tech-metals/critical-minerals-royalty

46 https://www.nrmmrrd.qld.gov.au/mining-exploration/initiatives/zero-rent

47 https://qro.qld.gov.au/royalty/calculate-mineral/discount/

48 https://www.iea.org/policies/15865-critical-minerals-facility

49 https://www.industry.gov.au/node/92221

50 https://www.statedevelopment.qld.gov.au/coordinator-general/queensland-resources-common-user-facility#:~:text=The%20state%2Downed%20mineral%20processing,cobalt%20and%20rare%20earth%20elements

51 https://www.infrastructure.gov.au/territories-regions-cities/regional-australia/northern-australia-investment-and-projects. Acesso em 04/08/2025.

52 https://investingnews.com/australia-critical-minerals-strategy/. Acesso em 04/08/2025.

raras de alta pureza, especialmente neodímio, praseodímio, térbio e disprósio, a partir de sucata e ímãs em fim de vida. A iniciativa busca estruturar uma cadeia de valor circular, reduzir a dependência de matérias-primas primárias e fortalecer a segurança de suprimento fora da China, com destaque para a unidade de reciclagem em Belfast e planos de expansão internacional.

Licenciamento ambiental

Na Austrália, a governança ambiental segue um modelo federativo, no qual estados e territórios concentram a maior parte das competências sobre uso da terra e proteção ambiental, enquanto o governo federal atua em matérias de relevância nacional e áreas marítimas, tendo como principal marco legal a Lei de Proteção do Meio Ambiente e Conservação da Biodiversidade de 1999 (*Environment Protection and Biodiversity Conservation Act 1999*, EPBC Act), complementada por normas como a Lei da Água de 2007 (*Water Act 2007*). A EPBC Act regula a proteção de temas de importância ambiental nacional – como espécies ameaçadas, patrimônio mundial e áreas marinhas – e vem passando por revisões para aprimorar a avaliação de impactos cumulativos, a restauração ambiental, a integração do conhecimento indígena e a adoção de padrões nacionais, embora persistam sobreposições regulatórias. No setor mineral, a regulação envolve diferentes órgãos, como o Departamento de Mineração e Energia, responsável pelos títulos minerais *(Mineral Titles Act 2010)* e o Departamento de Terras, Planejamento e Meio Ambiente, pela avaliação das licenças ambientais *(Environment Protection Act 2019)*. As solicitações de licença ambiental para mineração devem ser avaliadas dentro dos prazos estabelecidos na legislação ambiental vigente.

Parcerias estratégicas

A Austrália tem intensificado seus esforços de cooperação internacional, estabelecendo parcerias estratégicas com países como o Reino Unido e o Canadá, visando à atração de investimento estrangeiro direto; ao desenvolvimento conjunto de capacidades industriais; e ao fortalecimento de cadeias globais de suprimento de minerais críticos orientadas por critérios ambientais, sociais e de governança (ESG). Parcerias como as Declarações Conjuntas de Intenção (*Joint Declaration of Intent*) objetivam fortalecer e promover a cooperação, com foco na integração da produção, processamento mineral, refino e reciclagem. Além disso, incentivar parcerias comerciais, assim como colaborações em pesquisa entre empresas canadenses e australianas, instituições financeiras, organizações de pesquisa e parceiros indígenas. Esses esforços de diversificação de parceiros posicionam o país como fornecedor confiável em cadeias de valor estratégicas, atendendo à crescente demanda internacional por segurança de suprimento e sustentabilidade.

Projetos e ativos relevantes

Tabela 12. Projetos e ativos relevantes de ETR na Austrália

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
Lynas Rare Earths, Austrália Ocidental	Upstream	mineração	Maior mina de ERT fora da China
ANSTO Rare Earth Processing Facility	Midstream	processamento	Planta-piloto estatal
Iluka Resources, Austrália Ocidental	Midstream	Refinaria de Eneabba e plataforma de mineral sands/terras raras	Projeto estratégico de refinaria com apoio governamental.
Energy Fuels	Upstream	mineração	*Pipeline* de suprimento para múltiplos países. Integração com cadeias mundiais.
Australian Critical Minerals R&D Hub	Transversal	instrumento de política pública	*Hub* que reúne CSIRO, ANSTO e Geoscience Australia
ANSTO	Transversal	P&D	Além da planta piloto é o principal centro de pesquisa e tecnologia no mundo sobre terras raras, com testes de radionúclideos, inclusive

Fonte: Elaboração própria.

C) Plataformas parciais ou especializadas: Canadá no potencial geológico e coordenação institucional; Malásia no processamento

Canadá

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

O Canadá possui recursos relevantes de ETR, mas tem priorizado o fortalecimento das etapas de midstream, como refino e metalurgia, com o objetivo de integrar gradualmente a produção mineral doméstica à medida que os projetos avançam para fases produtivas e ganham escala. Nesse processo, o principal desafio tem sido a transição de uma base centrada em recursos e projetos para uma estrutura produtiva mais integrada, capaz de capturar maior valor tanto no upstream quanto, sobretudo, nas etapas de processamento, separação e refino (Natural Resources Canada, 2022; 2024). Para enfrentar esse

desafio, a política nacional tem enfatizado investimentos habilitadores em infraestrutura e logística que conectem áreas de extração a unidades de processamento, como no suporte ao projeto Strange Lake, além de promover a integração das cadeias de minerais críticos, com foco no fortalecimento de capacidades em pontos estratégicos. Nesse contexto, o país também busca estruturar uma cadeia doméstica voltada ao atendimento de mercados aliados, como Estados Unidos, Japão e Coreia do Sul, posicionando-se como fornecedor alternativo à China na cadeia global de ETR e ímãs permanentes.

Tabela 13. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR no Canadá

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação & Dissolução	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
Canadá	X	X	X	X	X	X	X	X			

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

O Canadá possui depósitos em terras raras de classe mundial, ambiente regulatório estável e forte apoio governamental. A principal mina Nechalacho Mine chegou a produzir e exportar concentrado de óxidos mistos de ETR em 2021, mas paralisou a produção devido a desafios financeiros. O projeto continua ativo para estudos e desenvolvimento e busca viabilidade econômica para escalonar a produção. Paralelamente, há outros projetos avançados em desenvolvimento, como o Strange Lake, em Quebec. De acordo com o orçamento de 2022, C$ 79,2 milhões deveriam ser gastos para aumentar o conhecimento público das jazidas do país.[53]

Midstream

O Canadá tem concentrado seus esforços no segmento midstream, adotando uma estratégia de fortalecimento das etapas de processamento como base para a consolidação da cadeia doméstica de ETR. A principal unidade de processamento é do Saskatchewan Research Council (SRC), em Saskatoon,

53 https://www.canada.ca/en/campaign/critical-minerals-in-canada/canadian-critical-minerals-strategy.html. Acesso em: 04/08/2025.

projetada para processar minerais de ETR e produzir óxidos, metais e ligas. Em Ontário, a Ucore Rare Metals possui uma planta de demonstração, a RapidSX, focada na separação de óxidos individuais. Outras rotas tecnológicas vêm sendo desenvolvidas com foco em reciclagem, como o projeto da Geomega Resources em Quebec.

Downstream

O Canadá possui fabricantes de motores elétricos, como a TECO-Westinghouse Motors (Canada) Inc., a Techtop e a Lafert North America. No entanto, o país não possui produção doméstica de ímãs permanentes de terras raras, dependendo integralmente de importações para suprir essa etapa crítica da cadeia.

Regulação e incentivos

A mineração no Canadá opera sob um arcabouço regulatório complexo, composto por normas federais, provinciais e territoriais. Embora a competência primária seja das províncias e territórios, diversas etapas dos projetos – da proposta ao fechamento da mina – dependem de autorizações federais e do cumprimento de legislação ambiental e setorial específica, como a Lei Canadense de Proteção Ambiental *(Canadian Environmental Protection Act),* Lei de Avaliação de Impacto *(Impact Assessment Act),* Lei de Pesca *(Fisheries Act),* Lei de Proteção da Navegação *(Navigation Protection Act),* Lei das Espécies em Risco *(Species at Risk Act),* Lei da Convenção sobre Aves Migratórias de 1994 *(Migratory Birds Convention Act 1994) e* Lei de Transporte de Produtos Perigosos de 1992 *(Transportation of Dangerous Goods Act 1992),* que estabelecem parâmetros para avaliação de impactos ambientais, proteção de ecossistemas, gestão hídrica e transporte de substâncias perigosas.

Os documentos públicos canadenses sobre MCEs reforçam o objetivo do país de reduzir as burocracias e o tempo de tramitação de direitos minerários. Assim, o orçamento de 2024 estabeleceu diretivas para fixar responsabilidades claras entre departamentos federais, bem como prevê a condução de revisões simultâneas, e não concatenadas, sempre que possível e estabelece um coordenador de aprovações minerárias, a fim de reduzir duplicações, seguindo o formato "um projeto, uma avaliação" (*one project, one review*).[54]

Paralelamente, a consolidação da cadeia de minerais críticos vem sendo impulsionada por uma política industrial ativa, estruturada na Estratégia Canadense de Minerais Críticos (*Canadian Critical Minerals Strategy*), com cerca de C$ 4 bilhões mobilizados desde 2022 para mapeamento geológico, exploração, processamento, manufatura e iniciativas iniciais de reciclagem. O apoio inclui investimentos em infraestrutura, P&D e cooperação internacional,

[54] https://budget.canada.ca/2024/report-rapport/chap4-en.html

por meio de instrumentos como o Fundo Estratégico para Inovação (*Strategic Innovation Fund*) e o Fundo de Infraestrutura para Minerais Críticos (*Critical Minerals Infrastructure Fund*), além de incentivos fiscais. A proposta orçamentária para 2026 prevê novos instrumentos, como o Fundo da Primeira e Última Milha (*First and Last Mile Fund* – até C$ 1,5 bilhão – e o Fundo Soberano para Minerais Críticos (*Critical Minerals Sovereign Fund* – C$ 2 bilhões –, voltados ao financiamento estratégico de projetos. A governança envolve múltiplos órgãos federais, em articulação com províncias e povos indígenas, e busca maior previsibilidade regulatória por meio do Escritório de Gestão de Grandes Projetos (*Major Projects Management Office*), que coordena projetos sob a abordagem "um projeto, uma avaliação", com meta de análise em até dois anos. Ademais, outro C$ 1,5 bilhão deve ser destinado à construção de infraestrutura especificamente para projetos que se ocupem desses minerais. O orçamento de 2024 ainda apresentou o compromisso de destinar C$ 5 bilhões a comunidades indígenas para apoiá-las na aquisição de direitos minerários e participação em mineradoras.[55]

Ressalta-se que o Canadá já oferecia um sistema de créditos tributários de 15% relativos a ações especiais (*flow-through shares*) para empresas focadas em exploração e projetos *greenfield*. Não obstante, foi instituído um crédito de 30% para companhias que pesquisem 15 substâncias, todas classificadas como minerais críticos pelo país. Além disso, há um crédito tributário para a manufatura de tecnologia verde, bem como extração e processamento de MCEs.[56]

Economia circular

A estratégia de economia circular do Canadá está delineada no Plano de Ação de Economia Circular para o Canadá 2.0 de 2025 (*Circular Economy Action Plan for Canada – Version 2.0)*, que consolida a orientação nacional para acelerar a transição de um modelo linear para um sistema econômico regenerativo, ampliando as diretrizes da edição de 2023, estruturada em cinco eixos (informação, colaboração, políticas públicas, inovação e investimento), para um conjunto de 36 ações prioritárias e 16 resultados estratégicos, incorporando contribuições da Cúpula Canadense de Economia Circular 2025 (*Canadian Circular Economy Summit 2025*). O plano atua como instrumento de

55 https://www.canada.ca/en/campaign/critical-minerals-in-canada/canadian-critical-minerals-strategy.html e https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2025/02/government-of-canada-celebrates-launch-of-the-5-billion-indigenous-loan-guarantee-program.html

56 https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-policy-taxation-industry/mining-taxation/mining-specific-tax-provisions. Acesso em: 04/08/2025.

coordenação entre setor privado, governos, academia e investidores, com o objetivo de reduzir riscos, escalar inovações e promover mudanças sistêmicas, sendo integrado a agendas de clima, biodiversidade e competitividade. No plano operacional, destacam-se iniciativas voltadas à circularidade de minerais críticos, como os projetos da Cyclic Materials, apoiada por montadoras como BMW e Jaguar Land Rover, com processos hidrometalúrgicos para reciclagem de ímãs e capacidade-piloto de cerca de 100 toneladas anuais, em parceria com a Solvay e da Geomega Resources, com capacidade de aproximadamente 1,5 tonelada por dia, reforçando a inserção da economia circular na estratégia mineral canadense.

Licenciamento ambiental

O licenciamento ambiental federal no Canadá é regulamentado pela *Lei de Avaliação de Impacto* (IAA, na sigla em inglês). A IAA define etapas, prazos e fatores obrigatórios de análise, incorporando dimensões ambientais, sociais, de saúde e econômicas, bem como a avaliação de efeitos cumulativos. O processo é estruturado em cinco fases — Planejamento, Estudo de Impacto, Avaliação, Tomada de Decisão e Pós-Decisão — e enfatiza sustentabilidade, transparência, participação social e engajamento significativo de povos indígenas. As decisões são fundamentadas em evidências científicas, conhecimento indígena e outros elementos técnicos.

Cabe ressaltar, no entanto, que o licenciamento ambiental no Canadá é compartilhado entre os níveis federal e provincial/territorial. Províncias e territórios exercem papel predominante na autorização da maioria dos projetos e atividades potencialmente poluidoras, utilizando seu próprio arcabouço regulatório e conduzindo os processos de avaliação e licenciamento em seu território. O governo federal atua de forma complementar em casos que envolvem competências federais, frequentemente por meio de mecanismos de coordenação que buscam evitar duplicidade de avaliações.

Além disso, algumas províncias canadenses vêm adotando medidas para agilizar a análise de projetos considerados estratégicos, por meio de priorização administrativa e simplificação de etapas, sem eliminar as exigências ambientais centrais. No caso de comunidades indígenas, deve ser realizada a consulta prévia, livre e informada em comunidades indígenas, de acordo com a OIT 169.

Por fim, a autorização de projetos minerários costuma estar condicionada à apresentação de garantias financeiras voltadas ao fechamento das operações e à recuperação ambiental das áreas afetadas.

Parcerias estratégicas

O Canadá tem articulado diversas parcerias bilaterais e multilaterais, alinhadas à Estratégia Canadense de Minerais Críticos. Entre as principais parcerias destacam-se: a Parceria Estratégica Canadá–União Europeia sobre Matérias-Primas *(Canada–European Union Strategic Partnership on Raw Materials);* Plano de Ação do G7 para Minerais Críticos *(G7 Critical Minerals Action Plan)*; além de acordos com países como Alemanha, Argentina, Austrália, Chile, Coreia do Sul, França, Índia e Japão, com foco em financiamento de projetos, inovação, agregação de valor e segurança do suprimento. Entre as iniciativas multilaterais, o Canadá participa de fóruns como o G7, o G20, a IEA e a *MSP*. Brasil e Canadá não possuem, até o momento, um acordo comercial bilateral em vigor. No entanto, um Acordo de Livre Comércio entre o Mercosul e o Canadá está atualmente em negociação. Em paralelo, o Ministério de Minas e Energia (MME) e o Natural Resources Canada negociam um Memorando de Entendimento, com foco na cooperação técnica e institucional em minerais críticos, visando ao intercâmbio de informações geológicas, boas práticas regulatórias, sustentabilidade, inovação tecnológica e oportunidades de investimento.

Projetos e ativos relevantes

Tabela 14. Projetos e ativos relevantes de ETR no Canadá

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
Nechalacho Mine (Vital Metals)	Upstream	mineração	Principal ativo em upstream, em desenvolvimento
SRC's Rare Earth Processing Facility	Midstream Downstream	Entidade pública de P&D / vinculada ao Estado	Instalação de Processamento de Terras Raras. Planta de metalização em Saskatoon.
RapidSX (Ucore Rare Metals)	Midstream	processamento	Planta de demonstração
Torngat Metals	Upstream / Midstream	Projeto Strange Lake e planta de separação associada	Projeto estratégico de terras raras leves e pesadas no norte de Québec; companhia privada.
Energy Fuels	Midstream	Plataforma de feedstock e processamento de terras raras de White Mesa	Pipeline de suprimento para múltiplos países. Integração com cadeias mundiais; companhia privada.

Geomega Resources	Circularidade	reciclagem	Planta-piloto para recuperação de ETR de componentes eletrônicos; companhia privada.

Fonte: Elaboração própria.

Malásia

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

A partir de 2024, a Malásia proibiu a exportação de minérios e concentrados de terras raras não processados, exigindo que as terras raras sejam mineradas no território nacional antes da exportação. Essa política apoia o crescimento das etapas posteriores da cadeia produtiva, alinhando-se com as metas mais ambiciosas da Malásia de estabelecer indústrias de maior valor agregado (ver abaixo seção de regulações e incentivos sobre o país) (USGS, 2025).[57] No entanto, a restrição à exportação de ETR enfrenta desafios relacionados ao arranjo institucional malásio. A Constituição Federal atribui aos estados o controle primário sobre terras e recursos minerais, enquanto políticas nacionais e regulações de exportação são competência do governo federal. Essa divisão resulta em uma governança fragmentada, com implementação inconsistente de políticas e limitada coordenação nacional.

Tabela 15. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR na Malásia

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação & Dissolução	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
Malásia	X			X	X	X	X	X			

Fonte: Elaboração própria.

57 https://www.trade.gov/market-intelligence/malaysia-critical-minerals-cooperation#:~:text=Since%20January%202024%2C%20the%20federal,be%20processed%20domestically%20before%20export

Upstream

A MCRE opera uma mina de ETR no estado de Perak, na Malásia, utilizando o método de lixiviação *in situ*. Em novembro de 2025, o governo suspendeu as atividades de mineração após indícios de possível contaminação ambiental. Cabe destacar também a ocorrência de mineração e exportação ilegais de ETR no país. Casos documentados incluem operações em Negeri Sembilan com uso de lixiviação química *in situ* à base de sulfato de amônio e atividades ilegais em área de reserva florestal em Perak, evidenciando desafios e lacunas na governança e na fiscalização no setor.

Midstream

A Malásia abriga uma das principais instalações de processamento de ETR fora da China. A unidade é operada pela Lynas Malaysia, recebe concentrados provenientes sobretudo da Austrália e realiza o refino e a separação em óxidos de terras raras de alta pureza, exportados para Ásia, Europa e Estados Unidos.

Downstream

A Malásia não possui, até o momento, uma indústria consolidada de fabricação de ímãs de terras raras (NdFeB).

Regulação e incentivos

A Malásia tem desenvolvido um plano de governo para explorar o potencial de elementos terras raras de argila de adsorção de íons (IAC-REE), visando impulsionar o progresso tecnológico do país, abrangendo as etapas upstream, midstream e downstream. Para tanto, houve o lançamento de programas como o Academy of Sciences Malaysia (ASM), cujo objetivo consiste em formular um modelo de negócios para o desenvolvimento da indústria local de IAC-REE, a fim de tornar-se um *player* regional (NRES, 2024). O foco dessa iniciativa reside em mineração, processamento e separação de ETRP para estimular o crescimento econômico. Como parte de sua estratégia, em 2023, o primeiro-ministro YAB Dato Seri Anwar Bin Ibrahim apresentou a proposta do décimo segundo plano da Malásia para 2021-2025. Entre as principais iniciativas que contemplam o tema de ETR, destacam-se Indústria de Terras Raras de Alto Valor e Alto Volume *(Big Bold Rare Earths HGHV Industry)* e Sustentabilidade Fiscal e Sistema Financeiro *(Fiscal Sustainability and Financial System Big Bold),* que consistem na ampliação de projetos de PD&I, no fortalecimento das cadeias de valor e de instrumentos de apoio financeiro para impulsionar o crescimento sustentável (Malásia, 2023). Além disso, o governo anunciou uma política de restrição à exportação de matérias-primas de terras raras, com o objetivo de proteger a cadeia de valor doméstica, incentivar o processamento local e ampliar a captura

de valor econômico. De forma geral, o país busca avançar no mapeamento de recursos, orientar o desenvolvimento da indústria mineral e fortalecer PD&I e comercialização para promover a produção e os produtos locais de terras raras.

Economia circular

A Malásia identifica os ETR e a reciclagem avançada como setores estratégicos com impacto estrutural de longo prazo, alinhados à sua agenda de economia circular. O país já possui iniciativas voltadas à reciclagem de resíduos sólidos urbanos (RSU), incluindo a conversão em combustível derivado de resíduos (RDF), e busca expandir essa base para o desenvolvimento de indústrias de reciclagem de outros materiais de alto valor. Entre as prioridades está a estruturação de capacidades para a reciclagem de ímãs permanentes e metais de terras raras, além de outros insumos estratégicos. Para isso, o governo enfatiza a necessidade de marcos regulatórios robustos, parcerias com provedores de tecnologia, promoção de transferência tecnológica e estímulo ao investimento estrangeiro direto (FDI), com o objetivo de reduzir a dependência de matérias-primas importadas e fortalecer a autossuficiência industrial.[58]

Licenciamento ambiental

A legislação ambiental da Malásia é baseada na Lei de Qualidade Ambiental de 1974 (*Environmental Quality Act* 1974, Act 127, EQA), aplicável a todos os estados e administrada pelo Departamento de Meio Ambiente da Malásia (*Department of Environment Malaysia*, DOE), órgão vinculado ao Ministério de Recursos Naturais e Meio Ambiente. A EQA estabelece a Avaliação de Impacto Ambiental (EIA) como requisito legal para atividades definidas e listadas na Seção 34A. Além da legislação federal, os estados de Sabah e Sarawak possuem regimes próprios: o Decreto de Proteção Ambiental de 2002 *(Environment Protection Enactment 2002),* administrado pelo Departamento de Proteção Ambiental de Sabah *(Environmental Protection Department – EPD), e a* Ordenança de Recursos Naturais e Meio Ambiente de 1993 *(Natural Resources and Environment Ordinance 1993),* sob responsabilidade do Conselho de Recursos Naturais e Meio Ambiente de Sarawak *(Natural Resources and Environment Board – NREB).* Esses instrumentos exigem Avaliação de Impacto Ambiental (EIA) para atividades sob jurisdição estadual, especialmente aquelas relacionadas à exploração e ao uso de terra e recursos naturais, como água, solo, minerais e florestas.[59]

[58] https://www.mosti.gov.my/wp-content/uploads/2022/08/Pelan-Hala-Tuju-Teknologi-Bahan-Termaju-Negara-2021-2030-versi-BI.pdf

[59] https://www.doe.gov.my/wp-content/uploads/2021/08/FA-EIA-GUIDELINE-IN-MALAYSIA-1.pdf

Parcerias estratégicas

O país realiza parcerias estratégicas por meio de acordos, por exemplo, com o governo estadunidense. O Acordo de Comércio Recíproco *(Agreement on Reciprocal Trade – ART)* e os Memorandos de Entendimento sobre Cooperação em Minerais Críticos *(MoU on Critical Minerals Cooperation)* reforçam a colaboração em boas práticas regulatórias, bancos de importação/exportação, implementação de "mercados de alto padrão" e a troca de informações. Além disso, a Malásia possui uma trajetória consolidada de cooperação com a Austrália, estabelecendo parcerias de longo prazo com habilidades complementares na cadeia de valor de terras raras. Nesse contexto, destaca-se a unidade de processamento da Lynas Malaysia Sdn. Bhd. em Gebeng, Pahang, uma das maiores indústrias de processamento e refino, atuando como um elo crítico no processamento de concentrados de lantânio importados da Austrália, com capacidade anual de 22 mil toneladas de óxidos de terras raras (Aziman *et al*. 2023).

Projetos e ativos relevantes

Tabela 16. Projetos e ativos relevantes de ETR na Malásia

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
MCRE Resources Sdn. Bhd.	Upstream	mineração	Operação paralisada
Refinaria Lynas Advanced Materials Plant (LAMP)	Midstream	processamento	Estratégica para o mercado global, maior capacidade de refino de terras raras fora da China.

Fonte: Elaboração própria.

C) Países emergentes com ambição de captura de valor: Índia, Indonésia, Brasil

Índia

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

Os ETR são considerados minerais críticos pela Índia, que busca estruturar uma cadeia de valor integrada com forte controle estatal no upstream, liderado pela Indian Rare Earths Limited, e avanços graduais no midstream, ainda limitados por desafios tecnológicos na separação e refino. No downstream, o país adota políticas de incentivo à produção doméstica de ímãs permanentes, visando

reduzir a dependência externa e capturar maior valor agregado. A estratégia indiana para ETR busca segurança de suprimento, agregação de valor interno e fortalecimento da indústria nacional.

Tabela 17. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR na Índia

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação & Dissolução	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
Índia	x	x	x	x	x	x	x				

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

A Índia possui cerca de 6,9 milhões de toneladas de reservas provadas de terras raras, concentradas sobretudo em areias monazíticas nas regiões costeiras de Odisha, Kerala, Andhra Pradesh e Tamil Nadu. A exploração é rigidamente controlada pela estatal Indian Rare Earths Limited (IREL), vinculada ao Departamento de Energia Atômica, em razão da presença de tório associado aos minérios. Paralelamente, o governo avança na criação de "corredores de terras raras" para expandir a capacidade de mineração e beneficiamento, etapa que representa parcela relevante dos investimentos planejados.

Midstream

No segmento de midstream, a IREL opera plantas de extração em Odisha e unidades de refino em Kerala, com meta de elevar a capacidade de produção de óxidos de terras raras (TREO) para 5.000 a 6.000 toneladas por ano. Apesar dos avanços, o país ainda enfrenta desafios tecnológicos na separação individual dos elementos, dependendo do desenvolvimento interno de rotas como cloretação e eletrólise. Em junho de 2025, o governo determinou a suspensão da exportação de determinadas matérias-primas, como o neodímio, com o objetivo de priorizar o abastecimento doméstico e ampliar a agregação de valor interna.

Downstream

No downstream, o foco estratégico recai sobre a produção de ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro (NdFeB). Para isso, foi aprovado o Esquema para Promover a Fabricação de Ímãs Permanentes de Terras Raras Sinterizados (*Scheme to Promote Manufacturing of Sintered Rare Earth Permanent*

Magnet), que combina subsídios de capital e incentivos vinculados a vendas para viabilizar 6.000 toneladas anuais de capacidade produtiva. A estratégia prevê parcerias público-privadas para que o setor privado lidere a manufatura final, com a meta de iniciar a produção em escala até o final de 2026, consolidando uma cadeia integrada de maior valor agregado no país.

Regulação e incentivos

A Índia tem avançado na estratégia de autossuficiência em materiais críticos ao priorizar a criação de um ecossistema doméstico para ímãs permanentes de terras raras. Em novembro de 2025, o governo aprovou um programa para desenvolver capacidade integrada de produção de 6.000 toneladas por ano, cobrindo toda a cadeia de valor – de óxidos de terras raras até a fabricação de ímãs acabados. A iniciativa se articula com diretrizes estratégicas nacionais, como o Atmanirbhar Bharat, a meta climática Net Zero 2070 e a visão Viksit Bharat @2047, reforçando o posicionamento do país nas cadeias globais de materiais avançados. O Orçamento da União 2026–27 contempla a criação de corredores dedicados de terras raras em Odisha, Kerala, Andhra Pradesh e Tamil Nadu, com foco em mineração, processamento, pesquisa e manufatura. A medida busca integrar a base mineral abundante do país, que inclui cerca de 13,15 milhões de toneladas de monazita, equivalentes a aproximadamente 7,23 milhões de toneladas de óxidos de terras raras, às etapas industriais de maior valor agregado. Apesar desse potencial, a produção doméstica de ímãs ainda é incipiente, e a Índia depende majoritariamente de importações, sobretudo da China, que respondeu por 60–80% do valor e 85–90% do volume importado entre 2022 e 2025. Com a expectativa de que a demanda por ímãs permanentes de terras raras dobre até 2030, impulsionada pela mobilidade elétrica e pelas energias renováveis, o fortalecimento da capacidade interna tornou-se prioridade estratégica para reduzir vulnerabilidades e ampliar a competitividade industrial.

Economia circular

A Índia tem incorporado a economia circular como instrumento estratégico para reduzir sua elevada dependência de importações de minerais críticos, essenciais para setores como defesa, eletrônicos e energias limpas. Após a inclusão de 24 minerais estratégicos na *Emenda de 2023 à Lei de Minas e Minerais – Desenvolvimento e Regulação (Mines and Minerals Amendment Act 2023 – Development and Regulation),* o país lançou a Missão Nacional de Minerais Críticos (*National Critical Mineral Mission*), que abrange exploração doméstica, aquisição de ativos no exterior, inovação e reciclagem. Como parte da estratégia de fortalecimento da reciclagem, em 8 de setembro de 2025, o Ministério de Minas da Índia anunciou a publicação das Diretrizes do Programa de Incentivo à Reciclagem de Minerais Críticos (*Incentive Scheme for Promotion of Critical*

Mineral Recycling), com prazo para submissão de candidaturas até 1º de abril de 2026. O programa prevê a concessão de subsídios tanto para a ampliação de instalações já existentes quanto para a implantação de novas unidades voltadas à reciclagem de 27 minerais críticos previamente definidos.

Licenciamento ambiental

A Lei de Proteção Ambiental (*Environment Protection Act*) de 1986 é o principal marco da legislação ambiental da Índia, servindo de base para regulamentações setoriais e para o sistema de licenciamento e fiscalização de atividades industriais, incluindo mineração e infraestrutura. A Notificação EIA 1994 (*EIA Notification 1994*) instituiu o primeiro marco abrangente de EIA, tornando obrigatória a licença ambiental para projetos com potencial significativo de impacto, ao passo que a *EIA Notification 2006* promoveu uma reformulação do sistema ao introduzir a classificação dos empreendimentos conforme o nível de impacto com projetos de maior porte (Categoria A) sujeitos à aprovação nacional e projetos menores (Categoria B) avaliados por autoridades estaduais (SEIAA). A notificação de 2006 também tornou obrigatórias as audiências públicas, fortalecendo a participação social, e estabeleceu prazos máximos para as etapas do licenciamento, combinando descentralização administrativa com supervisão nacional, de modo a aumentar a eficiência e a previsibilidade regulatória sem comprometer o rigor ambiental.

Parcerias estratégicas

Em fevereiro de 2026, Brasil e Índia assinaram um acordo envolvendo minerais críticos e terras raras. O Memorando de Entendimento entre o Ministério de Minas do Governo da República da Índia e o Ministério de Minas e Energia do Brasil sobre Cooperação no Campo de Elementos de Terras Raras e Minerais Crítico estabelece áreas de cooperação, como nas áreas de tecnologias e reciclagem; inteligência artificial para análise de dados geocientíficos; investimentos recíprocos em exploração, mineração e infraestrutura; além de apoio à melhores práticas no setor de ETR.[60] Outras iniciativas de cooperação, como a Parceria de Investimento em Minerais Críticos Índia-Austrália (*India-Australia Critical Minerals Investment Partnership*), representam um marco importante para investir em projetos de minerais críticos. A parceria busca financiar conjuntamente a identificação de projetos e apoiar potenciais investimentos da Índia em projetos de minerais críticos australianos, contribuindo para cadeias de fornecimento de minerais críticos mutuamente benéficas (IEA, 2022; Índia, 2023).[61] A Índia também tornou-se membro da *MSP*.

60 https://www.gov.br/mme/pt-br/atos-internacionais/atos-internacionais-2025/india/2026-memorando-de-entendimento-brasil-india-sobre-cooperacao-no-campo-de-elementos-e-terras-raras-e-minerais-criticos-portugues.pdf

61 https://mines.gov.in/admin/download/642e795463fa916807673l6.pdf

Projetos e ativos relevantes

Tabela 18. Projetos e ativos relevantes de ETR na Índia

Projeto/Ativo	Elo da cadeia	Tipo de iniciativa	Relevância estratégica
IREL OSCOM (Odisha)	Upstream	Extração de minerais pesados e processamento de monazita	Ativo fundamental de upstream para abastecer toda a cadeia de valor de terras raras indiana; companhia estatal.
IREL Chavara Mineral Division (Kerala)	Upstream / Midstream	Unidade de mineração e separação de minerais pesados em areias costeiras, rica em ilmenite, rutile, zircon etc.	Ponto de abastecimento de *feedstock* mineral para processamento downstream, refino estratégico como alternativa à China; companhia estatal.
IREL Rare Earths Division (RED), Udyogamandal, Aluva	Midstream	Refino e separação	Produção de óxidos de terras raras de alta pureza. Elo do midstream relevante para estratégia nacional; companhia estatal.
Parceria BatX e Rocklink IREL (Bhopal) Attero (logística reversa REEE)	Circularidade / Midstream	Logística reversa e reciclagem de imãs	Acordo MoU para desenvolvimento de ecossistema de reciclagem de ímãs e recuperação de ETR de componentes eletrônicos.
IREL (REPM) Vishakhapatnam	Downstream	Projeto em construção para fabricação de ímãs e integração industrial.	Conexão com a cadeia automotiva e fortalecimento da manufatura doméstica; companhia estatal.

Fonte: Elaboração própria.

Indonésia

Síntese do posicionamento na cadeia de valor

A Indonésia apresenta dotação mineral em ETR, com operações ainda incipientes e concentradas no upstream, com etapas de processamento e manufatura pouco desenvolvidas. O país busca ampliar sua participação na cadeia global por meio da valorização de subprodutos minerais e do avanço em capacidades tecnológicas. O país criou uma empresa estatal para explorar minerais estratégicos, com foco em ETR, a PT Perusahaan Mineral Nacional (Perminas).

Tabela 19. Estágio de consolidação da cadeia de valor de ETR na Indonésia

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação & Dissolução	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
Índonésia	X	X	X								

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

Os elementos de terras raras ocorrem principalmente como subprodutos da mineração de estanho, bauxita e níquel laterítico, além de depósitos associados a granitos e formações de adsorção iônica. Minerais como monazita e xenotima concentram ETR, incluindo frações relevantes de terras raras pesadas. Houve identificação recente de oito blocos de mineração com elevado potencial para exploração de elementos de terras raras e outros minerais estratégicos, segundo declaração de autoridades do setor mineral. As áreas estão localizadas principalmente em regiões como Kalimantan, Sulawesi e nas ilhas Bangka-Belitung, conhecidas por já possuírem histórico de produção mineral relevante, especialmente estanho e níquel. Embora não tenham sido divulgadas estimativas de reservas, as autoridades indicaram que o potencial identificado é suficiente para permitir que o país dispute espaço com outros produtores internacionais (Reuters, 2026).[62] A exploração deverá ser conduzida por uma nova mineradora estatal, PT Perusahaan Mineral Nasional (Perminas), criada com o objetivo de fortalecer a capacidade nacional no desenvolvimento de minerais críticos e reduzir a dependência externa (Reuters, 2026).

Midstream

Em razão de desafios tecnológicos, regulatórios e ambientais, sobretudo relacionados à presença de radioatividade, as etapas de beneficiamento, separação e refino ainda são pouco desenvolvidas na Indonésia. Nesse contexto, o governo anunciou o lançamento de dois projetos de pesquisa voltados ao desenvolvimento de tecnologia de processamento de terras raras, que deverão ocorrer paralelamente às atividades de exploração mineral, com foco inicial na região de Mamuju, em Sulawesi Ocidental. A iniciativa faz parte da estratégia da

62 https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-identifies-eight-blocks-with-large-rare-earth-reserve-potential-2026-02-09/

Indonésia de ampliar sua participação na cadeia global de minerais críticos, aproveitando sua posição já consolidada como grande produtor de níquel e importante exportador de estanho, além de responder à crescente demanda global por insumos utilizados em veículos elétricos, eletrônicos, sistemas de defesa e tecnologias de energia limpa (Reuters, 2026).

Downstream

A Indonésia não possui produção de metais, ligas ou ímãs permanentes, sendo o downstream ainda incipiente.

Regulação e incentivos

Em 2025, a Indonésia promulgou a Lei nº 2/2025 (Quarta Emenda à Lei de Mineração de Minerais e Carvão – UU Minerba), representando uma ampla reforma na governança do setor mineral, com maior controle estatal e foco no fortalecimento da indústria nacional. As medidas incluem a obrigatoriedade de processamento e refino doméstico (*downstream mandate*), com proibição da exportação de minério bruto; o reforço da Obrigação de Mercado Interno (*Domestic Market Obligation,* DMO), priorizando o mercado interno; a exigência de depósito de 100% das receitas de exportação em bancos domésticos por pelo menos 12 meses; a reestruturação de *royalties* com mecanismos progressivos atrelados a preços internacionais; e a adoção de um sistema anual de aprovação de planos de trabalho, ampliando o controle sobre a oferta. O regime de concessões também foi ajustado para priorizar cooperativas, pequenas e médias empresas e entidades vinculadas a organizações religiosas ou educacionais, em alguns casos sem licitação competitiva, com participação de estatais e grandes grupos em parcerias. Adicionalmente, foi criada a Nova Agência da Indústria Mineral (*New Mineral Industry Agency*), voltada à gestão de minerais estratégicos, incluindo terras raras, com foco na extração, proteção e desenvolvimento industrial.

Economia circular

Em 2024, a Indonésia lançou sua estratégia nacional para a economia circular, o Roadmap de Economia Circular e o Plano de Ação Nacional 2025–2045 (*Circular Economy Roadmap and National Action Plan 2025–2045*). O plano estabelece diretrizes de longo prazo para orientar *stakeholders* públicos e privados na transição para uma economia circular, com ênfase na eficiência no uso de recursos, na redução da geração de resíduos e na mitigação de impactos ambientais.

Licenciamento ambiental

O marco legal ambiental da Indonésia é estabelecido pela Lei nº 32/2009, sobre Proteção e Gestão Ambiental, posteriormente alterada pela Lei nº 6/2023 (UU 6/2023), que introduziu mudanças relevantes na responsabilização por infrações ambientais (Firmansyah *et al*., 2025). A legislação exige que atividades potencialmente poluidoras obtenham previamente instrumentos como AMDAL (avaliação de impacto ambiental), UKL-UPL (gestão e monitoramento ambiental) e licenças para gestão e descarte de resíduos, sendo que, originalmente, o descumprimento dessas obrigações configurava crime automático; com a reforma de 2023, essa caracterização passou a depender da comprovação de dano ambiental efetivo, reduzindo o caráter preventivo do licenciamento e exigindo prova técnica para responsabilização (Ramdan, 2025; Firmansyah *et al*., 2025). A mineração na Indonésia, especialmente de níquel, está associada a elevados custos socioambientais, incluindo desmatamento significativo, contaminação hídrica, perda dos meios de subsistência e conflitos sociais, com impactos particularmente intensos em regiões como Sulawesi e Halmahera (Nasution et al., 2024). Em um contexto de Estado unitário descentralizado, no qual o governo central define as normas gerais e os entes subnacionais atuam na implementação, o país também tem avançado em instrumentos específicos, como o regulamento de 2022 para tratamento de águas residuais da mineração por zonas úmidas construídas (*Constructed Wetland Technology for Mining Wastewater*), que estabelece requisitos técnicos para reduzir a carga de poluentes e promover práticas mais sustentáveis na gestão hídrica do setor(IEA, 2025).

Parcerias estratégicas

A Indonésia está expandindo suas parcerias estratégicas com países como os Estados Unidos e o Brasil. A cooperação em torno da agenda de terras raras reflete um compromisso compartilhado que busca fortalecer a integração upstream-downstream, gerar empregos, benefícios econômicos e construir uma cadeia de suprimentos resiliente no país. Recentemente, a Indonésia e os EUA finalizaram o Acordo de Comércio Recíproco (*Agreement on Reciprocal Trade,* ART), que facilita a cooperação empresarial entre investidores dos EUA e empresas indonésias supervisionadas pelo fundo soberano Danantara.[63] Além disso, o país está concentrando discussões com parceiros como Austrália, Canadá e Japão para ajudar a construir uma cadeia de suprimentos doméstica para ímãs, tentando reduzir sua dependência das tecnologias de processamento chinesas (Wealthion, 2026). O *MoU* assinado com o governo australiano objetiva impulsionar investimentos no setor, colaborar na adoção de práticas de

63 https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/2025/10/agreement-between-the-united-states-of-america-and-malaysia-on-reciprocal-trade/

mineração sustentáveis e desenvolver habilidades técnicas por meio de educação e treinamento.[64] O fortalecimento dos laços com o governo brasileiro através do Plano de Ação Revitalizado da Parceria Estratégica 2023-2026 também poderá promover cooperação técnica, intercâmbio de conhecimentos, capacitação, transferência de tecnologia e o diálogo sobre cooperação em minerais críticos.[65]

Projetos e ativos relevantes

Atualmente a Indonésia não possui projetos e ativos operacionais para os ETR.

D) Conclusões do *benchmarking* internacional

Tabela 20. Perfil comparativo dos países selecionados

País/Bloco	Principal força	Principal gargalo	Elo mais competitivo	Instrumento de destaque	Lição principal para o Brasil
China	Integração completa da cadeia	Pressão geopolítica e ambiental	Todos	Coordenação estatal e escala	Integração entre mineração, processamento e indústria
EUA	Política industrial e financiamento	Dependência de etapas ainda incompletas	Midstream/downstream em construção	Compras públicas, EO 14017, Project Vault	Usar instrumentos de redução de risco
Austrália	Base mineral e apoio estatal	Menor densidade downstream	Upstream	*Tax incentives* e *funding facilities*	Sair da lógica de exportador primário
UE	Capacidade industrial e reciclagem	Baixa base mineral própria	Midstream/ downstream	CRMA e política industrial	Combinar regulação, inovação e reciclagem
Canadá	Governança e coordenação	Escala industrial ainda limitada	Upstream/ midstream potencial	*One project, one review*	Coordenação regulatória e infraestrutura
Índia	Reservas e foco em ímãs	Gargalos tecnológicos	Upstream	Subsídios para ímãs	Priorizar nichos industriais específicos
Malásia	Processamento e posição regional	Restrições sociais e ambientais	Midstream	Política de retenção de valor	Aproveitar processamento mesmo sem dominar toda a cadeia

64 https://www.dfat.gov.au/sites/default/files/iacepa-mou-indonesia-aus-skills-development-exchange-pilot-project.pdf

65 https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/comunicado-conjunto-progresso-da-parceria-estrategica-brasil2013indonesia

Indonésia	Política agressiva de internalização	Base tecnológica limitada	Upstream emergente	Proibição de exportação bruta	Política industrial precisa vir com capacidade técnica
Brasil	Potencial geológico e institucionalidade em formação	Baixa capacidade midstream/ downstream	Upstream potencial	Estratégias e financiamento em construção	Foco em separação, refino e magnetos

Fonte: Elaboração própria.

A análise comparativa indica que a competição com a China na cadeia de terras raras não se dá de forma homogênea entre países nem entre elos produtivos. A China permanece como único ator plenamente integrado do upstream ao downstream, combinando escala mineral, domínio tecnológico, capacidade de separação e refino, manufatura de ímãs e articulação industrial. Em resposta, os demais países têm adotado estratégias seletivas. Austrália e Canadá buscam fortalecer o upstream e avançar no midstream; Estados Unidos e União Europeia concentram esforços na reindustrialização, no refino, na manufatura e na reciclagem; Índia, Malásia e Indonésia procuram internalizar valor por meio de políticas industriais e maior controle sobre recursos estratégicos.

Para o Brasil, a principal lição do *benchmarking* é que a vantagem geológica, embora necessária, não é suficiente. Os países mais bem posicionados para competir com a produção chinesa são justamente aqueles que combinam recursos minerais com instrumentos de financiamento, coordenação institucional, previsibilidade regulatória, apoio ao processamento, estímulo à inovação e conexão com a demanda industrial. Nesse sentido, a oportunidade brasileira não está apenas em ampliar a extração mineral, mas em construir capacidade progressiva nos elos de separação, refino, reciclagem e, seletivamente, manufatura de produtos de maior valor agregado.

Dessa forma, o *benchmarking* sugere que a estratégia nacional de terras raras do Brasil deve priorizar:

i) a formação de capacidades no midstream, onde se concentra o principal gargalo global fora da China;

ii) o uso de instrumentos públicos de redução de risco para viabilizar projetos estratégicos;

iii) a articulação entre geologia, indústria, ciência e financiamento;

iv) a construção de parcerias internacionais voltadas não apenas à exportação de concentrados, mas ao desenvolvimento conjunto de capacidades tecnológicas e industriais.

Interconexões e complementaridades nas cadeias de valor globais

A tabela a seguir resume os resultados preliminares do mapeamento da participação nas cadeias de valor, comparando o caso brasileiro com os demais países selecionados pelo estudo. A China possui todas as etapas da cadeia integradas, exercendo posição dominante no mercado internacional de terras raras. Austrália e Canadá são nações com forte vocação minerária, parcerias estabelecidas e investimentos voltados ao adensamento das cadeias de minerais críticos e estratégicos. Apesar disso, o Canadá enfrenta desafios de financiamento e infraestrutura que impedem o desenvolvimento de seu potencial, por isso não possui projetos de escala industrial em andamento. Nesse contexto, o governo tem desenvolvido políticas e instrumentos para acelerar o avanço da cadeia de valor. Os Estados Unidos também possuem reservas de terras raras e têm ampliado investimentos para retomar protagonismo tanto no upstream quanto nas etapas subsequentes, com forte atuação governamental na articulação dos diferentes elos da cadeia, por meio de investimentos públicos e parcerias estratégicas. Europa e Reino Unido buscam diversificar o suprimento de ETR para garantir a segurança de matéria-prima para as etapas de downstream, avançando em parcerias internacionais e em investimentos financiados por instrumentos comunitários e nacionais, em lógica de complementaridade com os EUA e o Canadá. Cabe ressaltar a relação de complementaridade entre a mineração de ETR na Austrália e o processamento na Malásia, que se consolidou como um importante polo internacional de processamento (*hub*), inclusive em função de restrições regulatórias no upstream em outros países.

Há, assim, uma complementaridade do ponto de vista do adensamento das cadeias de valor de terras raras: de um lado países e/ou blocos com grandes produtores dos elos do downstream investindo esforços em parcerias e financiamento de atividades intermediárias; por outro lado, há um grupo de países com potencial mineral significativo, como o Brasil, os quais dão os primeiros passos no desenvolvimento do processamento intermediário.

Essa dinâmica aponta para o aumento da chance de integração às cadeias globais de processamento e beneficiamento, impulsionando uma transformação estratégica nas próximas décadas. Abaixo segue um quadro-resumo, contendo as etapas identificadas nos elos da cadeia de valor de terras raras para os países selecionados.

Tabela 21. Etapas da cadeia de valor para os países abordados

Etapas da cadeia de valor	Upstream			Midstream					Downstream		
	Ocorrências / depósitos relevantes	Mineração & Extração	Beneficiamento Concentração	Abertura química/Lixiviação &	Purificação & Precipitação	Separação & Refino	Óxido → Metal	Metal → Liga	Liga → Ímã	Produtos manufaturados	Reciclagem
Austrália	X	X	X								
Canadá	X										
China	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
EUA	X	X	X						X	X	
Índia	X	X	X	X	X	X	X				
Índonésia	X										
Malásia	X			X	X	X	X	X			
União Europeia / Reino Unido	X			X	X	X	X	X	X	X	X
Brasil	X	X	X								

Fonte: Elaboração própria.

Considerações finais

Ao avaliar diferentes regulações, estratégias e acordos internacionais voltados para o fortalecimento do setor de terras raras, observa-se que cada país estabelece diretrizes e instrumentos de políticas públicas alinhados aos seus interesses nacionais. De modo geral, os esforços concentram-se na diversificação da cadeia de suprimentos; na garantia da soberania nacional; no desenvolvimento industrial; em incentivos à inovação, pesquisa e desenvolvimento; bem como na ampliação da competitividade e ganho de valor econômico.

Apesar do cenário internacional estar atualmente marcado por instabilidades geopolíticas, os países demonstram uma interdependência estratégica na agenda de minerais críticos como terras raras, ainda que orientados por interesses e motivações nacionais. Isso porque a elevada concentração da cadeia de valor das terras raras em um único país impõe uma percepção de riscos compartilhados,

tais como desabastecimento, dependência externa e vulnerabilidade geopolítica. Ainda assim, os países apresentam diferentes níveis de desenvolvimento em termos de maturidade da cadeia de valor, disponibilidade de informações, avanços em economia circular, consolidação de normas ambientais e sociais, bem como capacidades em mobilizar recursos para atingir seus objetivos estratégicos e climáticos.

Para além da China, países como Austrália e Estados Unidos têm tido um desempenho consistente e estruturado na elaboração de estratégias para o setor de terras raras. Tal desempenho reside no fato de que direcionam investimentos relevantes públicos e privados em pesquisa e inovação, acordos com fornecedores confiáveis de suprimentos, enquanto, ao mesmo tempo, mantêm relações cooperativas com aliados que possuem competências complementares em diferentes etapas da cadeia, a fim de compartilhar informações, investimentos mútuos, técnicas, tecnologias e capacitação.

3. Diagnóstico do setor de terras raras no Brasil

O Brasil ocupa uma posição promissora no contexto mundial de terras raras, porém ainda com oportunidades subaproveitadas. Apesar de dispor de ativos geológicos expressivos, ter iniciado a produção primária e possuir projetos que podem sustentar expansão futura, o Brasil ainda está concentrado nos elos iniciais da cadeia, com gargalos relevantes em conhecimento geológico detalhado, tecnologia de separação e refino, financiamento, licenciamento, infraestrutura e coordenação institucional.

O caráter estratégico do momento decorre da combinação entre o crescimento estrutural da demanda global por produtos derivados dos ETR, impulsionado pela necessidade de diversificação geopolítica das cadeias de fornecimento, e a emergência de uma base produtiva doméstica capaz de servir como plataforma para a verticalização.

A questão central, portanto, é se o Brasil será capaz de transformar o seu potencial em capacidade industrial, tecnológica e geoeconômica. Nesse sentido, esta seção busca identificar as oportunidades para desenvolvimento de cadeias de valor de terras raras no Brasil, desde a exploração mineral até aplicações industriais de alta tecnologia, embasado em experiências internacionais relevantes e potenciais parcerias estratégicas. O diagnóstico aponta o potencial de processamento intermediário e avançado no território nacional, os setores industriais prioritários (energia renovável, mobilidade elétrica, semicondutores, defesa e saúde) e os principais vetores para uma estratégia nacional de tecnologias críticas, inovação e pesquisa aplicada.

3.1. Visão geral do setor de terras raras no Brasil

O Brasil reúne condições favoráveis para ampliar sua relevância na cadeia global de valor de terras raras combinando base geológica expressiva, carteira crescente de projetos, capacidades científicas e tecnológicas instaladas e maior atenção governamental ao tema em um contexto internacional marcado pela crescente demanda por insumos críticos para a transição energética, a digitalização, a defesa e a reorganização geopolítica das cadeias de suprimento.[66]

Apesar dessas condições, a posição atual do Brasil no setor ainda é incipiente quando observada sob a ótica da cadeia de valor. O país começa a retomar presença no elo de mineração (com a produção concentrada em apenas uma mina em 2026), mas ainda apresenta capacidade limitada nas etapas intermediárias e finais, especialmente em separação química, refino, metalurgia, produção de ligas e fabricação de ímãs permanentes. Em termos gerais, trata-se

[66] CEBRI. (2025). *Relatório técnico: O papel do Brasil na agenda global de minerais críticos e estratégicos: Demanda projetada e contribuição possível do Brasil na transição energética* (1. ed.). Centro Brasileiro de Relações Internacionais - CEBRI.

de uma estrutura ainda concentrada no upstream, com iniciativas promissoras em midstream e downstream, mas sem adensamento industrial suficiente para capturar, em escala, os segmentos de maior valor agregado.

Esse descompasso entre potencial geológico e densidade industrial é o principal traço do diagnóstico brasileiro. De um lado, o país dispõe de recursos minerais relevantes, de uma carteira de projetos em expansão e de ativos tecnológicos e vantagens competitivas que indicam capacidade de avanço. De outro, ainda enfrenta limitações estruturais para converter esses ativos em produção industrial, inovação aplicada e inserção estratégica em cadeias globais mais sofisticadas. Assim, o desafio brasileiro está, além de ampliar a produção mineral, em criar condições para internalizar etapas críticas da cadeia e reduzir a distância entre dotação de recursos e capacidade de transformação.

A retomada recente da produção comercial de terras raras representa, nesse sentido, uma inflexão importante. Ela sinaliza que o Brasil deixou de ocupar apenas o lugar de promessa geológica e voltou a registrar avanços concretos na estruturação do setor. Ao mesmo tempo, o estágio atual ainda é inicial: a produção doméstica permanece limitada, os elos industriais mais complexos continuam pouco desenvolvidos e a inserção internacional brasileira se concentra em materiais de menor valor agregado, enquanto produtos processados e manufaturados seguem majoritariamente externos à base produtiva nacional.

Entre os principais ativos do país, destacam-se, em primeiro lugar, sua diversidade geológica e a presença de diferentes tipos de ocorrências com potencial econômico (Silva et al., 2024).[67] Em segundo lugar, observa-se o avanço de projetos em distintos estágios de maturação, o que sugere maior dinamismo do setor e crescente interesse empresarial. Em terceiro lugar, o Brasil conta com competências científicas e tecnológicas acumuladas em universidades, institutos de pesquisa e centros de inovação, incluindo experiências em geologia, separação química, metalurgia e prototipagem de materiais. Por fim, há um ambiente institucional em evolução, com maior presença do tema dos minerais críticos e estratégicos nas agendas mineral, industrial, tecnológica e de financiamento.

Esses ativos, contudo, coexistem com gargalos relevantes. O primeiro deles é a baixa densidade industrial da cadeia, que limita a capacidade do país de agregar valor domesticamente. O segundo é a dificuldade de transpor o estágio laboratorial e piloto para escalas de demonstração e produção industrial, o que reduz a velocidade de amadurecimento tecnológico. Persistem ainda desafios em infraestrutura e logística, financiamento, previsibilidade regulatória, coordenação institucional, desenvolvimento de mercado e articulação entre mineração, transformação industrial e demanda final. Além disso, o avanço do setor exigirá

[67] Serviço Geológico do Brasil. (2024). *Panorama do potencial do Brasil para minerais críticos e estratégicos*.

tratamento cuidadoso de questões socioambientais, territoriais e regulatórias, ainda mais quando houver associação com minerais radioativos ou incidência sobre territórios sensíveis.

A fragilidade brasileira nas etapas de separação, refino e transformação decorre da complexidade tecnológica desses processos, mas também pesa, de forma decisiva, a ausência de um ambiente econômico-regulatório compatível com a natureza intensiva em capital, risco tecnológico e maturação prolongada típica dessas atividades. Em particular, a elevada incidência tributária sobre CAPEX industrial, os custos de importação de insumos e equipamentos, a dificuldade de internalização de tecnologia estrangeira e a ausência de instrumentos específicos de mitigação de risco limitam a viabilidade de projetos de midstream. Isso sugere que o avanço da cadeia exigirá não apenas domínio técnico, mas também um arranjo de incentivos voltado à transformação mineral.

O momento atual é particularmente estratégico porque combina uma janela externa e uma janela interna de oportunidade. No plano internacional, a concentração da cadeia global, sobretudo no processamento, tem levado diferentes países a buscar diversificação de suprimentos e novos parceiros capazes de contribuir para cadeias mais resilientes. No plano doméstico, o Brasil reúne hoje um conjunto mais favorável de fatores do que em momentos anteriores: projetos em maturação, produção retomada, competências técnico-científicas acumuladas e maior mobilização de políticas públicas e instrumentos de apoio. Em conjunto, esses elementos indicam que o setor atravessa um ponto de inflexão.

Dessa forma, o diagnóstico geral é o de um país com forte potencial de reposicionamento, mas ainda em fase inicial de estruturação de uma cadeia de valor mais completa e competitiva. O Brasil já dispõe de bases concretas para avançar, mas ainda não consolidou os elos industriais e tecnológicos necessários para se posicionar de forma robusta nos segmentos de maior valor agregado. **É na transição da vantagem geológica para a competitividade industrial que se concentra o núcleo do desafio brasileiro em terras raras.**

3.2. Base de recursos: potencial geológico, reservas e projetos em desenvolvimento

A base de recursos de ETR no Brasil constitui um dos principais fundamentos para o reposicionamento do país nesse setor. O território brasileiro reúne ocorrências geológicas diversificadas, distribuídas em diferentes províncias minerais e associadas a múltiplos tipos de depósitos, o que amplia o leque de possibilidades para o desenvolvimento de projetos de exploração e aproveitamento econômico. Observa-se, nos últimos anos, um crescimento do interesse empresarial e dos investimentos em pesquisa mineral, refletido tanto na ampliação da carteira de

projetos quanto no aumento do número de autorizações de pesquisa e da mobilização de capital exploratório. Esta seção apresenta os principais elementos da base geológica brasileira, a distribuição territorial dos recursos e reservas e o estágio atual dos projetos mais relevantes em desenvolvimento.

Potencial geológico e tipos de depósitos

O Brasil apresenta uma base geológica particularmente favorável ao desenvolvimento do setor de terras raras, tanto pela extensão territorial quanto pela diversidade de ambientes geológicos capazes de concentrar esses elementos em condições economicamente viáveis. O ponto central não é a mera ocorrência de terras raras na crosta terrestre, mas sim a existência de depósitos com teor, mineralogia e condições de extração compatíveis com exploração econômica. Nesse aspecto, o país reúne atributos diferenciados.

A explicação geológica para esse potencial está associada a duas características estruturais do território brasileiro. A primeira é sua grande extensão territorial, que amplia a variedade de contextos geológicos e de processos mineralizantes. A segunda é a antiguidade geológica de boa parte do território nacional, constituído por crátons e blocos rochosos antigos, o que favoreceu, ao longo do tempo geológico, processos naturais de alteração, concentração e redistribuição mineral. Em termos práticos, isso permitiu a formação de depósitos com bons teores e, em alguns casos, com rotas de extração mais facilitadas e, portanto, potencialmente de menor custo.

Ademais, o potencial se manifesta por diferentes mecanismos naturais de concentração. Em certos casos, como em ambientes vulcânicos antigos, a combinação entre estrutura geológica, intemperismo, lixiviação e retenção topográfica teria favorecido a formação de depósitos argilosos concentrados. Em outros contextos, como nas áreas de areias monazíticas do Nordeste, a ação prolongada do intemperismo, da gravidade, da água e dos processos sedimentares teria contribuído para a concentração de minerais pesados em ambientes favoráveis. A mesma lógica de concentração por longa evolução geológica aparece, segundo a base fornecida, em diferentes regiões do país, inclusive em Goiás, Minas Gerais e no Nordeste.

De forma mais específica, as ocorrências de ETR no Brasil estão associadas, predominantemente, a três grandes contextos geológicos. O primeiro corresponde aos complexos alcalino-carbonatíticos, que concentram parte importante do potencial nacional e incluem ocorrências em áreas como Poços de Caldas (Minas Gerais), Araxá (Minas Gerais), Catalão (Goiás), Tapira (Minas Gerais) e Seis Lagos (Amazonas). O segundo compreende os mantos de intemperismo desenvolvidos sobre rochas graníticas, com destaque para depósitos do tipo argilas de adsorção iônica, como os identificados em Pela Ema (Goiás), Bluebush

(Tocantins), Iporá (Goiás), Capão Bonito (São Paulo) e Pitinga (Amazonas). O terceiro engloba depósitos sedimentares, como os registrados em Itapemirim (Espírito Santo) e São Francisco do Itabapoana (Rio de Janeiro).

Essa diversidade de contextos geológicos é relevante por duas razões: em primeiro lugar, ela indica que o potencial brasileiro não está concentrado em um único tipo de mineralização, o que pode reduzir a dependência de um único modelo de exploração. Em segundo, diferentes tipos de depósitos tendem a apresentar perfis distintos em termos de composição mineralógica, teores, viabilidade econômica, desafios ambientais e rota tecnológica de aproveitamento, o que amplia as possibilidades de especialização produtiva no médio e longo prazo.

Além das ocorrências primárias, os ETR no Brasil também aparecem associados a outras cadeias minerais. Como esses elementos raramente ocorrem isoladamente, sua presença pode ser observada como coproduto ou subproduto em sistemas minerais já economicamente explorados, como os de nióbio, estanho e bauxita. Em depósitos de nióbio, como os de Araxá (MG), há concentrações relevantes de terras raras leves, especialmente cério, lantânio e neodímio. Em depósitos de estanho associados à cassiterita, por sua vez, podem ocorrer minerais portadores de ETR, como xenotima e monazita. Também depósitos de bauxita e seus resíduos de processamento, em especial a lama vermelha, vêm sendo considerados como fontes potenciais para recuperação desses elementos.

Essa configuração abre espaço para duas frentes complementares de desenvolvimento da base de recursos. A primeira é a produção primária, a partir de depósitos dedicados de terras raras. A segunda envolve o avanço de estratégias de aproveitamento de coprodutos e fontes secundárias, incluindo rejeitos, resíduos minerais e materiais já mobilizados por outras atividades extrativas. Embora essas rotas dependam de avaliação técnico-econômica e de desenvolvimento tecnológico específico, elas ampliam o horizonte de aproveitamento dos recursos e podem contribuir para maior eficiência no uso da base mineral do país.

Tabela 22. Depósito de ETR no Brasil e suas características

Tipo de depósito	Exemplos de ocorrência	Características gerais
Complexos alcalino-carbonatíticos	Poços de Caldas, Araxá, Catalão, Tapira, Seis Lagos	Ocorrências relevantes, associadas a sistemas minerais complexos
Argilas de adsorção iônica / mantos de intemperismo	Pela Ema, Bluebush, Iporá, Capão Bonito, Pitinga	Destaque recente no *pipeline* nacional

Depósitos sedimentares	Itapemirim, São Francisco do Itabapoana	Potencial específico, com menor presença no *pipeline* atual
Fontes secundárias e coprodutos	nióbio, estanho, bauxita, lama vermelha, rejeitos	Potencial complementar, dependente de viabilidade técnica e econômica

Fonte: Elaboração própria.

Recursos, reservas e distribuição territorial

A base de recursos e reservas de terras raras no Brasil deve ser compreendida a partir de duas dimensões complementares. A primeira é a existência de um conjunto relevante de depósitos e projetos já identificados, distribuídos em diferentes estados e associados a distintas tipologias geológicas. A segunda é a necessidade de cautela metodológica na comparação entre números agregados de reservas ou recursos divulgados em consolidações amplas e os volumes efetivamente suportados por projetos específicos com maior grau de maturidade técnica.

Do ponto de vista territorial, a distribuição dos ativos é ampla e reforça o caráter nacional do potencial brasileiro, como os projetos e ocorrências existentes em Goiás, Minas Gerais, Bahia, Amazonas e também no Nordeste, com referência a estados como Paraíba e Rio Grande do Norte. Essa dispersão territorial é coerente com a diversidade geológica anteriormente apontada e sugere que o país dispõe de diferentes polos potenciais de desenvolvimento, e não de uma concentração absoluta em uma única província mineral.

No Centro-Oeste e Sudeste, ganham destaque os depósitos associados a argilas iônicas e a contextos geológicos específicos, como os de Goiás e Poços de Caldas. Em Minas Gerais, além dos projetos dedicados, aparecem também ativos em que as terras raras podem estar associadas a operações de outras cadeias minerais, como no caso de Araxá. No Norte, a mina de Pitinga é mencionada como exemplo de ativo onde as terras raras podem surgir como componente secundário em uma operação mineral mais ampla. No Nordeste, por sua vez, as areias monazíticas e outras ocorrências relacionadas a processos sedimentares antigos reforçam a amplitude da base territorial brasileira.

Em termos quantitativos, as fontes informacionais podem ser vistas de duas formas. A primeira relaciona grandes números agregados frequentemente atribuídos ao Brasil derivados de compilações internacionais. A segunda se origina do somatório dos recursos identificados e tecnicamente descritos nos principais projetos em desenvolvimento. Adicionalmente, as informações consolidadas em bases internacionais podem derivar de dados declarados à ANM pelos próprios empreendedores, os quais não necessariamente seguem, em todos os casos, o mesmo grau de rigor estatístico, geológico e econômico dos

estudos técnicos mais maduros. Assim, a comparação entre o número agregado nacional e a base efetivamente suportada por projetos com maior detalhamento deve ser feita com cautela.

Essa observação é relevante porque evita duas leituras equivocadas: subestimar o Brasil, ignorando a robustez de sua base geológica; e superestimar a conversibilidade imediata de todo o volume teórico em produção economicamente viável. Em termos de política pública e estratégia setorial, o mais adequado é reconhecer que o Brasil dispõe de uma base promissora e diversificada, mas que a qualidade da informação geológica, o estágio dos estudos e o avanço dos projetos ainda são fatores decisivos para transformar potencial em oferta efetiva.

Além dos depósitos primários mais conhecidos, a distribuição de recursos deve considerar também ativos "ocultos" ou parcialmente capturados em outras cadeias minerais. A base destaca a existência de terras raras como componentes secundários em depósitos ou rejeitos relacionados a alumínio, nióbio, fosfato, estanho e concentrados polimetálicos, assim como extração de areia monazítica não mapeada sob este tipo de atividade. Esse ponto é particularmente relevante porque amplia a noção de base de recursos para além dos projetos dedicados. Em outras palavras, parte do potencial brasileiro pode estar distribuída em fluxos minerais já existentes, mas ainda subidentificados, subespecificados ou subvalorizados economicamente.

Um exemplo recente que ilustra como depósitos originalmente explorados para alumínio podem adquirir nova relevância estratégica diante da crescente demanda global por minerais críticos e estratégicos envolve áreas minerárias localizadas no Sul de Minas Gerais exploradas pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA). Após o exaurimento das jazidas de bauxita, a empresa havia solicitado, em 2022, a renúncia aos títulos minerários. Contudo, estudos posteriores identificaram potencial associado a terras raras nas mesmas áreas, levando a empresa a solicitar a manutenção dos direitos minerários, o que foi autorizado pela Agência Nacional de Mineração (ANM) em 2025. Posteriormente, em 2026, a Votorantim concluiu a venda da CBA para uma joint venture formada pela estatal chinesa Chinalco e pela australiana Rio Tinto, uma indicação do crescente interesse internacional por ativos minerais brasileiros associados à cadeia de terras raras. Cabe ressaltar que os principais depósitos brasileiros de bauxita são de origem laterítica, diferentemente dos depósitos de bauxita cárstica encontrados em regiões da Europa, China e parte do cinturão Mediterrâneo-Tétis.

O Brasil é frequentemente apontado entre os países com maior dotação de terras raras em escala global, o que lhe confere relevância potencial no contexto de reconfiguração das cadeias internacionais de suprimento. No entanto, a transformação dessa vantagem geológica em capacidade produtiva depende do

grau de conhecimento geológico disponível, da conversão de ocorrências em reservas economicamente aproveitáveis e da maturação dos projetos ao longo do tempo.

A distribuição territorial das ocorrências e projetos de ETR no Brasil revela maior concentração em alguns estados, com destaque para Goiás, Minas Gerais, Amazonas, Tocantins, São Paulo, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Goiás e Minas Gerais se destacam particularmente por concentrarem projetos em estágios mais avançados de desenvolvimento, além de reunirem parte importante das ocorrências associadas tanto a argilas de adsorção iônica quanto a complexos alcalinos. Já a região Norte se sobressai pelo potencial geológico ainda subexplorado em algumas áreas, embora frequentemente associado a maiores desafios logísticos e de infraestrutura.

O avanço recente da atividade exploratória reforça o interesse crescente na base de recursos brasileira. Em 2024, segundo dados da Declaração de Investimentos em Pesquisa Mineral (DIPEM-ANM), os investimentos em pesquisa mineral relacionados a ETR alcançaram R$ 89,9 milhões, aumento de 35% em relação ao ano anterior. A distribuição desses investimentos mostrou forte concentração na Bahia, seguida por Minas Gerais e Goiás, com alocação predominante em sondagens, infraestrutura de apoio, geologia e análises químicas. Esse movimento sugere não apenas ampliação do esforço exploratório, mas também maior sofisticação das etapas de avaliação de depósitos.

De forma complementar, dados do Sistema Cadastro Mineiro da Agência Nacional de Mineração indicaram expressivo aumento no número de novos alvarás de autorização de pesquisa em 2024 para ETR e monazita, com destaque para Bahia, Minas Gerais e Goiás. Embora o aumento de autorizações não se traduza automaticamente em novos empreendimentos viáveis, ele sinaliza uma expansão da carteira de áreas de interesse e um ambiente de maior dinamismo no setor. Cabe ressaltar que a substância indicada no Cadastro Mineiro pode não refletir integralmente o potencial da área, em função de possíveis inconsistências cadastrais ou da evolução do conhecimento geológico ao longo da pesquisa, que pode levar à identificação de novas substâncias, como ETR.

A Figura 9, com a localização dos principais depósitos e a tabela sintética de ocorrências e projetos apresentada a seguir, permite visualizar a amplitude territorial dessa base de recursos e a diversidade de contextos geológicos associados ao desenvolvimento do setor no país.

Figura 9. Mapa com localização dos principais depósitos de ETR



Fonte: CEBRI, 2025

Projetos em desenvolvimento

A carteira de projetos de terras raras no Brasil encontra-se em fase de expansão, com empreendimentos em diferentes estágios de maturação, desde pesquisa mineral até implantação e início de operação. Ainda que o país conte, no momento, com número limitado de projetos em fase mais avançada, observa-se uma mudança de patamar em relação aos anos anteriores, marcada por maior mobilização de capital, evolução dos estudos geológicos e avanço de iniciativas empresariais voltadas à produção de ETR.

Entre os empreendimentos em estágio mais avançado, destaca-se o Projeto Pela Ema, em Minaçu (Goiás), operado pela Serra Verde Mineração, primeiro no país a produzir ETR a partir de argilas de adsorção iônica. Na fase inicial, o projeto prevê capacidade de produção de 5.000 toneladas anuais de óxidos totais de terras raras (TREO), com reservas publicadas da ordem de 300 milhões de toneladas de argilas e teor médio aproximado de 0,15% de ETR mais ítrio. A entrada em operação desse projeto representa marco relevante para o setor no Brasil, ao materializar a retomada da produção comercial e demonstrar a viabilidade de um modelo baseado em argilas iônicas (DBO Engenharia Ambiental, 2018).[68]

[68] DBO Engenharia Ambiental. (2018). Mineração de terras raras em Minaçu, Goiás (Serra Verde): Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em:

Além da Serra Verde, outros projetos vêm avançando em diferentes regiões e estágios. Entre eles, destacam-se iniciativas associadas ao planalto de Poços de Caldas (Minas Gerais) e a novas frentes de exploração em Goiás e Minas Gerais. Empresas como Meteoric, Aclara, Viridis, Appia e Atlas Critical Minerals, entre outras, compõem um conjunto de projetos em fase de pesquisa, licenciamento ou estruturação, ampliando o *pipeline* nacional de terras raras. Em alguns casos, os avanços já incluem testes de processamento em escala-piloto e a produção de materiais intermediários, indicando movimento inicial de aproximação entre exploração mineral e etapas subsequentes da cadeia.

De modo geral, a carteira brasileira apresenta hoje três características principais:

1. Predominância de projetos ainda em estágio pré-operacional, o que indica que grande parte do potencial do país ainda depende de comprovação geológica, licenciamento, estruturação financeira e amadurecimento técnico;
2. Relevância crescente dos depósitos de argilas de adsorção iônica, que vêm ganhando centralidade no pipeline nacional;
3. Distribuição territorial relativamente concentrada em poucos estados, sobretudo Goiás e Minas Gerais, despontam como os principais polos emergentes do setor.

Em conjunto, esses fatores mostram que o Brasil já dispõe de base geológica robusta e de uma carteira de projetos em consolidação, mas ainda se encontra em fase de construção de escala produtiva. O potencial existente é significativo, porém sua conversão em produção sustentada e competitiva dependerá da evolução dos projetos hoje em maturação, além de outros fatores como o ambiente institucional, regulatório, tecnológico e financeiro, que será discutido nas seções seguintes.

Tabela 23. Síntese dos principais projetos de ETR em desenvolvimento no Brasil

Projeto / Empresa / Capital predominante	Localização	Projeto	Tipo de depósito	Estágio geral	Recurso (Mt)
Serra Verde (EUA)	Minaçu (GO)	Pela Ema	argilas de adsorção iônica	operação / expansão	911
Meteoric (Austrália)	Poços de Caldas (MG)	Caldeira	argilas de adsorção iônica	licenciamento / piloto	1.497
Aclara (Canadá)	Goiás	Carina	argilas de adsorção iônica	licenciamento / piloto	298

https://www.dfc.gov/sites/default/files/esia/2025/serraverde/Project/05_Local%20Language%20Summary%20of%20ESIA%20(RIMA)_508.pdf

Viridis (Austrália)	Minas Gerais / Goiás	Colossus	argilas de adsorção iônica	licenciamento / piloto	493
Brazilian Critical Minerals (Austrália)	Apuí (AM)	Ema	argilas de adsorção iônica	pesquisa e desenvolvimento	341

Fontes: Elaboração própria a partir de entrevistas e relatórios especializados.[69]

Tabela 24. Status de projetos das empresas brasileiras de terras raras

Empresas/Etapas	Depósito confirmado	Recurso mineral	Reserva mineral	Avaliação econômica preliminar (PEA/ Scoping Study)	Estudo de pré-viabilidade (PFS)	Estudo de viabilidade definitivo (FS ou BFS)	Licença Prévia / Instalação / Operação	Planta Piloto	Operação
Serra Verde	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Meteoric Resources	x	x	x	x	x		x	x	
Aclara Resources	x	x	x	x	x	x		x	
Viridis Mining	x	x	x	x	x		x		
Brazilian Critical Minerals	x	x		x					
St George Mining	x	x							
Appia Rare Earth &	x	x							
Brazilian Rare Earths	x	x							

Fonte: Elaboração própria.

3.3. Diagnóstico da cadeia de valor de terras raras no Brasil

A análise da cadeia de valor de terras raras no Brasil indica um setor em transição com avanços concretos em mineração, desenvolvimento tecnológico e articulação institucional. Ainda assim, a cadeia permanece pouco adensada e marcada por forte assimetria entre seus elos. Enquanto o upstream mostra progressos mais tangíveis, os segmentos de midstream e downstream ainda apresentam baixa maturidade industrial, com iniciativas concentradas em escala laboratorial, piloto ou demonstrativa. No campo da circularidade, embora existam sinais promissores, o desenvolvimento ainda é incipiente e depende da consolidação de bases tecnológicas, regulatórias e de mercado.

Esse padrão revela a principal característica do setor brasileiro no momento atual: há uma combinação de ativos geológicos, científicos e institucionais relevantes, mas ainda sem integração suficiente para sustentar uma cadeia nacional completa, da extração à transformação industrial. Em termos práticos, isso significa que o Brasil avançou na reativação do elo mineral e começa a formar capacidades nas etapas subsequentes. Considerando o conjunto dos empreendimentos em diferentes estágios de maturação, estima-se que o país

[69] **Aclara Resources Inc.** (2025, November). *Revitalizing the Supply of Heavy Rare Earths: Corporate Presentation*.
Brazilian Critical Minerals Limited. (2025). *Annual report – 30 June 2025*.
Meteoric Resources NL. (2026, February). *Caldeira Rare Earth Project: RIU Explorers Conference*.
Denham Capital & Arsago. (2016, August). *Serra Verde Rare Earth Project: Geology*.
Viridis Mining and Minerals Ltd. (2026, February). *Colossus Ionic Clay Project: Investor pack*.
CEBRI. 2025. *O papel do Brasil na Agenda Global de Minerais Críticos e Estratégicos: Demanda projetada e contribuição possível do Brasil na transição energética.*

possa adicionar, no médio prazo, um volume relevante de produção de TREO, da ordem de dezenas de milhares de toneladas anuais, com potencial para posicionar o Brasil como um fornecedor relevante no cenário global. No entanto, o país ainda não internalizou, em escala econômica, os processos de separação individual, refino, metalurgia e fabricação de produtos finais de maior valor agregado, como ímãs permanentes.

Tabela 25. Diagnóstico do setor de terras raras no Brasil

Elo da cadeia	Situação atual	Principais atores / iniciativas	Maturidade	Principal gargalo	Principal oportunidade
Upstream	Produção retomada e *pipeline* em expansão	Serra Verde; projetos em desenvolvimento em GO e MG; empresas em pesquisa e licenciamento	Média	Baixa diversificação da produção e concentração em poucos projetos	Consolidar o Brasil como fornecedor confiável e ampliar produção com base em projetos viáveis e coprodutos.
Midstream	Capacidade industrial ainda muito limitada; avanços em piloto e demonstração	iniciativas da Meteoric, Viridis, centros tecnológicos, laboratórios e plantas-piloto	Baixa	Separação e refino ainda não consolidados em escala comercial	Desenvolver midstream seletivo, começando por carbonatos/óxidos de maior pureza e separação de elementos-chave.
Downstream	Base industrial incipiente; esforços em ligas, protótipos e ímãs	CIT Senai ITR, MagBras, universidades, ICTs e empresas parceiras	Baixa	Falta de escala industrial, demanda âncora e integração com o midstream	Avançar em ligas, pós magnéticos, magnetos semiacabados e, progressivamente, ímãs permanentes.
Circularidade	Frente emergente, ainda não estruturada industrialmente	projetos de P&D, reaproveitamento de resíduos, fontes secundárias e iniciativas de reciclagem	Baixa	Oferta dispersa de resíduos, baixa escala e rotas ainda em consolidação	Estruturar reciclagem de sucata industrial, resíduos minerais e recuperação de ETR de coprodutos e rejeitos.

Fonte: Elaboração própria.

Upstream

O elo upstream é, atualmente, o segmento mais desenvolvido da cadeia de terras raras no Brasil. O país conta com uma base geológica ampla e diversificada, uma carteira crescente de projetos e, desde 2024, voltou a registrar produção comercial de terras raras com a entrada em operação da Serra Verde, em Minaçu (GO), a partir de depósitos de argilas iônicas. Esse avanço representa um marco importante, pois demonstra a viabilidade de uma produção doméstica em escala comercial e confere maior concretude ao potencial brasileiro no setor.

Além da Serra Verde, o número crescente de autorizações de pesquisa, os investimentos em exploração mineral e o avanço de outros projetos em diferentes estágios de maturação indicam que o upstream brasileiro está em processo de expansão. Goiás e Minas Gerais despontam como os principais polos emergentes, combinando disponibilidade de recursos, projetos em desenvolvimento e maior articulação entre empresas, governos subnacionais e instituições de apoio.

A presente análise foca nos projetos que já estão em fase avançada de desenvolvimento, ou seja, que já têm confirmado a existência de depósitos minerais, mas que carecem de avanços nas etapas de licenciamento ambiental, estudos de engenharia e avaliação e mitigação de impacto social.

A avaliação econômica de projetos minerais costuma partir de um conjunto relativamente conhecido de variáveis: o esforço de capital necessário para implantar a operação, os custos recorrentes de produção, a receita potencial associada ao produto vendido e a margem esperada ao longo da vida do ativo. Em muitas *commodities*, ainda que existam diferenças importantes entre depósitos e rotas de processamento, esses indicadores oferecem uma base inicial razoavelmente estável para comparar ativos, identificar competitividade relativa e estimar atratividade econômica.

No caso das terras raras, porém, essa leitura exige um grau adicional de cautela metodológica. Isso ocorre porque – diferente de outros produtos minerais – não se está diante de um único produto homogêneo, mas de um grupo de 17 elementos com propriedades, aplicações industriais e valores de mercado distintos, cuja produção, em geral, se apresenta sob a forma de um conjunto de elementos e não de uma *commodity* uniforme. A consequência direta é que a atratividade de um projeto de ETR não decorre apenas da existência de mineralização, mas da capacidade de converter essa mineralização em um produto efetivamente comercializável, em escala adequada, com especificação aceitável e custo compatível com o mercado.

Essa é a razão pela qual a economia de um projeto de terras raras depende de um número maior de variáveis críticas do que em boa parte dos projetos minerais convencionais. O teor, por si só, explica pouco. A composição dos elementos

presentes (*basket*), a mineralogia do depósito, a rota de processo escolhida, a recuperação metalúrgica, a presença de impurezas e o estágio do produto efetivamente vendido ao mercado influenciam de maneira decisiva o resultado econômico. Dois projetos que, à primeira vista, pareçam comparáveis em volume ou teor podem apresentar economias radicalmente distintas, se um deles estiver mais exposto a elementos de maior valor unitário, contar com uma rota metalúrgica mais simples, exigir menos etapas de purificação ou conseguir capturar maior valor em segmentos mais avançados da cadeia. Em terras raras, portanto, a leitura econômica é necessariamente uma leitura integrada entre geologia, engenharia, produto e mercado, conforme detalhado na tabela a seguir.

Tabela 26. Indicadores de Competitividade

Variável	O que mede	Do que é composta / principais vetores	Por que é importante	Cuidados de interpretação
CAPEX (US$)	Esforço de capital necessário para implantar o projeto e colocá-lo em operação	Mina, planta de beneficiamento e processamento, infraestrutura de energia e água, acessos logísticos, instalações auxiliares, engenharia, contingências, custos de partida e, quando aplicável, exigências ambientais e tratamento de impurezas	Indica a escala do comprometimento financeiro exigido do empreendedor e do financiador. Ajuda a dimensionar a viabilidade prática de implantação e a barreira de entrada do ativo	O valor absoluto, sozinho, não revela eficiência relativa. Projetos com escopo industrial mais amplo ou maior complexidade metalúrgica tendem naturalmente a exigir CAPEX maior
Intensidade de CAPEX por capacidade de processa-mento	Relação entre o capital investido e a capacidade de processamento	US$ por tonelada processada	Indicador de competitividade do projeto relacionado a capacidade de processamento de maneira eficiente. Diz respeito a fatores exógenos de favorabilidade, como geometalúrgica do depósito, facilidade de extração, custo de energia etc	Diz respeito mais a fatores exógenos ao processo produtivo
Intensidade de CAPEX por produto	Relação entre o capital investido e a unidade de capacidade ou produção entregue	US$ por kg de TREO produzido	Indicador de competitividade do projeto relacionado a eficiência da etapa de processamento do depósito. Diz respeito à capacidade do processo metalúrgico projetado entregar produto em quantidades econômicas	Diz respeito diretamente à rota de processo metalúrgico e sua capacidade de recuperação dos diferentes ETR. Contudo, não incorpora a maximização do *basket* pelo preço ou liquidez de mercado
OPEX	Custos recorrentes necessários para operar o ativo ao	Operação de lavra, processamento, reagentes, energia, água, manutenção,	É central para a leitura de competitividade de longo prazo, pois indica a capacidade do projeto	OPEX baixo não garante maior atratividade se estiver associado a produto de

	longo da vida do projeto	mão de obra, logística interna, disposição de rejeitos e resíduos, gestão ambiental e requisitos operacionais adicionais, como a separação de radionuclídeos quando aplicável	de sustentar produção com custo compatível com a receita esperada.	menor qualidade, menor recuperação metalúrgica ou maior desconto comercial
Basket price	*Proxy* da receita potencial associada ao *mix* de elementos produzido pelo projeto	Reflete a combinação dos elementos presentes ou recuperados e seus preços de referência, ponderados pela participação relativa de cada um no basket	É especialmente relevante em terras raras porque o valor econômico depende da composição do conjunto de elementos, e não apenas do volume agregado produzido	Não deve ser confundido com receita realizada. Recuperação efetiva, estágio do produto vendido, pureza, especificação, impurezas, descontos comerciais e liquidez de mercado podem reduzir materialmente o valor capturado
Margem operacional	Aproximação da lucratividade operacional do projeto antes da estrutura de capital	Resulta, em termos analíticos, da interação entre preço realizado, recuperação metalúrgica, qualidade do produto e custo operacional	É um dos indicadores que mais diretamente informa a atratividade econômica do ativo, pois sintetiza a capacidade de conversão de receita em resultado operacional	Margens elevadas podem refletir premissas agressivas de preço, *ramp-up*, pureza, comercialização ou eficiência metalúrgica. Devem sempre ser lidas à luz das premissas técnicas e comerciais que as sustentam

Fonte: Elaboração própria.

Em linhas gerais, como já foi explorado em outras seções, o Brasil possui projetos promissores de mineração de ETR de três classes distintas: (a) argilas iônicas (IAC), (b) areias pesadas (HSM) e (c) rocha dura (*hard rock*). Considera-se já fatos estilizados a existência de padrões de comportamento de premissas técnicas e econômicas de projetos como esses, de forma que há um comportamento econômico que se pode esperar de cada tipo de projeto.

Tabela 27. Parâmetros técnicos e tipos de depósitos

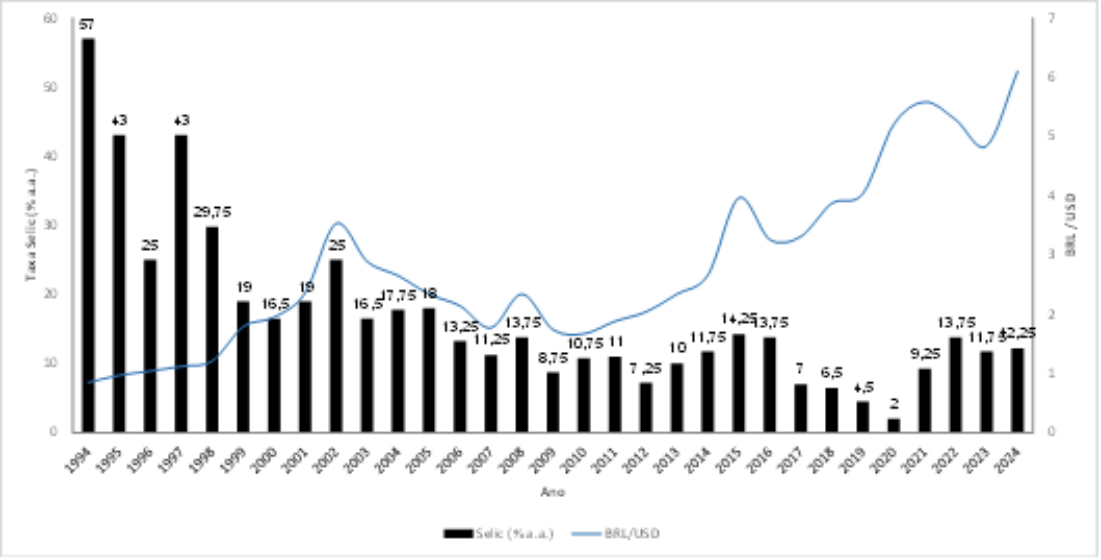
Parâmetros	Argilas Iônicas (IAC)	Areias Pesadas (HSM)	Rocha Dura (Hard Rock)
Teor médio	Baixo/Médio	Médio/Alto	Alto
CAPEX	Baixo	Baixo/Médio	Alto
OPEX	Baixo	Baixo/Médio	Médio/Alto
Margem operacional	Alta	Médio/Alto	Baixo/Médio
Prob. de radionuclídeos	Baixo/Médio	Alto	Alto

Fonte: Elaboração própria.

Hoje, no Brasil, os projetos que se encontram mais avançados em termos de desenvolvimento técnico e operacional são os de argilas iônicas, notadamente representados por Serra Verde, Meteoric, Viridis, Aclara e Brazilian Critical Minerals. Outros projetos de areias pesadas, como Brazilian Rare Earths, e de *hard rock,* como a St. George Mining, ainda estão em fase de exploração mineral, não tendo ainda testado e comprovado a viabilidade técnica e econômica de seus projetos, ainda que resultados iniciais sejam promissores.

No caso brasileiro, a leitura econômica precisa incorporar ainda uma dimensão estrutural adicional: o custo de capital. Historicamente, o país opera em ambiente macroeconômico instável, com alta volatilidade de câmbio e taxas de juros básicas muito altas, o que torna o ambiente econômico menos favorável a empreendimentos intensivos em capital e com alto risco geológico. Esse fator pesa especialmente nas fases de pesquisa mineral e desenvolvimento inicial, quando o risco é mais elevado, e a previsibilidade de retorno ainda é limitada. Em consequência, taxas de retorno que podem parecer atrativas sob a ótica de investidores internacionais nem sempre oferecem o mesmo prêmio relativo ao capital doméstico. Isso ajuda a explicar a relevância recorrente do capital estrangeiro na viabilização de projetos minerais no Brasil, particularmente em segmentos emergentes ou ainda em consolidação.

Figura 10: Taxa de câmbio brasileira e taxa de juros básica



Fonte: Bacen.

No caso de terras raras, considerando a importância estratégica crescente desses minerais e o objetivo assumido por grandes potências, como os Estados Unidos, de diversificar suas fontes de suprimento, a participação de capital e o envolvimento de interesses estrangeiros alcança um novo patamar.

O caso recente da Mineração Serra Verde é um exemplo concreto dessa dinâmica. Em 20 de abril de 2026, a USA Rare Earths, empresa listada na bolsa americana Nasdaq e que tem o governo norte-americano como seu principal acionista, anunciou a aquisição do Grupo Serra Verde. Em adição à aquisição, foi realizada também a assinatura de um contrato de fornecimento de 15 anos com uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), capitalizada por agências governamentais dos Estados Unidos e investidores privados, que absorverá integralmente a produção da Fase I do projeto Pela Ema, em Minaçu (Goiás), com preços mínimos garantidos para neodímio, praseodímio, disprósio e térbio.

A intenção declarada da empresa é criar uma plataforma multinacional com ativos no Brasil, Estados Unidos, França e Reino Unido, cobrindo toda a cadeia de valor – da mineração à fabricação de ímãs permanentes – e posicionando as operações da Serra Verde como base upstream de uma das primeiras cadeias integradas de terras raras "da mina ao ímã" fora da Ásia. Isso inclui ativos downstream da USAR, como a fabricante de metais e ligas de terras raras, Less Common Metals (LCM), no Reino Unido; uma planta de ímãs em Stillwater (Oklahoma) e o depósito Round Top, no Texas.

O pacote anunciado é reforçado por um financiamento de US$565 milhões já contratado com a US International Development Finance Corporation (DFC), destinado à otimização das operações no Brasil, à expansão da capacidade produtiva e ao aprimoramento do produto. Em conjunto com a fusão e o contrato de fornecimento de longo prazo com preços mínimos, esse arranjo configura um robusto mecanismo de *de-risking* – ainda pouco comum no setor de terras raras[70,71]. Esse mecanismo tem o efeito de reduzir o risco comercial e facilitar o financiamento ao garantir demanda de longo prazo, o que deve contribuir para a expansão da produção. Por outro lado, significa, no curto prazo, que, na ausência de entendimento entre os países, a integralidade do carbonato produzido atualmente no Brasil deve ser exportada para processamento no exterior, postergando a internalização de etapas de maior valor agregado no Brasil.

Esse ambiente econômico complexo pode servir de critério seletor de mérito de projetos, considerando que os projetos que tendem a se desenvolver possuem características singulares frente a seus pares nacionais e internacionais. No caso de projetos de ETR, o Brasil reúne condições geológicas que, em alguns casos, parecem favorecer estruturas de custo potencialmente competitivas, com menor intensidade de capital e custos operacionais mais baixos do que aqueles observados em projetos mais complexos de outras *commodities* ou em determinadas jurisdições internacionais. Essa possível vantagem está associada,

70 https://www.brasilmineral.com.br/noticias/serra-verde-anuncia-fusao-com-a-usa-rare-earth-e-fecha-contrato-de-15-anos-para

71 https://investors.usare.com/static-files/51392825-c0d8-41cb-a604-0842d6a5dfa1

em certos depósitos, a geologia favorável, menor complexidade relativa da mineralização, rotas de processo potencialmente mais simples, base energética competitiva e escala de investimento mais moderada. No entanto, esse argumento deve ser tratado com prudência. Essas vantagens não são automáticas nem universais; dependem da qualidade específica do depósito, da rota de processamento, do produto final pretendido, da infraestrutura disponível e, sobretudo, da capacidade de execução do projeto. Em outras palavras, o Brasil pode reunir condições para produzir projetos upstream muito competitivos, mas essa vantagem precisa ser demonstrada caso a caso, e não presumida de antemão.

Por fim, qualquer avaliação econômica de projetos brasileiros de terras raras precisa reconhecer que sua competitividade continuará, ao menos no horizonte previsível, condicionada pela estrutura do mercado internacional e pela centralidade da China no midstream global. Hoje, a cadeia segue altamente concentrada nas etapas de separação, refino e fabricação de ímãs, o que significa que o preço e a capacidade de colocação de produtos upstream continuam, em larga medida, influenciados por um mercado comprador e processador dominado por agentes chineses. Isso não elimina o espaço econômico para projetos competitivos no Brasil; ao contrário, pode assegurar demanda para produtos bem posicionados em custo e qualidade. Porém, impõe um limite importante à leitura de valor: competitividade upstream não equivale, automaticamente, a autonomia industrial ou captura plena de valor ao longo da cadeia.

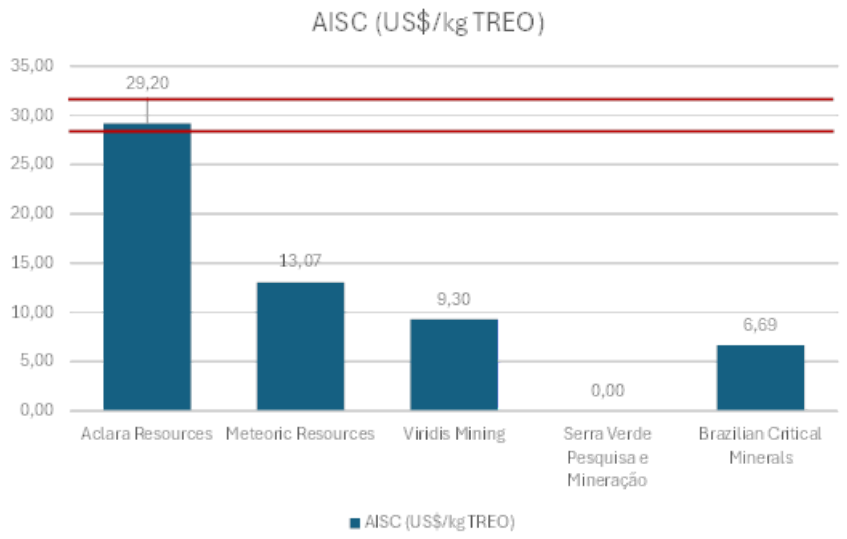
Análise de competitividade Brasil x China - Upstream

É especialmente complexo comparar o custo de produção de projetos específicos com o *benchmarking* mundial mais relevante hoje, a China. A cadeia de terras raras da China é integrada e, na prática, verticalizada. Isso faz com que preços intermediários, como os concentrados, carbonatos mistos, óxidos etc., sejam apenas preços de transferência de uma cadeia como um todo que, a depender da intenção empresarial ou estatal, podem ser maiores ou menores, gerando lucros ou prejuízos em diferentes elos da cadeia, que podem ser absorvidos dado o interesse estratégico maior.

No entanto, um esforço metodológico foi realizado no presente estudo para comparar a estrutura de custos chinesa com a de outros países. Uma metodologia de cálculo que existe no mercado é definir o custo de produção em função de um conjunto dos elementos mais relevantes: neodímio (Nd), praseodímio (Pr), disprósio (Dy) e térbio (Tb) – todos esses ETR magnéticos e extremamente relevantes para a produção de ímãs permanentes, produto que atualmente domina a relevância econômica do setor.

A Argus Media, empresa do setor de inteligência comercial, estima o custo de produção de ETR na China de US$75-80/kg NdPr (Argus Media, 2025). Considerando que a participação típica de Nd/Pr em um projeto de mineração na China está na faixa de 20-25% e que a participação do valor de Nd/Pr na cesta de preços "*basket price*" está na faixa de 50-65%, uma referência de custo de produção de US$ 75-80/kg NdPr implicaria um custo equivalente de aproximadamente US$ 29-31/kg TREO.

Figura 11: All-In Sustaining Cost (Custo Total de Sustentação)[72]



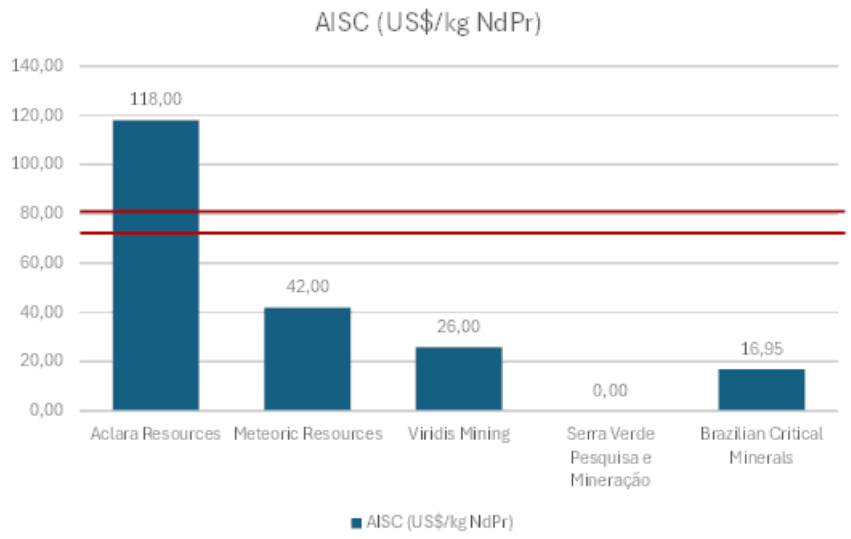
Fonte: Elaboração própria, com base em informações dos relatórios das empresas.

Sob esse prisma, é possível apurar a importante competitividade dos custos dos projetos brasileiros vis à vis o *benchmarking* chinês. Cabe, contudo, uma ressalva a respeito dos projetos da Aclara e Serra Verde. O Projeto Carina, conforme publicado extensivamente em seus relatórios técnicos, possui estratégia distinta de geração de valor através da integração da cadeia de suprimentos com unidades de separação de óxidos e produção de ímãs permanentes juntamente com a mina. A Serra Verde, por outro lado, não divulga dados técnicos que nos permitam fazer essa análise.

No sentido inverso, na perspectiva dos projetos brasileiros é possível realizar o cálculo do custo operacional expresso pela produção de Nd/Pr. Neste recorte, os projetos Carina (Aclara), Caldeira (Meteoric) e Colossus (Viridis) teriam custos de US$ 118/kg NdPr, US$ 42/kg NdPr e US$ 26/kg NdPr, respectivamente.

[72] Indicador fundamental de competitividade no setor de mineração, utilizado para medir o custo de produção de uma onça (oz) de metal.

Figura 12: Custo operacional expresso em produção de Nd/Pr



Fonte: Elaboração própria, com base em informações dos relatórios das empresas.

Esse gráfico também demonstra a competitividade dos projetos brasileiros frente ao *benchmarking* chinês. O projeto Carina nessa análise destoa dos demais devido a suas características únicas e estratégia com foco na apropriação de valor ao longo da cadeia e também por conta dos créditos de Dy/Tb, não presentes nessa análise, cujo recorte privilegia apenas Nd/Pr. Nesse sentido, não deve ser considerado um elemento de falta de competitividade, ainda que haja distinções claras técnicas entre os projetos.

No que diz respeito à competitividade de projetos brasileiros voltados à venda de MREC para a China, é possível afirmar que a referência histórica de competição com a oferta doméstica chinesa de custo mais baixo se tornou menos permissiva do que no passado. Essa mudança não decorre, propriamente, de um banimento geral da lixiviação *in situ*, mas de um enquadramento regulatório mais rígido do setor de terras raras na China. O Regulamento para a Administração de Terras Raras (Decreto do Conselho de Estado N° 785), promulgado em 22 de junho de 2024, e a edição das Medidas Provisórias para o Controle do Volume Total da Mineração e da Fundição/Separação de Terras Raras (*Interim Measures for Total Volume Regulation of Rare Earth Mining and Smelting/Separation* – MIIT/NDRC/MNR Order No. 71), de julho de 2025, apertam a regulação sobre a mineração, sujeitam a atividade a controle total de volume e impõem exigências de rastreabilidade, conformidade ambiental e repressão à circulação de produto oriundo de mineração ou separação ilegal. Em termos econômicos, esse marco regulatório reforça a leitura de que parte da pressão baixista historicamente associada à produção doméstica chinesa — mais desordenada, permissiva e de

custo marginal artificialmente baixo — tende a perder relevância relativa como referência para o sistema atual.

Segundo a avaliação da Argus, os preços de terras raras deverão continuar a se elevar em 2026, convergindo para patamares mais sustentáveis e acima do custo médio de produção na China, estimado em cerca de US$ 75-80/kg em base NdPr. Essa expectativa decorre, de um lado, da baixa probabilidade de expansão das quotas de produção chinesas e, de outro, das limitações à oferta fora da China, pressionada por preços historicamente baixos e margens negativas. Nesse contexto, a combinação entre restrições estruturais de oferta e o ambiente geopolítico e comercial mais tensionado tende a sustentar pressão altista sobre os preços chineses de terras raras voltadas a ímãs permanentes, reforçando a percepção de um mercado ainda marcado por forte sensibilidade a decisões regulatórias e a desequilíbrios entre oferta e demanda.

Em síntese, a análise econômica de projetos de terras raras não pode ser feita por meio da leitura de indicadores isolados. CAPEX, intensidade de capital, OPEX, *basket price* e margem são variáveis indispensáveis, mas só se tornam verdadeiramente informativas quando lidas em conjunto e à luz do contexto técnico e comercial de cada ativo. A competitividade real de um projeto de ETR resulta da combinação entre geologia, engenharia, produto, mercado, estrutura de capital e ambiente regulatório. É a partir dessa moldura analítica, e não de comparações superficiais, que a seção seguinte deverá examinar os projetos selecionados e identificar, com maior precisão, onde estão suas vantagens, limitações e riscos.

CAPEX

Nesse contexto, o CAPEX permanece como a principal medida do esforço de capital requerido para transformar um projeto em operação. Em ativos como os de ETR, ele é particularmente sensível a fatores como:

- localização do projeto;
- necessidade de infraestrutura complementar;
- acesso a energia e água;
- condições logísticas;
- método de lavra;
- volume de decapeamento; e
- complexidade da planta de beneficiamento e de processamento químico.

Também podem elevar substancialmente esse esforço exigências adicionais associadas ao tratamento de impurezas, à gestão ambiental e, em alguns casos, à necessidade de lidar com radionuclídeos. O CAPEX absoluto importa porque expressa a dimensão do compromisso financeiro exigido do empreendedor e, em

determinadas circunstâncias, do financiador ou do próprio Estado. Em segmentos emergentes, ele também ajuda a dimensionar a viabilidade prática de implantação, especialmente quando a tecnologia, a cadeia de suprimentos e o mercado comprador ainda estão em processo de consolidação.

Ainda assim, o CAPEX absoluto, isoladamente, diz pouco sobre eficiência relativa. Por isso, a intensidade de capital é um indicador particularmente útil na comparação entre projetos. Dependendo da base metodológica adotada, ela pode ser expressa em métricas, como dólares por tonelada processada, dólares por quilograma de TREO produzido ou outras unidades equivalentes. Essa métrica permite entender quanto capital a rota tecnológica escolhida exige para entregar determinada unidade de produção. Mas a utilidade da comparação depende integralmente da equivalência entre as bases observadas. Projetos que incluem processamento químico mais avançado, maior grau de segregação do produto, etapas adicionais de purificação ou tratamento mais complexo de impurezas tendem, naturalmente, a apresentar intensidade de capital maior. Em outras palavras, intensidade de capital elevada pode refletir ineficiência, mas pode também ser a consequência lógica de um produto final mais sofisticado ou de uma rota industrial mais completa.

OPEX

O mesmo raciocínio vale para o OPEX. Em projetos de ETR, o custo operacional não se limita a lavra e beneficiamento; ele costuma refletir, de forma sensível o consumo de reagentes, a intensidade energética, a disponibilidade e o tratamento de água, o manejo de rejeitos e resíduos, a complexidade metalúrgica da rota e o grau de pureza exigido do produto final. Em certos ativos, exigências ambientais ou operacionais adicionais podem ter peso material sobre a estrutura de custos. Por isso, o OPEX é central para a leitura de competitividade de longo prazo, mas só ganha real significado quando interpretado em conjunto com a qualidade do produto, a recuperação efetiva e a receita potencial. Um projeto de menor custo aparente pode, na prática, capturar menos valor se vender um produto mais simples, com menor teor, menor pureza ou maiores descontos comerciais.

Basket price

Entre os indicadores mais característicos desse segmento está o *basket price*, que funciona como uma aproximação da receita potencial associada ao conjunto de elementos contidos ou recuperados pelo projeto. Sua relevância decorre do fato de que, em ETR, o valor econômico não depende apenas do volume total produzido, mas da composição relativa desse conjunto. Projetos mais expostos a elementos de maior valor unitário tendem, em princípio, a apresentar maior potencial de captura de valor. Ainda assim, o *basket price* não deve ser

confundido com a receita efetivamente realizada. Há uma diferença importante entre o preço teórico do *basket* e o preço efetivamente obtido no mercado, e essa diferença reflete fatores como recuperação metalúrgica, estágio do produto comercializado, teor e especificação do material, pureza, presença de impurezas, descontos comerciais e liquidez do mercado comprador. Um exemplo ilustrativo, trazido no próprio escopo desta análise, é que a Aclara projeta um concentrado com teor de TREO próximo de 95%, enquanto Meteoric e Viridis projetam concentrados com teor inferior a 60%; ainda que todos sejam projetos de terras raras, a equivalência econômica entre esses produtos não pode ser presumida.

Margem operacional

A margem esperada, por sua vez, é o indicador que mais diretamente aproxima a lucratividade operacional do ativo, pois resulta da interação entre preço, recuperação e custo. Em tese, ela oferece uma síntese poderosa da atratividade econômica do projeto. Na prática, porém, margens elevadas exigem escrutínio. Em ativos de ETR, especialmente aqueles ainda em fase de estudos, uma margem aparentemente robusta pode estar embutindo premissas agressivas sobre preço, eficiência metalúrgica, *ramp-up* operacional, comercialização ou capacidade de colocação em mercados específicos. Ela só é confiável quando as premissas técnicas e comerciais que a sustentam são igualmente robustas.

Essa cautela é ainda mais importante porque a comparabilidade entre projetos de terras raras é, por natureza, limitada. Empresas diferentes podem reportar seus indicadores sobre bases não equivalentes: minério bruto versus minério alimentado na planta; TREO contido versus TREO recuperado; concentrado versus produto intermediário versus óxidos separados; custo de mina versus custo incorporando processamento químico mais avançado. Comparações diretas entre CAPEX, OPEX, intensidade de capital, *basket price* e margem podem, assim, induzir a conclusões equivocadas quando não há padronização prévia dos conceitos e das bases de cálculo. Em um segmento no qual pequenas diferenças de escopo podem alterar substancialmente a leitura econômica, disciplina metodológica não é refinamento acadêmico, é condição mínima para análise séria.

Com base nessas observações acima, fundamentais para entender o upstream brasileiro de terras raras, o quadro abaixo compila as principais variáveis técnicas e econômicas, que evidenciam a competitividade do segmento na indústria como um todo.

Tabela 28. Análise de competitividade: seleção de variáveis técnicas e econômicas para principais *players* no Brasil

Parâmetros	Aclara Resources	Meteoric Resources	Viridis Mining	Serra Verde Pesquisa e Mineração	Brazilian Critical Minerals
Nome do Projeto	Carina	Caldeira	Colossus	Pela Ema	Ema
Estágio do projeto	FS	PFS	PFS	N/A	Scoping Study
Recurso mineral LOM (Mt)	170,90	129,00	98,50	N/A	341,00
Teor recurso mineral LOM (ppm)	1.472	3.750	3.380	N/A	746
Método de processamento	*Extração por troca iônica / dessorção*	*Extração por troca iônica / dessorção*	*Extração por troca iônica / dessorção*	*Extração por troca iônica / dessorção*	*Lixiviação in-situ*
Capacidade de processamento ROM (ktpa)	9.700	6.000	5.000	N/A	N/A
Produção de Carbonato Misto de ETR - MREC (tpa)	7.297	25.776	N/A	N/A	8.700
Teor do MREC wet basis (% TREO)	*60%*	*53%*	*N/A*	*N/A*	*N/A*
Produção TREO (tpa)	4.378	13.584	9.500	6.500	4.800
Recuperação TREO (%)	25,5%	55,0%	57,0%	*N/A*	48,0%
CAPEX (US$MM)	780,90	443,40	358,00	682,00	55,00
Capital intensity (US$/ktpa ROM)	80,50	73,90	71,60	N/A	N/A
Capital intensity (US$/kgTREO))	178,37	32,64	37,68	104,92	11,46
OPEX - Cash Cost (US$/t)	13	21	12	N/A	N/A
OPEX - All-In Sustaining Cost (US$/kg TREO)	29	13	9	N/A	7
OPEX - All-In Sustaining Cost (US$/kg NdPr)	118	42	26	N/A	17
Basket Price (US$/kg TREO)	209,00	33,00	43,00	N/A	30,93
Payability	100%	70%	70%	N/A	70%

Fonte: Elaboração própria, com base em informações dos relatórios das empresas

Apesar desse progresso, o upstream brasileiro ainda apresenta limitações. A produção permanece concentrada em um número reduzido de empreendimentos, a maior parte dos projetos ainda se encontra em fase de pesquisa ou licenciamento, e parte significativa do esforço setorial continua voltada à comprovação de recursos, viabilidade técnica e estruturação financeira. Assim, embora o país já apresente bases concretas para consolidar a mineração de ETR, o segmento ainda está longe de atingir escala e diversificação compatíveis com sua dotação geológica.

Midstream

Se o upstream de terras raras no Brasil já começa a ganhar contornos mais concretos, com projetos de mérito geológico reconhecido, perfis de custo potencialmente competitivos e avanço gradual em licenciamento, engenharia e estruturação, é no midstream que hoje se encontra a principal fronteira de captura de valor da cadeia no país. O grande salto estratégico brasileiro em terras raras não depende apenas de colocar minas em operação, mas de construir a capacidade industrial de transformar a produção mineral doméstica em produtos intermediários aptos a abastecer mercados globais. É nesse elo que se decide se o Brasil será apenas fornecedor de matéria-prima e intermediários de baixa

transformação, ou se conseguirá internalizar uma parcela mais relevante do valor econômico, industrial e estratégico associado aos elementos de terras raras.

Esse ponto é particularmente importante, porque o Brasil já dispõe, ao menos em perspectiva, de uma base upstream promissora. Projetos como Pela Ema, da Serra Verde; Caldeira, da Meteoric; Colossus, da Viridis; Carina, da Aclara; e Ema, da Brazilian Critical Minerals indicam que o país pode consolidar uma oferta doméstica relevante de concentrados e de carbonatos mistos de terras raras, em especial a partir de depósitos de argilas iônicas e rotas de processamento já em desenvolvimento. Isso altera qualitativamente o debate sobre industrialização da cadeia: o problema brasileiro deixa de ser a existência de produção e passa a ser, crescentemente, como separar e refinar no próprio país aquilo que já temos condições de produzir de maneira extremamente competitiva e econômica.

Hoje, porém, essa transição ainda não ocorreu. Apesar dos avanços observados em pesquisa aplicada, no desenvolvimento de rotas de processamento e em testes de bancada e escala-piloto, o Brasil ainda não dispõe de capacidade industrial consolidada para processar, em escala comercial, os produtos vindos do upstream. Mesmo com o aumento esperado da produção de concentrados e de MREC, os materiais produzidos domesticamente ainda não encontram no território nacional um parque industrial capaz de absorvê-los e convertê-los, de forma regular e competitiva, em óxidos separados de maior pureza, metais ou ligas. Na prática, portanto, o país ainda não internalizou justamente o elo que, internacionalmente, representa um dos maiores pontos de estrangulamento da cadeia global de terras raras.

Esse estrangulamento é industrial e também geopolítico. O midstream é, hoje, um dos segmentos mais sensíveis de toda a cadeia global de ETR, porque é nele que a dependência do resto do mundo em relação à China se torna mais aguda. A etapa de separação química dos elementos – sobretudo dos óxidos de maior interesse econômico, como neodímio, praseodímio, disprósio e térbio – permanece fortemente concentrada em poucas jurisdições, com clara dominância chinesa em escala, experiência operacional, base de fornecedores, qualificação de mão de obra, acesso a indústrias secundárias de reagentes e solventes e integração com os elos subsequentes. Assim, enquanto o upstream pode se diversificar geograficamente com relativa rapidez, o midstream continua sendo o verdadeiro gargalo da diversificação global.

Sob o ponto de vista econômico, esse elo tem uma característica importante: ele é, em sua essência, uma etapa industrial de baixa diferenciação de produto. O trabalho do midstream consiste fundamentalmente em transformar correntes mistas oriundas da mineração e do beneficiamento químico em produtos separados e padronizados, sobretudo óxidos individuais de terras raras e, em estágios subsequentes, metais e ligas. Uma vez atingida a especificação comercial

exigida pelo mercado, um óxido de neodímio, praseodímio, disprósio ou térbio é, em larga medida, indiferenciado: trata-se do mesmo produto no Brasil, na China ou em qualquer outro país. Nesse sentido, o midstream pode ser entendido como a última grande fronteira "comoditizada" da cadeia de terras raras. Aqui, o determinante central tende a ser a competitividade econômica: quem conseguir entregar produto especificado com menor custo, maior confiabilidade operacional e menor risco de execução sairá na frente.

Isso não significa que o midstream seja trivial. Ao contrário: trata-se de uma etapa tecnicamente exigente, intensiva em conhecimento de processo, controle químico, engenharia de planta e disciplina operacional. Mas, uma vez dominada a rota e estabelecida a capacidade industrial, a competição passa a responder fundamentalmente a variáveis econômicas. Diferentemente de elos mais a jusante, nos quais pesam mais fortemente as relações com os fabricantes de produtos ou componentes (Original Equipment Manufacturers, OEMs), qualificação junto a compradores finais, integração com cadeias industriais específicas e estratégias corporativas de longo prazo, no midstream o núcleo da disputa é mais direto: custo de alimentação, custo de energia, custo e produtividade da mão de obra, ambiente regulatório, carga tributária, infraestrutura e logística. Em síntese, é um elo em que as vantagens competitivas são mais tangíveis e mensuráveis – e também um elo em que os incentivos financeiros e fiscais com vistas a reduzir CAPEX e OPEX se mostra particularmente relevante.

Nessa ótica, o Brasil reúne alguns atributos que, ao menos em tese, poderiam torná-lo um competidor relevante. O primeiro é o acesso potencial a matéria-prima (*feedstock*) doméstica competitiva, proveniente de projetos que já demonstram capacidade de produzir, ou de vir a produzir, correntes economicamente aproveitáveis de Nd, Pr, Dy e Tb – justamente os elementos de maior valor e importância estratégica para magnetos permanentes. O segundo é a possibilidade de combinação entre essa oferta mineral e uma base energética favorável, sobretudo se o país conseguir oferecer previsibilidade tarifária e acesso estável à energia para plantas químicas intensivas. O terceiro é a existência de capital humano técnico que, embora ainda insuficiente em escala, pode ser desenvolvido a custos competitivos, especialmente se houver coordenação entre empresas, centros tecnológicos e instituições de formação. Somam-se a isso a relevância de um ambiente jurisdicional seguro, tributação compatível com a natureza intensiva em capital da atividade e infraestrutura logística adequada para escoamento de insumos e produtos.

Ao mesmo tempo, é preciso reconhecer que ainda existe distância significativa entre demonstração tecnológica e implantação industrial em escala. O avanço de plantas-piloto, a produção experimental de intermediários e a atuação de empresas e centros tecnológicos mostram que o midstream brasileiro começa a

sair do plano exclusivamente laboratorial. Isso é relevante e não deve ser subestimado. Adicionalmente, o país ainda apresenta elevada dependência da importação de insumos químicos especializados, como extratantes orgânicos e reagentes de separação, além de equipamentos, serviços e capacidades técnicas, evidenciando uma lacuna na capacidade doméstica de suporte às etapas de refino e separação. Ainda assim, entre provar a rota e operar uma planta comercial estável, com escala, rendimento, controle de impurezas, disciplina de custos e inserção comercial, há um salto industrial considerável. É justamente nesse intervalo que se concentram os maiores desafios de financiamento, execução e coordenação.

Por isso, a oportunidade mais concreta para o Brasil não parece estar em imaginar, de saída, uma cadeia totalmente verticalizada e completa, mas em desenvolver, de forma pragmática, um midstream ancorado na produção nacional já contratável ou previsível dos principais projetos em desenvolvimento. Em vez de pensar o tema de forma abstrata, o país pode partir de uma lógica de base industrial real: construir capacidade de separação e refino a partir do volume potencialmente ofertado por projetos em estado mais avançado, como os da Serra Verde, Meteoric, Viridis, Aclara e Brazilian Critical Minerals, que possuem recursos minerais divulgados de acordo com normas técnicas internacionais e pelo menos um estudo de avaliação econômica preliminar. Esse ponto é central, porque a viabilidade do midstream depende, antes de tudo, de escala de alimentação, previsibilidade de suprimento e custo competitivo de aquisição da matéria-prima. Sem isso, a industrialização vira apenas intenção; com isso, passa a existir uma base concreta para investimento.

Nesse contexto, o midstream brasileiro deve ser compreendido como a ponte entre a vocação geológica do país e qualquer ambição mais robusta de inserção industrial na cadeia global de terras raras. É nesse elo que o Brasil pode capturar mais valor, reduzir sua dependência externa e construir maior autonomia produtiva. Mas é também aqui que a competição internacional é mais crua: prevalecerá quem reunir as melhores condições de custo, escala, confiabilidade e ambiente de negócios. Os elementos geopolíticos em jogo no momento criam condições para que países atropelem a lógica econômica e fechem acordos internacionais lastreados em *offtakes* e compromissos de investimentos e construção de plantas industriais para isso. Isso pode levar a que jurisdições menos competitivas que a brasileira consigam – por força da capacidade de planejamento estratégico de seus governos – atrair a sede dessas unidades. Portanto, ainda que o Brasil goze desses diferenciais, não pode perder tempo em unir seu potencial econômico e competitivo com uma atuação ativa no cenário internacional para solidificar o entendimento de que o país é um excelente parceiro para se ter uma planta industrial nessa cadeia – seja de separação de óxidos ou de produção de ligas metálicas.

O midstream – entendido aqui como o elo em que se produzem os óxidos separados, os metais e as ligas – é, em larga medida, a fronteira final das etapas não diferenciadas da indústria de terras raras. Daqui para jusante, embora o custo continue sendo decisivo, passam a ganhar peso crescente as relações com compradores finais, os processos de qualificação industrial, a proximidade com setores consumidores e a inserção em cadeias produtivas mais densas e contextuais, como as de magnetos permanentes, motores, defesa, eletrônica e transição energética. Em outras palavras: se o upstream é geologia e mineração, e o midstream é competitividade industrial pura, o downstream já é, em maior medida, estratégia industrial relacional. É por isso que o avanço brasileiro no midstream é tão decisivo: sem ele, a discussão sobre capturar etapas mais sofisticadas a jusante permanece prematura.

Tabela 29. Elementos de competitividade para desenvolvimento do midstream no Brasil

Eixo de competitividade	O que significa no midstream
Feedstock competitivo (continuidade, escala e preços)	Acesso estável e de baixo custo a concentrados e/ou MREC oriundos dos projetos nacionais
Energia competitiva e estável	Disponibilidade de energia com preço previsível e confiabilidade operacional para plantas químicas intensivas
Infraestrutura e logística	Transporte de insumos e produtos, acesso a água, reagentes, equipamentos e integração física com o upstream
Tributação adequada	Estrutura tributária compatível com atividade intensiva em capital, química e exportadora
Capacidade técnica e *know-how* de processo	Domínio de rotas de separação, purificação, controle de impurezas, rendimento e operação contínua não é segredo industrial. Contudo, requerem esforço contínuo por parte dos produtores para refinar a rota de processo para parâmetros ótimos para seu projeto
Mão de obra qualificada e disponível	Engenharia de processo, operação química, manutenção, controle de qualidade e gestão industrial

Ambiente jurisdicional seguro	Segurança jurídica, previsibilidade regulatória e estabilidade institucional para investimento de longo prazo.
Base de fornecedores e insumos industriais	Acesso a reagentes, solventes, equipamentos, EPC e serviços especializados.

Fonte: Elaboração própria.

Downstream

O downstream segue como o elo menos desenvolvido da cadeia nacional em termos industriais, embora apresente capacidades tecnológicas e institucionais em formação. O país ainda não possui produção comercial consolidada de ímãs permanentes de terras raras em escala relevante, nem uma base industrial madura em ligas especiais, componentes magnéticos e aplicações avançadas. Consequentemente, o Brasil continua dependente da importação de produtos de maior valor agregado, mesmo dispondo de recursos minerais que poderiam, em tese, sustentar parte dessa produção no futuro.

Por outro lado, o downstream brasileiro não parte de uma base inexistente. Há iniciativas relevantes voltadas à estruturação de capacidades tecnológicas e industriais, especialmente no campo dos ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro (NdFeB). A existência de laboratórios, planta-piloto e demonstradores industriais associados ao ecossistema SENAI e ao programa MagBras sinaliza uma tentativa concreta de construir uma trajetória de industrialização que vá além da extração mineral. Isso sugere que o desafio principal é transformar esse elo de projeto tecnológico promissor em atividade econômica escalável e integrada à demanda industrial nacional.

Uma trajetória mais realista para o país consiste em avançar de forma escalonada: primeiro em metais, ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados; depois, progressivamente, em ímãs permanentes e componentes mais sofisticados. Essa abordagem reduz risco, permite aprendizado industrial e amplia as chances de captura gradual de valor.

Circularidade

A circularidade ainda ocupa posição incipiente na cadeia de terras raras no Brasil, mas já aparece como frente estratégica emergente. O tema se manifesta em duas direções principais:

1. Aproveitamento de fontes secundárias oriundas da atividade mineral, como rejeitos, coprodutos e resíduos de cadeias associadas, a exemplo do nióbio, estanho e bauxita;

2. Reciclagem de materiais industriais e pós-consumo, especialmente ímãs permanentes e resíduos eletroeletrônicos (REEE).

O Brasil possui um elevado volume de equipamentos eletroeletrônicos em circulação que, ao final da vida útil, podem ser processados para recuperação desses materiais secundários. A indústria brasileira de eletroeletrônicos cresceu fortemente nos últimos anos, com destaque à produção de ar-condicionado, que atingiu níveis recorde e colocou o Brasil como o segundo maior fabricante mundial, atrás apenas da China,[73] além do bom desempenho das linhas marrom e branca. Apesar da alta produção e da elevada autossuficiência, com 97% dos aparelhos sendo montados no país, o setor mantém forte dependência de componentes importados, principalmente da China. A importação de eletroeletrônicos também registrou aumento, com a penetração das importações atingindo 26,7% em 2024, o maior índice da série histórica.[74, 75]

O Brasil dispõe de um arcabouço legal estruturado para a logística reversa de REEE, com destaque à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e ao Decreto nº 10.240/2020, complementado pelas Portarias GM/MMA nº 1.560/26 e nº 1.561/26. No caso específico de equipamentos médico-hospitalares, como aparelhos de ressonância magnética, o descarte também deve observar a RDC nº 222/2018 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, que regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS). Fabricantes e importadores de produtos eletroeletrônicos e eletrodomésticos são obrigados a aderir ao sistema de logística reversa, que atualmente exige a comprovação de coleta e destinação de 17% em peso dos equipamentos colocados no mercado (ano base 2018). Atualmente, 136 empresas – entre fabricantes e importadores – aderiram ao sistema de logística reversa (SLR) e, por meio de entidades gestoras ou de forma individual, apresentam anualmente relatórios comprovando a massa de REEE coletados e destinados.[76] Ainda há amplo espaço de crescimento frente ao universo de aproximadamente quatro mil fabricantes, importadores e distribuidores sujeitos à obrigação legal. A cadeia de logística reversa encontra-se em expansão, com cerca de 150 mil toneladas coletadas em 2024. Entretanto, componentes de maior valor e teor em minerais críticos, como as placas de

73 https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-03/brasil-se-torna-o-segundo-maior-fabricante-mundial-de-ar-condicionado

74 https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/internacional/consumo-de-importados-por-brasileiros-e-o-maior-em-20-anos/

75 https://veja.abril.com.br/economia/vendas-de-eletroeletronicos-saltam-378-de-1994-a-2024-e-atingem-130-milhoes-de-aparelhos/

76 https://circularbrain.io/wp-content/uploads/2025/08/Relat%C3%B3rio-de-Sustentabilidade-Circular-Brain-2024.pdf
https://greeneletron.org.br/blog/green-eletron-avanca-em-engajamento-dialogo-e-resultados-ambientais/

circuito impresso, são coletados no país, mas majoritariamente exportados para processamento no exterior, evidenciando uma oportunidade estratégica para desenvolver a indústria no país, gerar mais empregos e aumentar o valor agregado desses materiais no Brasil.

Assim como ocorre com as placas de circuito impresso, ainda não existe capacidade industrial instalada para a reciclagem de terras raras no país. No entanto, há iniciativas em desenvolvimento que buscam incorporar esse componente à construção da cadeia nacional.[77]

No Brasil, ainda não existem estimativas consolidadas sobre o potencial de recuperação de ETR a partir de REEE, o que indica uma lacuna relevante de conhecimento para o planejamento do setor. Em contraste, estimativas internacionais apontam que cerca de 7.200 toneladas de terras raras são perdidas anualmente no mundo em razão do descarte de equipamentos eletroeletrônicos. No contexto europeu, o Critical Raw Materials Act estabelece como meta que 25% da demanda por matérias-primas críticas sejam atendidos por meio da reciclagem. Para apoiar esse objetivo, iniciativas europeias, como o LIFE INSPIREE, buscam desenvolver soluções tecnológicas para a recuperação de terras raras contidas em resíduos eletroeletrônicos, contribuindo para a segurança de suprimento e a redução da dependência externa.

Na América Latina, a gestão de resíduos eletroeletrônicos vem sendo construída a partir de diferentes iniciativas complementares – desde a produção de dados e diagnósticos (E-waste LATAM), passando pela articulação entre países (Plataforma RELAC) e capacitação técnica (EWAM), até programas mais estruturados de cooperação, como o Projeto de Resíduos Eletroeletrônicos na América Latina (PREAL). Embora o Brasil participe de algumas dessas iniciativas, não integrou o núcleo de países do PREAL, o que sugere uma inserção regional mais limitada, com possíveis implicações para a disponibilidade de dados, a integração da cadeia e o desenvolvimento tecnológico. Nesse contexto, o fortalecimento da cooperação regional e da interação entre países pode contribuir para o desenvolvimento de cadeias produtivas mais integradas, incluindo cadeias reversas, com potencial de ganho de escala, eficiência e agregação de valor na região.

Embora ainda não exista uma cadeia estruturada de reciclagem de terras raras no país, há iniciativas em desenvolvimento que buscam incorporar esse componente à construção da cadeia nacional.[78]

---

[77] FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. (2025, 22 de maio). *Brasil dá passo histórico com primeira entrega de óxidos de terras raras reciclados pela Viridion*. https://www.fiemg.com.br/sala-de-imprensa/noticias/brasil-da-passo-historico-com-primeira-entrega-de-oxidos-de-terras-raras-reciclados-pela-viridion/

[78] FIEMG – Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. (2025, 22 de maio). *Brasil dá passo histórico com primeira entrega de óxidos de terras raras reciclados pela Viridion*.

Nesse contexto, a circularidade surge como potencial instrumento de segurança de suprimento, diversificação de fontes e agregação de valor, além de contribuir para a agenda ambiental. Seu avanço, contudo, depende da consolidação de escala mínima industrial, da disponibilidade de resíduos economicamente aproveitáveis, da estruturação de sistemas de coleta e logística reversa e, sobretudo, do amadurecimento de rotas tecnológicas domésticas e arranjos institucionais apropriados.

Outra oportunidade em curto prazo é a recuperação de perdas industriais, rejeitos e materiais já mobilizados por cadeias minerais e industriais existentes. Em médio e longo prazo, a tendência é que a circularidade se torne parte integrante de uma estratégia mais ampla de adensamento da cadeia nacional, articulando mineração, processamento, manufatura e reciclagem.

3.4. Arcabouço regulatório e políticas nacionais

Legislação e regulação

O arcabouço legal da mineração no Brasil é estruturado de forma hierárquica e integrada, reunindo normas constitucionais, infraconstitucionais e infralegais, além de instrumentos regulatórios em diferentes níveis federativos, conforme ilustrado pela tabela abaixo. A Constituição Federal de 1988 apresenta os fundamentos do setor, definindo que os recursos minerais pertencem à União e estabelecendo as condições para sua exploração.

No plano infraconstitucional, o Código de Mineração é o principal instrumento normativo e regulamenta o aproveitamento dos recursos minerais, os direitos e deveres dos titulares e as modalidades de outorga para pesquisa e lavra. O código é complementado por outras leis e decretos, incluindo resoluções e portarias, com destaque às da Agência Nacional de Mineração, responsável pela regulação técnica e fiscalização do setor e da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear, no que se refere à segurança nuclear e radiológica. A gestão dos direitos minerários é conduzida pela ANM, enquanto o Serviço Geológico do Brasil atua na produção de informações geocientíficas.

Os diferentes regimes de aproveitamento mineral estão previstos no Código de Mineração e em seu Regulamento, sendo relevantes para a ENTR os regimes de autorização de pesquisa e de concessão de lavra, complementares e interconectados entre si. A autorização de pesquisa confere ao titular o direito de realizar estudos geológicos e avaliar o potencial econômico da jazida, enquanto a

https://www.fiemg.com.br/sala-de-imprensa/noticias/brasil-da-passo-historico-com-primeira-entrega-de-oxidos-de-terras-raras-reciclados-pela-viridion/

concessão de lavra autoriza a extração dos recursos minerais, conforme as condições estabelecidas pelo poder público.

Complementarmente, a atividade mineral está sujeita ao licenciamento ambiental, estruturado a partir da Política Nacional do Meio Ambiente e da Lei Geral do Licenciamento Ambiental, que estabelece normas gerais em âmbito nacional. A legislação define os procedimentos de licenciamento, os tipos de licença e os instrumentos de avaliação de impacto ambiental, incluindo o Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo Relatório (EIA/RIMA). A Lei nº 15.190/2025 institui modalidades como a Licença por Adesão e Compromisso (LAC) e dispõe sobre a padronização de procedimentos e a distribuição de competências entre os entes federativos.

No âmbito socioambiental, destaca-se que a Consulta Prévia, Livre e Informada (CPLI), conforme a Convenção nº 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT), é obrigatória quando empreendimentos minerários possam afetar povos indígenas e comunidades tradicionais, devendo ser realizada previamente às etapas de licenciamento e ao longo de todo o processo, com base no princípio da autoidentificação desses povos. Nos casos em que o licenciamento ambiental é de competência federal, a FUNAI e a Fundação Cultural Palmares (FCP) participam da análise de impactos sobre povos indígenas e comunidades quilombolas, conforme a Portaria Interministerial nº 60/2015. A FUNAI também apoia processos relacionados à elaboração de Protocolos Autônomos de Consulta, enquanto a Fundação Cultural Palmares atua em ações relacionadas à autoatribuição, ao reconhecimento de comunidades quilombolas e à observância do direito à CPLI. Ainda assim, a garantia do direito à consulta também permanece relevante em empreendimentos submetidos ao licenciamento estadual.

A ENTR deve considerar que os processos de consulta prévia, livre e informada exigem abordagens contínuas, territorialmente contextualizadas e compatíveis com as especificidades socioculturais de cada comunidade, não se limitando a procedimentos pontuais vinculados ao licenciamento ambiental. Nesse contexto, os Protocolos Autônomos de Consulta elaborados pelos próprios povos e comunidades e reconhecidos pela jurisprudência brasileira, tornam-se instrumentos relevantes para ampliar a previsibilidade, legitimidade e segurança jurídica dos empreendimentos. Também é importante considerar que a incidência das salvaguardas associadas à CPLI não depende necessariamente da conclusão definitiva de processos de certificação, reconhecimento ou regularização territorial, podendo ser relevante em contextos nos quais esses processos ainda estejam em andamento.

O alinhamento a referenciais internacionais já citados neste relatório, como o IRMA e as diretrizes do ICMM, pode contribuir para estruturar mecanismos mais

robustos de governança territorial, transparência e engajamento social, reduzindo riscos de conflito e judicialização ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

Além disso, a mineração é regulada por normas relacionadas à gestão de resíduos, à proteção do patrimônio cultural, aos direitos de povos e comunidades tradicionais, ao ordenamento territorial e ao uso do solo, bem como pela legislação trabalhista e por normas de saúde e segurança ocupacional. Esse conjunto de regras é aplicado em articulação com regulamentações estaduais e municipais, conforme as competências de cada ente federativo.

Estados com forte atividade mineral, como Minas Gerais, Pará, Goiás e Bahia, apresentam marcos regulatórios e arranjos institucionais mais desenvolvidos para o setor, incluindo normas e procedimentos específicos de licenciamento ambiental, em articulação com a legislação federal.

É importante considerar o avanço da tramitação do Projeto de Lei nº 2780/2024, que institui a Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE) e foi aprovado pela Câmara dos Deputados, seguindo atualmente para apreciação no Senado Federal. O texto em tramitação propõe diretrizes voltadas ao fortalecimento da cadeia de minerais críticos e estratégicos, incluindo incentivo à pesquisa, lavra, beneficiamento, transformação mineral e agregação de valor no território nacional, além de mecanismos de coordenação institucional e priorização de projetos estratégicos. Entre os instrumentos previstos, destacam-se a criação do Conselho Nacional para Industrialização de Minerais Críticos e Estratégicos (CIMCE), do Fundo Garantidor da Atividade Mineral (FGAM), do Programa Federal de Beneficiamento e Transformação de Minerais Críticos e Estratégicos (PFMCE), do Certificado Mineral de Baixo Carbono (CMBC), do Cadastro Nacional de Projetos de Minerais Críticos e Estratégicos (CNPMCE), bem como da Rede Nacional de Pesquisa, Desenvolvimento Tecnológico e Formação Profissional em Minerais Críticos e Estratégicos (RNMCE).

Tabela 30. Principais marcos legais da mineração no Brasil

Norma/ Instrumento	Ano	Principais aspectos
Constituição Federal	1988	Define que os recursos minerais pertencem à União; estabelece princípios da ordem econômica e proteção ambiental.
Código de Mineração (Decreto-Lei nº 227)	1967	Regime jurídico da mineração: direitos, deveres, títulos minerários e procedimentos de pesquisa e lavra.
Lei nº 9.314	1996	Consolida regimes de aproveitamento mineral e competências institucionais.

Decreto nº 10.965	2022	Moderniza o Código de Mineração (simplificação, transparência e eficiência).
Lei nº 13.575	2017	Cria a ANM, responsável pela regulação e fiscalização do setor.
Decreto nº 11.108/2022	2022	Institui a Política Mineral Brasileira e o Conselho Nacional de Política Mineral (CNPM).
Decreto nº 11.482	2023	Dispõe sobre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI).
Lei nº 14.066	2020	Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB); reforça responsabilidades e proíbe alteamento a montante.
Decreto nº 97.632	1989	Institui o PRAD (recuperação de áreas degradadas).
Decreto nº 10.657/2021	2021	Define critérios para minerais estratégicos.
Resolução MME nº 2/2021	2021	Define a lista de minerais estratégicos e institui o Pró-Minerais Estratégicos.
Lei nº 14.514/2022	2022	Regula mineração e comercialização de minerais e materiais nucleares.
Lei nº 7.990/1989	1989	Institui a CFEM (*royalties* da mineração).
Lei nº 13.540/2017	2017	Atualiza base de cálculo, alíquotas e distribuição da CFEM.
Lei nº 6.938/1981	1981	Base do licenciamento ambiental (EIA/RIMA).
Lei Complementar nº 140/2011	2011	Define as competências entre União, estados e municípios no licenciamento.
Lei nº 9.605/1998	1998	Lei de crimes ambientais, define sanções penais e administrativas por danos ambientais.
Lei nº 9.985/2000	2000	Regula áreas protegidas, impactando a viabilidade minerária.
Lei nº 15.190/2025	2025	Lei Geral do Licenciamento Ambiental.
Políticas e estratégias para minerais críticos	2021–atual	Diretrizes para segurança de suprimento, inovação, agregação de valor e inserção global.
Resoluções, portarias e instruções normativas (ANM e outros órgãos)	Contínuo	Detalham procedimentos técnicos, operacionais e padrões regulatórios.
Legislação estadual e municipal	Contínuo	Licenciamento ambiental, ordenamento territorial e uso do solo.

Fonte: Elaboração própria.

Planos e políticas nacionais

O desenvolvimento da cadeia nacional de terras raras depende de um ambiente industrial dinâmico e incentivado, capaz de sustentar investimentos, inovação e adensamento produtivo. Nesse contexto, a estratégia nacional de terras raras deve estar alinhada à Nova Indústria Brasil e articulada a agendas complementares, como a Política Pró-Minerais Estratégicos, o Plano de Transformação Ecológica, o Plano Nacional de Transição Energética, a Taxonomia Sustentável Brasileira e a Política de Economia Circular, de modo a viabilizar a integração entre política industrial, transição energética, sustentabilidade e financiamento. Com base nesse arranjo pré-existente de políticas e programas federais, a estratégia deve ir além da expansão da extração mineral, priorizando o adensamento da cadeia produtiva no território nacional, garantindo a inserção qualificada do Brasil nas cadeias globais de mobilidade sustentável, transição energética e tecnologias digitais.

A efetivação dessa estratégia requer uma abordagem integrada ao longo de toda a cadeia de valor, desde a prospecção mineral até a circularidade dos materiais. Na fase inicial, o Plano Clima orienta a incorporação de análises de risco e vulnerabilidade climática, buscando a resiliência dos empreendimentos. No segmento upstream, destacam-se o uso de instrumentos financeiros não reembolsáveis para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis (NIB) e a necessidade de redução da intensidade de emissões, com a incorporação de fontes energéticas renováveis nas operações minerárias (Plano Clima).

No segmento upstream, políticas mineral, industrial, ambiental, energética e climática convergem, combinando instrumentos de fomento à inovação – como financiamentos não reembolsáveis previstos na Nova Indústria Brasil – com diretrizes de mitigação climática voltadas à redução de emissões e ao uso de fontes renováveis nas operações minerárias, do Plano Clima. A esse conjunto somam-se, ainda, orientações relativas à segurança de suprimento de minerais estratégicos (Plano Nacional de Transição Energética), à descarbonização das cadeias produtivas (Plano de Transformação Ecológica) e aos critérios de financiamento sustentável (Taxonomia Sustentável Brasileira), bem como aos parâmetros de expansão sustentável da produção mineral estabelecidos pela minuta do Plano Nacional de Mineração 2050. Além disso, o PL 2780/2024 prevê a criação do Certificado Mineral de Baixo Carbono (CMBC), de adesão voluntária, voltado à valorização de atividades de pesquisa, lavra, beneficiamento, transformação mineral e mineração urbana com menor intensidade de carbono.

No midstream, a estratégia deve priorizar a agregação de valor no território nacional, evitando a exportação de bens primários e estimulando a internalização de etapas industriais intermediárias. Essa orientação está alinhada à Nova

Indústria Brasil, que enfatiza o adensamento das cadeias produtivas, e é reforçada pelo Plano de Transformação Ecológica, ao promover a expansão de atividades de maior complexidade tecnológica e menor intensidade de carbono. Adicionalmente, a Política Pró-Minerais Estratégicos, atualmente em reformulação, contribui ao incentivar a estruturação de projetos prioritários com maior integração industrial, enquanto políticas energéticas e climáticas também incidem sobre o segmento: o Plano Nacional de Transição Energética destaca a necessidade de produção doméstica de insumos estratégicos, enquanto o Plano Clima orienta a redução de emissões e o aumento da eficiência energética nos processos industriais.

Na etapa downstream, destaca-se o desenvolvimento de cadeias produtivas associadas a ímãs de terras raras, fundamentais para motores elétricos e aerogeradores. Esse direcionamento está alinhado à Nova Indústria Brasil, que prioriza o fortalecimento de cadeias industriais estratégicas e a produção nacional de equipamentos associados à transição energética, sendo complementado pelo Plano de Transformação Ecológica, ao promover a inserção em cadeias de baixo carbono. A Política Pró-Minerais Estratégicos reforça esse movimento ao priorizar projetos com maior potencial de inserção em cadeias globais, enquanto o Programa MOVER introduz requisitos de rastreabilidade e mensuração de emissões ao longo do ciclo de vida dos produtos, incentivando a produção com menor pegada de carbono, em linha com a crescente demanda por bens tecnológicos associada ao Plano Nacional de Transição Energética.

Para além das etapas produtivas, a consolidação da cadeia de terras raras depende de vetores transversais – em especial a inovação e a circularidade – que reconfiguram tanto os processos produtivos quanto o uso eficiente de recursos ao longo de todo o ciclo de vida dos materiais. Nesse sentido, é fundamental fortalecer o P&DI, com foco em materiais avançados, tecnologias de baixo carbono e soluções de *ecodesign* que facilitem a reciclagem de produtos contendo elementos de terras raras. Esse direcionamento está alinhado às prioridades tecnológicas da Nova Indústria Brasil, às diretrizes de descarbonização do Plano de Transformação Ecológica e aos princípios do Plano Nacional de Economia Circular, sendo ainda reforçado pelas orientações do Plano Clima e viabilizado por instrumentos de financiamento sustentável definidos na Taxonomia Sustentável Brasileira. Nesse contexto, a Política Pró-Minerais Estratégicos contribui para esse eixo ao estimular o desenvolvimento tecnológico associado a minerais críticos e ao priorizar projetos estruturantes com potencial de inovação ao longo da cadeia de valor. Complementarmente, a circularidade envolve a rastreabilidade de materiais, o estímulo à reciclagem e o combate à obsolescência programada, em linha com o PLANEC, e é reforçada pelo Plano Nacional de Energia ao reconhecer a mineração urbana como fonte secundária estratégica. Em convergência, o PL 2780/2024, em tramitação, incorpora diretrizes relacionadas à mineração urbana e à recuperação de minerais críticos a partir de

resíduos, fortalecendo estratégias de circularidade, segurança de suprimento e aproveitamento de materiais secundários na cadeia de terras raras.

No ambiente econômico, a Taxonomia Sustentável Brasileira orienta o direcionamento de investimentos para atividades alinhadas a critérios ESG, enquanto instrumentos de financiamento e crédito à inovação – como os operados por instituições como BNDES e FINEP – são fundamentais para o adensamento da cadeia produtiva. Nesse âmbito, a Política Pró-Minerais Estratégicos, atualmente em reformulação, contribui ao sinalizar prioridades nacionais e reduzir a percepção de risco para investidores, reforçando a atratividade de projetos estruturantes.

Por fim, a governança da estratégia exige coordenação interministerial e articulação multinível, integrando a atuação de governo, setor privado, academia e sociedade civil em alinhamento com as diretrizes da NIB e do Plano Clima. Nesse contexto, mecanismos de coordenação e priorização de projetos estratégicos podem contribuir para fortalecer a integração entre política mineral, industrial e energética, inclusive aqueles já previstos no PL 2780. A efetividade da estratégia nacional de terras raras dependerá, assim, da capacidade de articular, de forma coerente e contínua, os instrumentos regulatórios, financeiros e institucionais disponíveis, consolidando uma cadeia produtiva inovadora, resiliente e sustentável, inserida de maneira qualificada nas agendas industrial, energética e ambiental do país.

Tabela 31. Matriz de integração de políticas públicas e eixos da estratégia nacional de terras raras

Eixos / Políticas	Nova Indústria Brasil	Pró-Minerais Estratégicos	MOVER (Mobilidade Verde)	Plano Clima / NDC	PNE / PDE	PTE (Transformação Ecológica)	Taxonomia Sustentável	Economia Circular (PNRS)	Minuta PNM 2050
1. Conhecimento geológico	Apoio indireto	Mapeamento e priorização de recursos	—	Avaliação de riscos ambientais	Base para planejamento energético	Base para recursos da transição	Melhora classificação de projetos	—	Base do planejamento mineral
2. Upstream	—	Priorização de projetos estratégicos	Insumos para baterias e motores	Insumos para tecnologias de baixo carbono	Segurança de suprimento	Base material da transição	Atividades habilitadoras	—	Expansão sustentável da produção
3. Midstream	Industrialização	Estímulo à agregação de valor	Materiais para cadeia automotiva	Redução de emissões no processamento	Cadeias energéticas	Produção de insumos estratégicos	Financiamento industrial verde	—	Beneficiamento no país
4. Inovação	P&D e missões tecnológicas	Desenvolvimento tecnológico em MCE	Inovação em mobilidade elétrica	Tecnologias limpas	Apoio indireto	Inovação para descarbonização	Tecnologias sustentáveis	Reciclagem tecnológica	Capacitação tecnológica
5. Downstream	Cadeias industriais estratégicas	Inserção em cadeias globais	Componentes automotivos (magnetos, motores)	Apoio à transição	Atendimento à demanda energética	Produtos de baixo carbono	Produtos sustentáveis	—	Agregação de valor
6. Circularidade	Integração industrial	Complementaridade à oferta primária	Reciclagem de baterias	Redução de emissões	—	Eficiência de recursos	Atividades circulares elegíveis	Base normativa	Uso eficiente de recursos

7. Ambiente econômico	Incentivos e financiamento	Atração de investimentos prioritários	Incentivos à cadeia automotiva verde	Financiamento climático	Apoio indireto	Mobilização de capital	Financiamento verde	—	Ambiente de negócios
8. Governança	Coordenação industrial	Coordenação interministerial de projetos	Integração com política automotiva	Integração climática	Integração energético-mineral	Coordenação da transformação ecológica	Diretrizes ESG	—	Governança de longo prazo

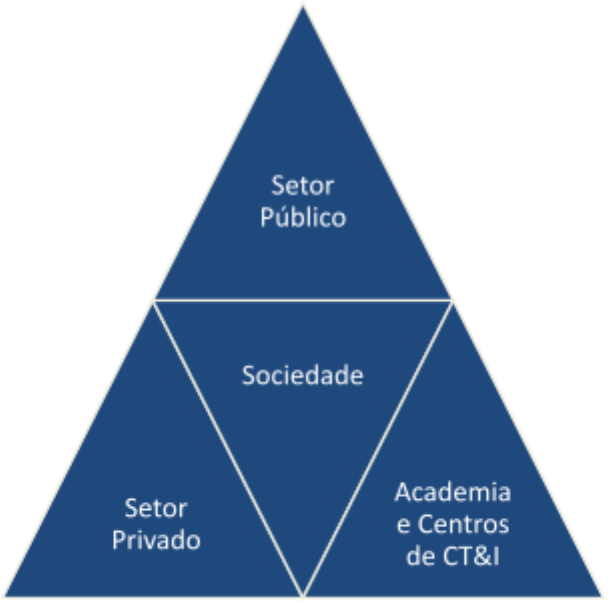
Fonte: Elaboração própria.

3.4. Ecossistema institucional e mapeamento de *stakeholders*

Objetivos e abordagem analítica do mapeamento de *stakeholders*

O mapeamento institucional e de *stakeholders* teve dupla finalidade no âmbito deste diagnóstico. Em primeiro lugar, buscou identificar os principais atores públicos, privados, acadêmicos e sociais que compõem o ecossistema brasileiro de terras raras, incluindo seus respectivos papéis, interesses e capacidades ao longo da cadeia de valor. Em segundo lugar, serviu de base para a definição da estratégia de engajamento adotada na pesquisa de campo, orientando a seleção de entrevistados e instituições visitadas. Além disso, o mapeamento permitiu avaliar, de forma preliminar, o grau de coordenação existente entre os atores e identificar lacunas de governança relevantes para a estruturação de uma estratégia nacional para o setor. Para a elaboração deste mapeamento, consideraram-se, como grupos de interesse ligados ao tema dos ETR, o governo, compreendendo os poderes Executivo e Legislativo nos diferentes níveis federativos, o setor privado, os centros de ciência, tecnologia e inovação juntamente com a academia, e a sociedade civil organizada (Figura 13).

Figura 13: Terras raras no Brasil – Grupos de Interesse



Fonte: Elaboração própria.

3.4.1 Setor Público

No campo governamental, a agenda de terras raras envolve um conjunto amplo e heterogêneo de instituições. Na esfera do Legislativo federal, o destaque recai sobre o Congresso Nacional, em especial sobre a Frente Parlamentar da Mineração Sustentável, com atuação tanto na Câmara dos Deputados quanto no Senado Federal. Na Câmara, destaca-se o PL 2780/2024, de autoria do deputado Zé Silva e relatoria do deputado Arnaldo Jardim, que propõe a instituição da Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos com o objetivo de fomentar, de forma sustentável, a pesquisa, a lavra e a transformação desses minerais. O projeto, que foi recentemente aprovado na Câmara dos Deputados e atualmente está em tramitação no Senado, prevê incentivos fiscais, flexibilizações regulatórias, e priorização de projetos, dentre os quais poderiam se inserir os voltados aos ETR. A Lei Geral do Licenciamento Ambiental nº 15.190, de 8 de agosto de 2025, dialoga com essa agenda ao acelerar etapas de licenciamento, embora seja criticada por segmentos da sociedade civil por flexibilizar exigências socioambientais já consideradas insuficientes. Ainda na Câmara, em 2026, foram propostos o PL 542, que institui moratória da exploração de minerais de terras raras em todo o território nacional, e o PL 500, que declara a área situada no Planalto Vulcânico do Sul de Minas Gerais e de São Paulo como uma reserva nacional de minerais de terras raras.

No Senado Federal, há um acúmulo de proposições desde 2013. Destacam-se o PL 8.325/2014 e o PL 529/2013, que propõem a instituição do Programa de Apoio ao

Desenvolvimento Tecnológico dos Minerais de Elementos Terras Raras e a Criação de Cadeia Produtiva (PADETR), bem como o PL 2210/2021, que propõe a criação da Política de Fomento ao Desenvolvimento Tecnológico da Cadeia Produtiva dos Minerais Componentes dos Elementos Terras Raras (PADT). Essas iniciativas convergem em torno da ideia de estruturar uma rede articulada de pesquisa, tecnologia e inovação que permita assegurar o domínio científico e tecnológico das diferentes fases da cadeia e agregar valor aos ETR. Em 2025, foi também apresentado o PL 2197, que limita as exportações de minerais estratégicos não processados, como as terras raras, tema que permanece intensamente debatido. Esse conjunto de proposições revela que o Legislativo se converteu em arena importante de formulação e disputa sobre o futuro da cadeia de ETR no Brasil.

No âmbito do Executivo federal, o ator central é o Ministério de Minas e Energia, por meio da Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. O Plano Nacional de Mineração (PNM) 2030 estabeleceu definições e diretrizes para minerais críticos e estratégicos, e o PNM 2050, em vias de publicação, tende a atualizar esse marco com ênfase maior na transformação mineral, no mapeamento geológico sistemático e na diversificação da matriz produtiva. Com base no PNM 2030, o Serviço Geológico do Brasil produziu, em 2015, o estudo "Avaliação do Potencial de Terras Raras no Brasil", que permanece como uma das principais referências públicas sobre o tema. Também merece destaque o Decreto nº 10.657, de 24 de março de 2021, que criou a Política Pró-Minerais Estratégicos, qualificando projetos no Programa de Parcerias de Investimentos e instituindo o Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos, com participação da Casa Civil, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República (GSI) e Ministério da Fazenda. Esse comitê passou a ter competência para incluir ou excluir minerais estratégicos da lista oficial definida pela Resolução nº 2.

No âmbito da Casa Civil, o Decreto nº 11.108, de 2022, definiu a atual Política Mineral Brasileira e reconheceu os ETR como prioridade, além de criar o Conselho Nacional de Política Mineral (CNPM). No campo da política industrial, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços assumiu papel crescente com a Nova Indústria Brasil, a recriação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial e a implementação do Programa de Mobilidade Verde (MOVER), que financiou o projeto do SENAI de Lagoa Santa voltado à produção de ímãs permanentes em escala-piloto. Esses instrumentos revelam que a agenda de terras raras não está restrita à política mineral, mas passou a se conectar também à política industrial, à mobilidade, à transformação tecnológica e à neoindustrialização.

Além desses órgãos, há instituições vinculadas de papel decisivo. A Agência Nacional de Mineração se destaca, entre outros pontos, pela disciplina da base de cálculo da CFEM a partir de preços de referência, embora os ETR ainda apareçam

na categoria residual de “outros”, com alíquota de 2%, gerando percepção de retorno territorial muito baixo em municípios mineradores. O Serviço Geológico do Brasil tem realizado levantamentos em estados como Rondônia, Roraima e Amazonas e integra o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT), que recebeu investimento de R$ 10,2 milhões ao longo de cinco anos para impulsionar o desenvolvimento de materiais inovadores à base de ETR. A Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) e as Indústrias Nucleares do Brasil (INB) também ocupam posição estratégica, na medida em que a presença de radionuclídeos naturais em parte dos depósitos e processos produtivos torna a dimensão radiológica componente central da governança da cadeia. Na interface público-privada, o BNDES tem desempenhado papel relevante no financiamento de projetos de minerais críticos e estratégicos e na gestão de fundos voltados à pesquisa, desenvolvimento e transformação mineral.

No plano subnacional, destacam-se os estados da Bahia, Goiás e Minas Gerais, onde se concentram projetos em operação, implantação ou pesquisa avançada. Minas Gerais, por meio da Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (SEDE/MG), lançou em 2025 o Plano Estadual de Mineração, apresentando projetos em andamento e propondo instrumentos de financiamento voltados à verticalização da cadeia. Goiás, por sua vez, lançou o Plano Estadual de Recursos Minerais (PERM 2040), com proposta de implantação de *clusters* minerais, em especial de minerais críticos e estratégicos, com participação ativa do Parque Tecnológico da Universidade Federal de Goiás (UFG). No estado, a governança do tema está dividida entre a Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Serviços e a Autoridade Estadual de Minerais Críticos. Na Bahia, o Vale do Jiquiriçá vem atraindo número crescente de empresas e projetos. Esse protagonismo dos estados é um ativo importante, mas também amplia a necessidade de coordenação mais clara com as diretrizes federais.

Na esfera municipal, Minaçu, em Goiás, ocupa posição singular por ser o único município com produção efetiva de carbonato de ETR até o momento. É também no município que se materializam, de forma mais imediata, as expectativas, tensões e impactos relacionados à implantação dos projetos, incluindo efeitos socioeconômicos, ambientais e políticos. Outros municípios merecem atenção por abrigarem projetos em fase de estudo ou implantação, como Nova Roma e Aparecida de Goiânia, relacionados ao projeto Aclara Mina Carina, além de Araxá e Poços de Caldas, em Minas Gerais, que concentram parte importante das reservas lavráveis do estado. Também aparecem municípios como São Francisco de Itabapoana, Conceição do Castelo e Caraguatatuba, que registram recebimento de CFEM de ETR, ainda que sem dados públicos robustos sobre produção efetiva. Nesse contexto, a Associação Brasileira de Municípios Mineradores (AMIG) se destaca como principal entidade representativa dos municípios mineradores, atuando junto ao poder público e participando ativamente do debate sobre política mineral.

3.4.2 Setor Privado e Associações do Setor

No campo empresarial, o setor é marcado por predominância de empresas estrangeiras, sobretudo australianas e canadenses, atuando nas etapas de prospecção, exploração e licenciamento ambiental. Entre as empresas mais relevantes estão Appia Rare Earths & Uranium, Aclara Resources, Meteoric Resources, Viridis Mining and Minerals, Atlas Critical Minerals, Brazilian Rare Earth e, de forma mais avançada, a Mineração Serra Verde, adquirida pela US Rare Earth, até aqui a única produtora efetiva de ETR no país. A presença dessas empresas confirma o forte interesse externo na base geológica brasileira, mas também evidencia que boa parte dos projetos ainda está em fase pré-operacional e depende de capital, licenciamento, engenharia e parcerias tecnológicas para avançar. A única operação comercial em curso tem sua produção comprometida contratualmente, o que reforça a relevância da inserção internacional da cadeia brasileira.

No âmbito das entidades empresariais, destacam-se o IBRAM, o Sindicato da Indústria da Mineração do Estado de Goiás e Distrito Federal, o Movimento Nacional da Mineração e Desenvolvimento e a recém-criada Associação de Minerais Críticos, que busca posicionar o Brasil como parceiro confiável, sustentável e geopoliticamente estável. Já do lado das indústrias consumidoras de ímãs permanentes, sobressaem empresas vinculadas à produção de motores para veículos elétricos, geradores para turbinas eólicas, equipamentos industriais, eletrônicos e setor médico. O projeto MAGBRAS, aprovado em edital estruturante do SENAI e da Fundep, representa iniciativa particularmente relevante por buscar construir um demonstrador industrial de ciclo completo para produção brasileira de ímãs de terras raras, da mineração à reciclagem, articulando sete instituições de ciência e tecnologia e 28 empresas. O projeto evidencia o potencial de articulação entre mineração, transformação mineral, inovação e demanda industrial, ainda que em estágio inicial.

3.4.3 Sociedade, Academia e Centros Tecnológicos e de Inovação

No campo da sociedade civil, podem ser destacados o Observatório da Mineração e o Movimento pela Soberania Popular na Mineração (MAM). Ambos mantêm posição crítica em relação ao avanço da mineração no Brasil sob a justificativa da transição energética, argumentando que a agenda de minerais críticos pode aprofundar o modelo extrativista, enfraquecer a capacidade regulatória do Estado e ampliar o sacrifício de territórios e populações, sobretudo na Amazônia e em áreas com presença de comunidades tradicionais. Essas organizações têm papel importante ao tensionar o debate público, introduzindo preocupações com justiça socioambiental, direitos humanos, consulta e proteção territorial. Embora essas posições frequentemente entrem em choque com as percepções de parte do setor produtivo e de formuladores de política, sua atuação é central para

compreender os conflitos e as disputas de legitimidade que atravessam a agenda de terras raras.

No ecossistema de ciência, tecnologia e inovação, o protagonismo recai sobre unidades do Senai em Minas Gerais e Santa Catarina, sobre o INCT - Terras Raras e sobre instituições como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) e SGB. O CIT SENAI ITR, em Lagoa Santa, reúne laboratório e usina-piloto para produção de ímãs e ligas de ETR, sendo o primeiro laboratório-fábrica dessa natureza no Hemisfério Sul, com capacidade de produção de 100 t/ano. O Senai de Santa Catarina, por sua vez, apresenta demonstrador industrial que contempla todas as etapas da cadeia, incluindo reciclagem. O INCT - Terras Raras articula 15 instituições em rede colaborativa voltada à ampliação do conhecimento sobre ocorrências geológicas, materiais avançados e formação de pesquisadores. Nesse ecossistema, o CETEM também desempenha papel relevante, tanto por sua tradição em pesquisa aplicada ao setor mineral quanto por sua inserção em redes estratégicas de pesquisa sobre materiais avançados e terras raras. Como unidade vinculada ao MCTI, o CETEM amplia a capacidade institucional brasileira de desenvolver rotas tecnológicas, caracterização mineral, aproveitamento de recursos e soluções aplicadas à cadeia de ETR.

3.4.4 O ecossistema brasileiro da cadeia de terras raras

A análise conjunta desse ecossistema revela que o Brasil já reúne um número expressivo de atores e iniciativas potencialmente mobilizáveis para o desenvolvimento da cadeia de terras raras. No entanto, a pesquisa de campo e a análise documental indicam que a governança dessa agenda permanece marcada por forte dispersão institucional. Embora a liderança formal da política mineral caiba ao Executivo federal, múltiplos ministérios e órgãos vêm adotando iniciativas paralelas com impacto sobre a cadeia, sem que haja, até o momento, clareza suficiente sobre sua articulação prática, metas comuns e mecanismos consistentes de coordenação. Mesmo o Conselho Nacional de Política Mineral, que reúne diferentes ministérios e representações, não tem operado com frequência compatível com a centralidade estratégica do tema. O resultado é um ambiente institucional em que coexistem diversas ações relevantes, mas ainda insuficientemente integradas em torno de uma visão nacional clara para o desenvolvimento da cadeia de ETR.

Esse problema é particularmente relevante, porque os recursos minerais pertencem à União, nos termos do art. 20 da Constituição Federal, o que atribui ao Poder Executivo federal papel central na condução da política mineral. Em uma agenda como a dos ETR, isso exigiria não apenas liderança formal, mas capacidade efetiva de alinhar objetivos, instrumentos, competências regulatórias e prioridades de investimento. Como apontado pelo Tribunal de Contas da União,

uma boa governança pública pressupõe regras claras, objetivos explícitos, transparência, prestação de contas e participação social. A análise realizada neste estudo sugere, contudo, que esses atributos ainda não se encontram plenamente consolidados no tratamento institucional dado às terras raras no Brasil.

Na prática, a agenda de ETR envolve simultaneamente o MME, o Ministério da Fazenda, a Casa Civil, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), o MCTI, o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA), além de reguladores, da ANSN, de bancos públicos, Institutos de Ciência e Tecnologia (ICTs), governos estaduais e municipais. Embora haja diversas iniciativas relevantes em curso, ainda é pouco nítida a forma como esses esforços se articulam entre si, sobretudo no que diz respeito à definição de prioridades nacionais para a industrialização da cadeia, à distribuição de responsabilidades e à construção de métricas e instrumentos de acompanhamento. A lacuna, portanto, não está apenas na ausência de políticas, mas na ausência de uma arquitetura institucional suficientemente coordenada para integrá-las.

Esse diagnóstico torna-se ainda mais evidente quando se observa a interface entre Executivo e Legislativo. O levantamento realizado mostra que há uma profusão de propostas legislativas relacionadas a minerais críticos, minerais estratégicos e ETR, muitas vezes em ritmos e direções distintas das agendas em formulação no Executivo, das preocupações dos movimentos sociais e das expectativas do setor produtivo. A Câmara dos Deputados e o Senado se tornaram arenas relevantes de disputa de narrativa sobre o significado estratégico das terras raras, o papel do Estado, o grau desejável de intervenção regulatória e os riscos associados à aceleração da mineração no país. Para parte do setor produtivo e de formuladores de política, o principal risco é perder a janela de oportunidade internacional; para parte dos movimentos sociais e atores territoriais, o principal risco é aprofundar conflitos socioambientais e reforçar padrões extrativistas sem contrapartidas adequadas.

A necessidade de maior coordenação entre diferentes níveis institucionais também se manifesta no plano federativo. Estados como Minas Gerais e Goiás têm avançado rapidamente na formulação de políticas próprias, no licenciamento ambiental e na atração de projetos de ETR. Esse protagonismo é relevante e positivo, mas faltam critérios mais claros de harmonização com as competências federais, sobretudo em matérias que envolvem radioatividade natural, impactos intermunicipais ou interestaduais e potencial necessidade de licenciamento federal. Observa-se a importância de fortalecer mecanismos de harmonização entre competências estaduais e federais. Nesse contexto, iniciativas voltadas à ampliação da coordenação e do alinhamento institucional podem contribuir para maior segurança regulatória, previsibilidade e integração das frentes de atuação.

Esse desafio aparece de forma especialmente sensível no tratamento dos materiais naturalmente radioativos (NORM). Como parte dos processos de mineração e beneficiamento de ETR pode envolver radionuclídeos naturais, a governança da cadeia depende da interação entre regulação mineral, licenciamento ambiental e fiscalização radiológica. A pesquisa indica que a falta de integração suficiente entre essas frentes constitui um dos pontos mais delicados da governança do setor. Em especial, a possibilidade de classificações radiológicas preliminares baseadas em dados autodeclaratórios, sujeitas a revisão posterior pela autoridade competente, a ANSN, pode criar situações em que um empreendimento já esteja sendo licenciado por órgão estadual quando venha a ser enquadrado em categoria mais sensível do ponto de vista radiológico. Esse tipo de desencaixe institucional amplia o risco de insegurança jurídica e judicialização e evidencia a necessidade de coordenação mais precoce entre os órgãos envolvidos.

Também merece destaque a dimensão sociopolítica da governança. A agenda de terras raras mobiliza percepções bastante distintas entre empresas, reguladores, governos locais, parlamento, academia, movimentos sociais e comunidades potencialmente afetadas. Para alguns movimentos sociais, a expansão da agenda de minerais críticos é percebida como parte de uma corrida pelos minerais que pode pressionar territórios protegidos ou em processo de reconhecimento, incluindo assentamentos rurais, unidades de conservação, terras indígenas e territórios quilombolas. Já para parte dos atores econômicos e governamentais, o risco maior é que a ausência de previsibilidade regulatória impeça o país de aproveitar uma janela estratégica de reposicionamento internacional. A coexistência dessas percepções não deve ser tratada como ruído periférico, mas como elemento constitutivo da governança do setor.

Em síntese, o ecossistema brasileiro de terras raras já reúne atores públicos, privados, científicos e sociais relevantes. Observa-se, contudo, a oportunidade de ampliar a coordenação entre instrumentos, políticas e instituições, bem como promover maior convergência em torno de prioridades, riscos e estratégias de desenvolvimento.. Nesse contexto, a construção da ENTR exigirá mobilizar capacidades já existentes e fortalecer mecanismos de articulação, coordenação e governança. A pesquisa primária apresentada na seção seguinte aprofunda esse diagnóstico ao identificar os principais achados transversais e as lacunas estruturais percebidas pelos atores consultados.

3.5. Evidências da pesquisa de campo, principais achados e lacunas

3.5.1 Metodologia de entrevistas, *survey*, visitas de campo e *workshops*

Com base no mapeamento institucional e de *stakeholders* apresentado na seção anterior, foi conduzida uma etapa de coleta primária de informações com o

objetivo de complementar a revisão documental e bibliográfica e aprofundar a compreensão sobre os principais entraves e oportunidades para o desenvolvimento da cadeia de terras raras no Brasil. Essa etapa combinou entrevistas semiestruturadas, formulário *online*, visitas de campo e *workshops*, buscando captar percepções de atores diretamente envolvidos nos processos de formulação de políticas, regulação, investimento, pesquisa, operação industrial e representação social.

A realização da pesquisa primária mostrou-se particularmente importante porque, embora já existam diversas ações em curso no país relacionadas aos ETR, essas iniciativas ainda se apresentam de forma fragmentada, distribuídas entre diferentes órgãos públicos, empresas, instituições científicas e atores territoriais. Nesse contexto, a escuta estruturada dos *stakeholders* permitiu não apenas validar informações levantadas na literatura, mas também identificar convergências, tensões e lacunas de coordenação que dificilmente seriam captadas apenas por meio de fontes secundárias. Entre os temas que emergiram com maior força na pesquisa estão a fragmentação da governança, a ausência de definição clara de prioridades nacionais para a industrialização da cadeia, a sobreposição de competências regulatórias e as diferentes percepções sobre licenciamento, risco ambiental e desenvolvimento territorial.

A etapa de coleta primária foi estruturada a partir de três instrumentos complementares: entrevistas semiestruturadas, *workshops* e visitas de campo. As entrevistas buscaram captar percepções qualificadas de representantes do setor público, setor privado, academia, centros tecnológicos, associações e sociedade civil. As visitas de campo permitiram observar, em contexto territorial e operacional, o estágio de desenvolvimento de projetos, capacidades tecnológicas, percepções locais e desafios concretos associados à cadeia de terras raras. Os *workshops* foram concebidos como espaços de validação de hipóteses e de escuta ampliada, funcionando como mecanismo adicional de consulta e discussão das soluções propostas.

A seleção dos entrevistados e das instituições visitadas foi orientada pelo mapeamento de *stakeholders* realizado na seção anterior, priorizando atores com papéis relevantes em diferentes elos da cadeia de valor e em dimensões transversais como regulação, financiamento, inovação, licenciamento, desenvolvimento territorial e sustentabilidade. Buscou-se contemplar, de forma equilibrada, representantes de órgãos públicos, empresas com projetos em diferentes estágios, instituições de ciência e tecnologia, entidades setoriais e atores territoriais.

As visitas de campo tiveram papel particularmente importante para complementar a escuta institucional com observação direta de iniciativas em andamento, capacidades instaladas e percepções locais sobre oportunidades e restrições ao desenvolvimento da cadeia. A presença em territórios diretamente

envolvidos com projetos e instituições relevantes permitiu qualificar o diagnóstico com elementos que dificilmente emergiriam apenas de entrevistas virtuais ou de análise documental. Ao mesmo tempo, a diversidade de posições identificadas entre órgãos públicos, empresas, movimentos sociais, municípios, reguladores e instituições de pesquisa foi tratada como insumo analítico do diagnóstico, e não como ruído metodológico, uma vez que essa pluralidade de visões constitui, ela própria, parte relevante do desafio de governança da ENTR.

Esta subseção apresenta uma descrição sintética da abordagem metodológica. Detalhamentos adicionais – como roteiros, perfis completos de respondentes, fichas de visita e instrumentos de coleta – encontram-se nos anexos. As próximas seções focam na sistematização dos principais achados e das lacunas estruturais identificadas ao longo do processo.

3.5.2 Principais achados da pesquisa primária

A pesquisa primária revelou um conjunto de achados recorrentes entre os diferentes grupos de atores consultados. Embora haja diferenças de ênfase entre governo, empresas, academia, financiadores e sociedade civil, observou-se relativa convergência em torno de alguns temas centrais, que ajudam a qualificar o diagnóstico do setor no Brasil. De modo geral, as entrevistas, visitas de campo e análises complementares confirmaram o diagnóstico já identificado na literatura: o Brasil dispõe de ativos geológicos, institucionais e tecnológicos relevantes, mas ainda enfrenta dificuldades para converter esse potencial em uma cadeia de valor adensada e competitiva. Ao mesmo tempo, os atores consultados demonstraram maior convergência quanto à existência de uma janela estratégica para o país do que quanto ao ritmo, à forma e aos instrumentos necessários para transformar essa oportunidade em vantagem competitiva duradoura. Na sequência, são apresentados os principais achados transversais da pesquisa primária.

Achado 1. O principal gargalo é industrial, não geológico

A percepção mais recorrente entre os entrevistados é que o principal desafio brasileiro não está na ausência de recurso mineral, mas na dificuldade de transformar essa base geológica em capacidade industrial. De forma geral, os atores reconhecem que o Brasil possui reservas expressivas, diversidade geológica e uma carteira crescente de projetos promissores no upstream, com potencial de produzir de maneira competitiva, inclusive em comparação com produtores asiáticos. O problema central no que tange a terras raras é construir condições para processá-las, refiná-las e utilizá-las em produtos de maior valor agregado no país.

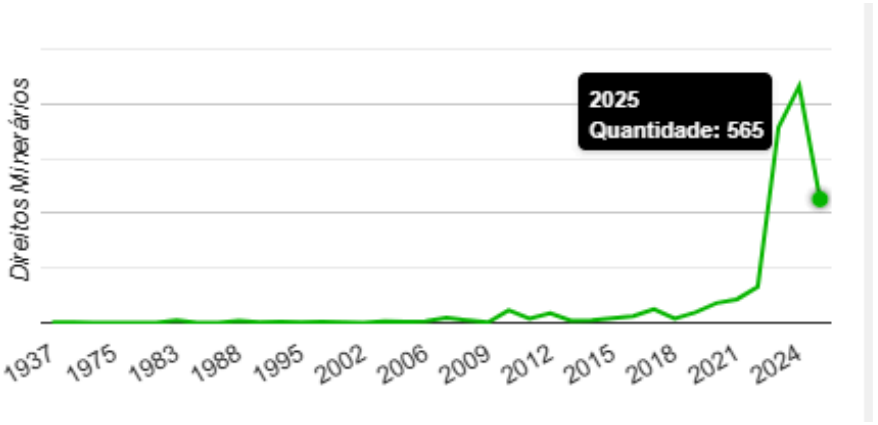
Esse diagnóstico não elimina a importância do conhecimento geológico, mas relativiza seu peso como gargalo principal. Segundo o SGB (ou Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM), o percentual de conhecimento do território brasileiro é de 27% na escala 1:100.000 e de 50% na escala 1:250.000. Esses

percentuais chegam a 44% e 70%, respectivamente, nos escudos do Pré-Cambriano, que concentram maior potencial para a descoberta de jazidas. Especialistas do SGB destacam que, apesar de esses percentuais poderem parecer baixos, eles são comparáveis aos observados em outras jurisdições, considerando que o detalhamento em maior escala tende a ser atribuição da iniciativa privada, com técnicas que variam conforme a substância de interesse. Também foi ressaltado que a Amazônia continua sendo a região de menor nível de conhecimento geológico, enquanto mais de 50% do território brasileiro fora da Amazônia já conta com mapeamento em escala 1:100.000. Em 2023, o governo federal anunciou investimento de R$ 307 milhões no SGB, parte do qual se espera que seja destinada ao plano decenal de expansão do mapeamento geológico do país, implementado em 2024.

No caso específico dos ETR, o SGB realizou estudo amplo em 2015, além de estudos mais recentes, e atualmente busca atualizar e expandir essas publicações, inclusive por meio de acordo firmado com o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) para aprofundar as pesquisas em Minas Gerais e Bahia. Em paralelo, o interesse privado pelo segmento aumentou fortemente: de 2018 a 2024, o número de processos de pesquisa para ETR passou de 19 para 1.008. Em 2025, houve reversão parcial dessa trajetória, com 565 processos registrados, mas a tendência agregada ainda indica forte aumento do apetite privado por áreas com potencial de terras raras.

Uma breve análise dos custos operacionais projetados pelas próprias empresas em relatórios técnicos independentes também reforça esse ponto. Em geral, os principais projetos brasileiros apresentam margens positivas, mesmo em cenários conservadores de preço. Como visto anteriormente, os custos projetados de projetos brasileiros aparecem em patamares competitivos. Isso sugere que a restrição central não está, em princípio, na ausência de recurso ou na inviabilidade mineral do upstream, mas na capacidade de fazer esses projetos avançarem no licenciamento, na engenharia, na operação estável e, sobretudo, na conexão com os elos subsequentes da cadeia.

Figura 14. ETR – direitos minerários ativos no Brasil, por ano.

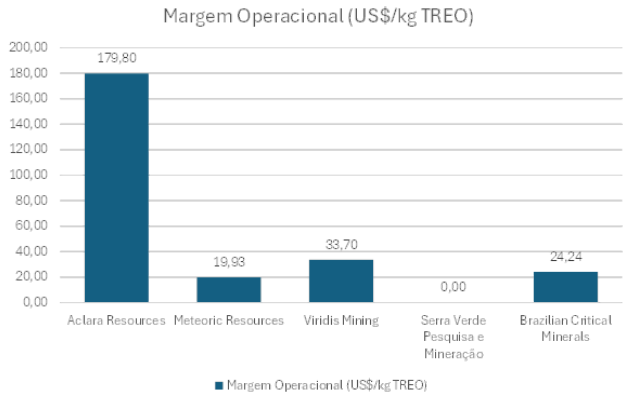


Fonte: Plataforma P3M.

A percepção mais recorrente entre os entrevistados é que o principal desafio está na dificuldade de transformar a base geológica em capacidade industrial. De forma geral, os atores reconhecem que o Brasil possui reservas expressivas, diversidade geológica e uma carteira crescente de projetos no upstream promissores com condições de produzir de maneira competitiva até mesmo quando comparado com os produtores chineses e asiáticos.

A análise de competitividade apresentada na seção 3.3 do relatório corrobora essa afirmação. Os custos operacionais projetados pelas empresas em seus relatórios técnicos independentes divulgados mostram que todos eles apresentam margem positiva para seus projetos, mesmo considerando cenários conservadores de preço para seus produtos.

Figura 15: Margem operacional (US$/kg TREO)



Fonte: Elaboração própria, com base em informações dos relatórios das empresas.

Contudo, é preciso que os projetos avancem nas etapas de licenciamento e de desenvolvimento de engenharia para que os números de projeto possam ser confirmados e criar o substrato econômico real que possibilite avançar para as demais etapas da cadeia.

Achado 2. Há convergência sobre a centralidade do midstream, mas incerteza quanto à rota mais viável

O elo de midstream aparece de forma quase unânime como o principal ponto de estrangulamento da cadeia brasileira. Empresas, pesquisadores e formuladores de política reconhecem que a separação e o refino constituem o salto mais importante de agregação de valor e, ao mesmo tempo, o elo de maior dificuldade técnica, financeira e regulatória. Ainda assim, a pesquisa primária sugere que não há consenso pleno sobre qual deveria ser a rota prioritária de avanço: alguns atores defendem o início por carbonatos e óxidos de maior pureza; outros enfatizam a separação seletiva de NdPr; e há também quem ressalte a relevância de metais, ligas e magnetos como horizonte de médio prazo. O ponto comum entre essas visões é o entendimento de que o Brasil precisa evitar tanto a permanência exclusiva no upstream quanto a ambição pouco realista de replicar integralmente, no curto prazo, uma cadeia industrial completa.

A pesquisa indica que o Brasil ainda está em fase inicial de curva de aprendizagem, e que o avanço consistente do midstream exigirá cooperação técnica, domínio de rotas químicas e maior maturidade operacional. O caso da Serra Verde ilustra bem esse desafio: embora a empresa tenha iniciado produção-piloto em 2023, os estudos sobre rotas tecnológicas remontam a 2015-2016, evidenciando um longo processo de testes, ajustes e correções. Ajustar uma rota tecnológica às características específicas da jazida é condição necessária para reduzir riscos ambientais e aumentar a estabilidade operacional. Informações públicas divulgadas por mídias especializadas e pela própria empresa sugerem investimento total esperado da ordem de US$ 682 milhões, incluindo o último empréstimo de US$ 565 milhões da Corporação Financeira dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (DFC). Considerando os principais projetos de ETR em desenvolvimento no Brasil, esse patamar é coerente com a natureza desses empreendimentos e reforça a intensidade de capital exigida pela cadeia.

Nesse contexto, o *pipeline* de projetos brasileiros é um ativo importante, porque mostra que a agenda de terras raras no país já não se restringe a um único empreendimento em operação. Levando-se todos os principais projetos adiante, espera-se um aumento potencial de 38,7 mil toneladas de TREO apenas dentro do Brasil, o que corresponde a cerca de 10% da produção mundial apurada em 2025, segundo o U.S. Geological Survey. Esse dado é relevante porque mostra que a materialização do *pipeline* brasileiro teria peso não apenas doméstico, mas também internacional. Ainda assim, esse potencial continua condicionado ao avanço do licenciamento, à maturação de engenharia, à captação de recursos e à definição de rotas tecnológicas e comerciais viáveis.

Tabela 32. Principais projetos de terras raras em desenvolvimento no Brasil: CAPEX, estágio e potencial de expansão da oferta

Projeto	Operador	UF	Capex Inicial (USD MM)	Produto/Substância	Observação
Pela Ema (Fase 1 + Fase 2)	Serra Verde	GO	682	ETR	Produção comercial desde 1T24; aumento de capacidade para 6.500 t TREO
Caldeira	Meteoric Resources	MG	443	ETR	Em desenvolvimento, licenciamento obtido em dez;2025
Colossus	Viridis Mining & Minerals	MG	358	ETR	Em desenvolvimento, licenciamento obtido em dez;2025
Carina	Aclara Resources	GO	781	ETR	Início de construção previso para 1º sem. 27
Ema	Brazilian Critical Minerals	AM	55	ETR	Projeto em fase de scoping study

Fonte: Elaboração própria, com base em informações dos relatórios das empresas.

Ao mesmo tempo, quando se compara o patamar de investimentos dos projetos de terras raras em desenvolvimento no Brasil com projetos de mineração de outras substâncias em construção ou recentemente concluídos no país, observa-se que a intensidade de capital dos projetos de ETR é relevante, mas não excepcionalmente elevada em termos relativos. Em comparação com grandes projetos de ferro, cobre, níquel, potássio e ouro, os projetos de ETR no Brasil se situam em faixa de porte médio. Isso reforça uma conclusão importante da pesquisa: o caráter desafiador dos ETR decorre menos do volume absoluto de capital e mais da combinação entre complexidade tecnológica, riscos regulatórios, curva de aprendizagem, incerteza de mercado e dependência de competências e insumos ainda não consolidados no país.

Tabela 33. Intensidade de CAPEX de projetos de mineração selecionados no Brasil: comparação entre terras raras e outras commodities

Projeto	Operador	UF	Capex Inicial (USD MM)	Produto/Substância	Observação
Pela Ema (Fase 1 + Fase 2)	Serra Verde	GO	682	ETR	Produção comercial desde 1T24; aumento de capacidade para 6.500 t TREO
Caldeira	Meteoric Resources	MG	443	ETR	Em desenvolvimento, licenciamento obtido em dez;2025
Colossus	Viridis Mining & Minerals	MG	358	ETR	Em desenvolvimento, licenciamento obtido em dez;2025
Carina	Aclara Resources	GO	781	ETR	Início de construção previso para 1º sem. 27
Ema	Brazilian Critical Minerals	AM	55	ETR	Projeto em fase de scoping study
S11D / Serra Sul	Vale	PA	14.300	Fe	Em operação desde dez/2016
Serra Sul +20 Mtpy	Vale	PA	1.500	Fe	Construção. Startup previsto 2º sem/2026
Compact Crusher S11D	Vale	PA	755	Fe	45 Mtpa de capacidade adicional
CSN P15 / Casa de Pedra (Itabirito)	CSN Mineração	MG	2.900	Fe	Em implantação (2024–2028); nova planta beneficiamento 16,5 Mtpa
Minas-Rio	Anglo American	MG	190	Fe	Fase 3: Aumento de capacidade para 26,5 Mtpa
Pedra de Ferro + Porto Sul + FIOL I	Bamin	BA	3.700	Fe	Desenvolvimento de mina com solução logística integrada. 26 Mtpa
LHG Mining / Urucum + Santa Cruz (expansão)	LHG Mining	MS	1.000	Fe/Mn	Expansão de capacidade para 10 Mtpa
Cedro Mineração – Desenvolvimento de minas + logística	Cedro Participações	MG	985	Fe	Aumento de capacidade para 42 Mtpa + desenvolvimento de solução logística (portos)
Salobo III (expansão)	Vale Base Metals	PA	1.100	Cu	Ampliação da capacidade de 24Mtpa para 36 Mtpa
Tucumã	Ero Copper	PA	310	Cu	Produção comercial desde jul/2025; 27 ktpa
Tocantinzinho	G Mining Ventures	PA	458	Au	Produção comercial desde set/2024; 175koz por ano
Borborema	Aura Minerals	RN	188	Au	Produção comercial desde set/2025; ~83 koz Au/ano; 19 meses construção
Araguaia (FeNi)	Horizonte Minerals	PA	2.704	Ni (FeNi)	Em construção, em fase de revisão e aumento de capacidade
Autazes	Brazil Potash	AM	2.500	K	Pré-construção, licenciamento

Fonte: Elaboração própria, com base em informações dos relatórios das empresas.

Figura 16. Etapas da cadeia produtiva de ETR



Fonte: Elaboração própria com base em documentos e entrevistas (2026).

Do ponto de vista ambiental e social, as entrevistas mostraram que a percepção sobre o midstream é ambivalente. Parte importante dessa percepção está associada à radioatividade inerente à parte relevante dos depósitos de ETR. As empresas reconhecem a possibilidade de risco de contaminação por radionuclídeos, mas argumentam que esse risco pode ser mitigado com tecnologias adequadas e processos controlados. Por outro lado, a escassa realização de estudos técnicos independentes em escala compatível com futura operação industrial compromete a avaliação adequada dos impactos reais dos projetos.

A combinação entre baixa experiência acumulada das novas empresas, carência de validação independente e potencial de impactos cumulativos pode comprometer a confiança da população e elevar o risco de insegurança jurídica. Além disso, muitas das empresas em instalação são menores, ainda em busca de investidores, capital e parcerias, o que limita sua capacidade de absorver circunstâncias adversas em um setor em que cada jazida apresenta desafios muito específicos.

As entrevistas também reforçaram que a dependência externa do país vai além da mineração e inclui equipamentos, insumos e competências críticas. Laboratório-Fábrica de Ímãs de Terras Raras e plantas pilotos enfrentam desafios porque parte dos equipamentos dependem de fornecimento chinês, em um contexto de crescente resistência à transferência de tecnologia.

Ao mesmo tempo, parte dos entrevistados destacou que essa necessidade pode se converter em oportunidade estratégica. Remover a radioatividade no local da extração é mandatório, uma vez que não é sustentável transportar material radioativo e resíduos sem valor junto aos concentrados. Isso implica que o processamento deve ocorrer, em grande medida, no próprio local da extração, com reinserção simultânea dos rejeitos no solo minerado. Nessa perspectiva, a agregação de valor deixa de ser apenas uma opção discricionária e passa a integrar a própria lógica de sustentabilidade da cadeia, abrindo espaço para cooperação tecnológica e atração de empresas com domínio em extração, separação e reinserção de resíduos. As entrevistas mencionaram, nesse contexto, o potencial de parceria com países que dominam essas tecnologias.

Achado 3. O financiamento do escalonamento tecnológico é percebido como desafio crítico

Outro ponto fortemente recorrente diz respeito ao financiamento. A pesquisa confirmou que o principal problema é viabilizar a transição entre laboratório, planta-piloto, demonstração e escala industrial. Em termos práticos, há percepção disseminada de que o gargalo financeiro é particularmente severo no midstream e no downstream, nos quais investimento é intensivo, o retorno tem maturação mais longa e os riscos de mercado e tecnologia são mais elevados. Muitos atores percebem que o país já dispõe de competências científicas e de algum nível de infraestrutura tecnológica, mas carece de instrumentos mais adequados para reduzir o risco tecnológico, estruturar plantas intermediárias e apoiar a passagem para operações comerciais.

A pesquisa também mostrou que o financiamento deve ser entendido de forma ampliada, como parte de um conjunto de condições habilitadoras de mercado. Para o setor privado, o Estado deveria ter papel mais ativo na oferta de garantias financeiras, no fomento ao fomento à Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), na solução de gargalos de infraestrutura e, em certos casos, até na mitigação de riscos de preço por meio de instrumentos específicos. Os bancos públicos e fundos existentes vêm ampliando sua atuação, mas, na percepção de parte das empresas, especialmente das mineradoras juniores, as condições de acesso permanecem assimétricas e favorecem agentes maiores e mais capitalizados. Em um setor em que a maioria dos projetos em desenvolvimento ainda depende de capital de risco, engenharia em evolução e demonstração tecnológica, essa assimetria constitui gargalo crítico.

Achado 4. A questão do tório e dos NORM (Naturally Occurring Radioactive Material - material radioativo de ocorrência natural) aparece como gargalo em parte relevante da cadeia

A associação entre determinadas ocorrências minerais e materiais radioativos naturalmente presentes, incluindo tório e outros NORM, surgiu como tema

recorrente nas entrevistas e visitas, especialmente entre atores ligados à mineração, regulação e desenvolvimento de projetos. A percepção é que essa questão adiciona complexidade regulatória, custos, incertezas operacionais e obstáculos ao financiamento, notadamente em projetos envolvendo monazita ou outros minerais associados. Mais do que um tema estritamente técnico, a pesquisa sugere que o tratamento institucional dos NORM funciona, para parte dos atores, como gargalo estrutural à expansão de determinados segmentos da cadeia. Isso reforça a necessidade de abordagem coordenada e específica no âmbito da ENTR.

Achado 5: Há percepção ambivalente sobre o licenciamento: necessidade de celeridade, mas também de previsibilidade e legitimidade

O tema do licenciamento apareceu de forma recorrente, mas com ênfases distintas entre os grupos consultados. Entre empresas e parte dos atores governamentais, a percepção predominante é que o licenciamento precisa ser mais previsível, coordenado e célere, sobretudo para reduzir incerteza e melhorar a atratividade dos investimentos. Já entre atores territoriais e parte da sociedade civil, o foco recai menos na velocidade e mais na necessidade de garantir qualidade da avaliação, participação social, segurança ambiental e respeito a direitos. Nesse contexto, embora a CPLI esteja prevista no arcabouço legal, há percepção recorrente de insuficiência nos processos de escuta, o que tem levado ao aumento de contestações junto ao Ministério Público e à judicialização de empreendimentos. O ponto de convergência entre essas posições é que a previsibilidade institucional importa. Mais do que um debate simples entre "acelerar" ou "endurecer", a pesquisa sugere que o principal déficit está na falta de clareza, coordenação e confiança no funcionamento dos processos.

Achado 6: A demanda industrial futura é reconhecida como oportunidade, mas ainda pouco estruturada como mercado-âncora

As entrevistas indicam percepção crescente sobre o potencial de conexão entre a cadeia de terras raras e setores como mobilidade elétrica, energia renovável, automação, saúde e defesa. Contudo, também ficou claro que essa demanda ainda aparece de forma mais prospectiva do que estruturada. Muitos atores reconhecem que os setores usuários podem funcionar como âncoras para o downstream brasileiro, mas ainda há pouca articulação concreta entre projetos minerais, transformação industrial e potenciais compradores ou integradores domésticos. Isso sugere que a formação de mercado não ocorrerá automaticamente e dependerá de políticas de demanda, coordenação industrial e instrumentos de aproximação entre oferta mineral, processamento e setores usuários.

Achado 7: A necessidade de maior articulação institucional é percebida como tema transversal

A pesquisa primária confirmou, de forma bastante clara, a percepção de que o Brasil já dispõe de capacidades relevantes no governo, nas empresas, nas ICTs e nos territórios, mas que ainda há espaço para ampliar os mecanismos de coordenação entre essas frentes. Os entrevistados também destacaram a importância de maior clareza e alinhamento na repartição de competências entre entes federativos, especialmente entre os níveis estadual e federal, de modo a reduzir sobreposições processuais, aumentar a segurança regulatória e mitigar riscos de judicialização. Além disso, foi frequentemente mencionada a relevância de fortalecer a integração entre política mineral, política industrial, ciência e tecnologia, financiamento, regulação e sustentabilidade. Em síntese, os resultados indicam que o avanço da cadeia poderá ser favorecido não apenas pela criação de novos instrumentos, mas também pelo fortalecimento da articulação entre iniciativas e mecanismos já existentes.

Tabela 34. Quadro sobre síntese dos principais achados da pesquisa primária

Tema	Síntese do achado	Implicação para a ENTR
Gargalo principal	O principal desafio é industrial, não geológico	A estratégia deve priorizar agregação de valor, não apenas expansão da lavra
Midstream	Separação e refino são o principal elo crítico	É necessário estruturar um midstream seletivo e escalonável
Financiamento	Maior lacuna está no financiamento do salto entre piloto e indústria	Devem ser criados instrumentos de *de-risking* e apoio à demonstração
NORM (especialmente tório)	Tema é percebido como entrave para parte dos projetos	Exige abordagem específica de coordenação regulatória e institucional
Licenciamento	Debate central é previsibilidade, não apenas velocidade	A ENTR deve buscar segurança jurídica, coordenação e legitimidade
Demanda industrial	Existe potencial, mas ainda pouca estruturação de mercado-âncora	É preciso conectar oferta mineral a setores usuários prioritários
Coordenação	Percepção ampla sobre a importância de maior articulação institucional	A ENTR deve criar mecanismo claro de coordenação e governança

Fonte: Elaboração própria

Síntese conclusiva dos achados

Apesar dos avanços, o potencial geológico brasileiro só irá se concretizar se houver endereçamento das lacunas, que são principalmente de ordem industrial, financeira, regulatória, institucional e territorial. A produção mineral, o beneficiamento e o tratamento intermediário ainda são incipientes no país, ainda que plantas-piloto e iniciativas de demonstração venham ganhando tração, especialmente de 2024 em diante. O avanço dessas plantas depende de dois fatores intimamente relacionados: licenciamento e investimentos em pesquisa, desenvolvimento e engenharia, tanto nas etapas de extração quanto nas posteriores. Diante da mudança normativa recente no marco do licenciamento ambiental, seus efeitos sobre os novos ritos ainda não são mensuráveis. De um lado, espera-se maior celeridade; de outro, a efetividade da nova norma ainda é desconhecida, dada sua vigência recente. Por isso, a atenção a esses fatores nos próximos anos será decisiva para assegurar o desenvolvimento das capacidades da indústria de terras raras no curto e no médio prazo.

3.5.3 As lacunas

Os achados da pesquisa primária e da revisão documental indicam que os entraves ao desenvolvimento da cadeia de terras raras no Brasil não decorrem de um único fator isolado, mas de um conjunto de lacunas interdependentes que atravessam diferentes elos da cadeia e diferentes dimensões de política pública. Em termos sintéticos, essas lacunas podem ser organizadas em seis grupos principais: i) lacunas geológicas e de informação; ii) lacunas tecnológicas e industriais; iii) lacunas de capital humano, fornecedores e serviços especializados; iv) lacunas regulatórias e de licenciamento; v) lacunas de financiamento e de formação de mercado; e vi) lacunas territoriais, sociais e ambientais. A sistematização a seguir consolida esses desafios de forma estruturada, preservando os dados e percepções produzidas ao longo da pesquisa e orientando a definição de prioridades estratégicas para a ENTR.

1. **Lacunas geológicas e de informação**

O Brasil não parte de um quadro de desconhecimento absoluto, mas ainda enfrenta lacunas importantes na produção, atualização e uso estratégico das informações. A base pública de mapeamento geológico é relevante, porém desigual entre regiões, com destaque para menor nível de conhecimento na Amazônia. Também há necessidade de aprofundar informações aplicadas às diferentes tipologias de depósitos de ETR, melhorar a integração entre dados geológicos, inteligência de mercado e sinalização estratégica ao investimento, e ampliar a capacidade de atualização sistemática dos estudos públicos sobre terras raras. O desafio, portanto, para além do mapeamento, é transformar informação dispersa em inteligência setorial orientada à decisão.

2. Lacunas tecnológicas e industriais

As lacunas tecnológicas e industriais constituem o núcleo do problema brasileiro. A mineração e a produção de compostos começam a ganhar tração, mas o país ainda não dispõe de base consolidada em separação, refino, metalização, ligas, ímãs e componentes. Persistem incertezas sobre as rotas mais aderentes à base mineral nacional, escassa experiência operacional em escala industrial, forte dependência externa em equipamentos, reagentes, insumos e conhecimentos críticos, e fragilidade na passagem entre pilotos e operações comerciais. A questão da radioatividade associada a parte dos depósitos amplia ainda mais esse desafio, exigindo domínio tecnológico específico, maior capacidade institucional e cuidado redobrado com sustentabilidade e segurança. O *pipeline* de projetos em desenvolvimento é relevante, mas sua transformação em base industrial efetiva dependerá de licenciamento, engenharia, capital, aprendizagem operacional e coordenação estratégica. Cabe ressaltar a importância de sistemas estruturados de rastreabilidade das cadeias minerais para comprovação de origem, sustentabilidade e conformidade dos produtos, aspecto cada vez mais relevante para inserção internacional, sobretudo no mercado europeu.

3. Lacunas de capital humano, fornecedores e serviços especializados

O diagnóstico aponta lacunas expressivas em capital humano especializado e na base nacional de fornecedores e serviços de suporte à cadeia. Faltam supervisores, operadores e especialistas com experiência prática em mineração e processamento de ETR, assim como normas e instituições capazes de apoiar o funcionamento regular dos empreendimentos. Também é limitada a prontidão da base fornecedora em equipamentos, reagentes, peças, manutenção, metrologia, serviços analíticos e assistência técnica. Essa dimensão é agravada quando projetos dependem de pacotes tecnológicos externos que pouco absorvem a base de competências existente no país, o que enfraquece os incentivos para formação e retenção de profissionais. Em outras palavras, a lacuna não se restringe à planta industrial: envolve todo o ecossistema de bens, serviços e pessoas necessário para sustentar a cadeia.

4. Lacunas regulatórias e de licenciamento

Persistem lacunas relevantes na coordenação entre licenciamento mineral, ambiental e radiológico, especialmente em projetos com presença de NORM. A incipiência de mecanismos estruturados de transparência e participação social e falta de clareza sobre procedimentos, competências e exigências específicas amplia o risco de insegurança jurídica, sobreposição institucional e judicialização.

É importante destacar que a ocorrência de materiais radioativos naturais não é exclusiva da mineração de terras raras. Setores como fosfato, nióbio, titânio, zircônio, carvão mineral e petróleo e gás também operam sob protocolos específicos de controle radiológico e gestão ambiental. Nos projetos de mineração de Elementos de Terras Raras (ETR), os níveis de radioatividade variam conforme o tipo de depósito mineral: minerais como monazita tendem a apresentar maiores concentrações de tório e urânio, demandando controles radiológicos mais rigorosos, enquanto depósitos de argilas iônicas geralmente apresentam menores concentrações de NORM.

Empreendimentos envolvendo NORM estão sujeitos a rígidos protocolos nacionais e internacionais de radioproteção, incluindo monitoramento radiológico contínuo, controle ocupacional, gestão segura de rejeitos, sistemas de contenção, acompanhamento ambiental, além de planos de fechamento e recuperação ambiental. Essas práticas seguem diretrizes de organismos internacionais, como a International Atomic Energy Agency, e, no Brasil, são fiscalizadas por instituições como a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear.

Desta forma, no setor mineral, a avaliação de NORM é a etapa prevista nos projetos, e a ANSN classifica o nível de atividade radiológica com base na Norma CNEN NN 4.01 da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Contudo, a classificação preliminar utiliza informações fornecidas pelas próprias empresas, de natureza autodeclaratória. Dependendo dessa classificação, o licenciamento pode ser conduzido pelo Ibama ou por órgãos estaduais, conforme a Lei Complementar nº 140/2011. O problema apontado por diversos atores é que a ANSN tende a realizar análises mais detalhadas apenas em etapas posteriores, após o início do licenciamento ambiental, confirmando ou não a classificação preliminar. Caso o empreendimento venha a ser reclassificado em categoria mais sensível, pode haver conflito com processo de licenciamento já conduzido em outra esfera, criando um ponto importante de insegurança jurídica e favorecendo a judicialização.

Tabela 35. Classificação radiológica de instalações mínero-industriais segundo a Norma CNEN NN 4.01.[79]

Classificação da Instalação	Concentração de atividade total dos radionuclídeos das séries naturais do urânio e/ou tório
Categoria I	superior a 500 Bq/g
Categoria II	entre 500 Bq/g e 100 Bq/g
Categoria III	inferior a 100 Bq/g e superior a 10 Bq/g

[79] A norma CNEN NN 4.01 não se aplica a (i) instalações mínero-industriais que apresentem concentração de atividade das substâncias radioativas sólidas naturais ou concentradas abaixo de 10 Bq/g; (ii) instalações destinadas à extração de urânio e/ou tório, as quais são reguladas pela Norma CNEN NE 1.13; (iii) instalações reguladas pela Norma CNEN NN 6.02 Licenciamento de Instalações Radiativas.

Isenta da NORMA CNEN NN 4.01	Inferior a 10 Bq/g

Fonte: Elaboração própria.

A pesquisa também sugere que a fragilidade regulatória não se limita ao tratamento da radioatividade. Ela se manifesta ainda na coexistência de iniciativas estaduais e federais nem sempre plenamente articuladas, inclusive em estados que vêm avançando rapidamente no licenciamento ambiental de projetos de ETR. Em contextos com potencial presença de radionuclídeos naturais e impactos intermunicipais ou interestaduais, essa fragmentação pode gerar dúvidas sobre a competência adequada e sobre a suficiência dos procedimentos adotados. Assim, o principal déficit regulatório não está apenas na duração do licenciamento, mas na falta de previsibilidade, coordenação entre instâncias e confiança técnica no processo.

Uma implicação prática desse diagnóstico é a necessidade de antecipar o tratamento dos temas críticos para fases anteriores ao licenciamento ambiental propriamente dito. A pesquisa de campo sugere que um levantamento prévio de pontos críticos – incluindo nível de atividade radiológica no minério e nos rejeitos, impacto potencial sobre recursos hídricos, delimitação de bacias afetadas e identificação de comunidades presentes, inclusive em processo de reconhecimento – poderia reduzir riscos para comunidades, melhorar a qualidade da avaliação e diminuir a probabilidade de judicialização. A própria ANSN reconhece limitações no modelo atual e estuda aprimoramentos na norma 4.01.

5. Lacunas de financiamento e de formação de mercado

O principal desafio financeiro está no escalonamento tecnológico e industrial, especialmente entre laboratório, planta-piloto, demonstração e produção comercial. Além da dificuldade de acesso a capital compatível com esse perfil de risco, persiste a deficiência de instrumentos de *de-risking,* apoio à demonstração industrial e mitigação de incertezas de mercado. Também há lacuna importante na formação de demanda e de mercado âncora para produtos de maior valor agregado, sobretudo no downstream. Sem conexão mais concreta entre oferta mineral, processamento e setores usuários prioritários, parte dos investimentos industriais tende a permanecer sem sustentação econômica suficiente.

Esse quadro é agravado por divergências políticas e regulatórias sobre o próprio modelo de inserção internacional da mineração brasileira. A pesquisa identificou, por exemplo, propostas legislativas que defendem restringir exportações brutas de minerais como forma de induzir a agregação de valor doméstico. Embora partam de preocupação legítima com a reprimarização, essas propostas também suscitam forte reação negativa de empresas e investidores, que as percebem como fator adicional de incerteza. Isso indica que a formação de mercado e de

condições habilitadoras passa também por maior previsibilidade quanto às regras do jogo e ao horizonte da política pública.

6. Lacunas territoriais, sociais e ambientais

Por fim, o diagnóstico mostra que o desenvolvimento da cadeia enfrenta lacunas territoriais, sociais e ambientais significativas. O caso de Minaçu ilustra que, mesmo com produção em expansão, o retorno fiscal territorial pode permanecer limitado se a atividade estiver concentrada em compostos e exportação de materiais intermediários. Em 2025, o valor da operação de ETR foi de R$ 95 milhões, as exportações alcançaram US$ 12 milhões, equivalentes a R$ 66 milhões, e a CFEM recolhida foi de R$ 1,9 milhão. Em cenário de plena produção, o impacto estimado sobre a receita municipal permanece modesto, embora a atividade responda por parcela expressiva do emprego formal local. Isso reforça que o principal benefício direto tende a ser o emprego, e que a ampliação dos ganhos territoriais dependerá de maior agregação de valor, encadeamentos produtivos e desenvolvimento de fornecedores locais.

Além disso, persistem preocupações recorrentes relacionadas à pressão sobre a infraestrutura e os serviços públicos locais – como saúde e educação –, especialmente em municípios de pequeno porte, bem como riscos associados à remoção involuntária de populações, à contaminação ambiental (incluindo recursos hídricos) e aceitação social dos projetos, consulta livre, prévia e informada e impactos sobre comunidades tradicionais e territórios em processo de reconhecimento. Assim, a viabilidade de longo prazo da cadeia dependerá não apenas de sua competitividade econômica, mas também de sua capacidade de construir legitimidade territorial e repartir benefícios de forma mais robusta.

Síntese das lacunas

Em conjunto, essas lacunas mostram que o desafio brasileiro em terras raras é multidimensional. Ele não será resolvido apenas com expansão da mineração, nem apenas com um único instrumento de inovação, financiamento ou regulação. O desenvolvimento da cadeia exigirá abordagem integrada, conectando informação geológica, política industrial, CT&I, financiamento, regulação, desenvolvimento territorial, sustentabilidade e inserção internacional. É a partir dessa leitura que se tornam mais claras as oportunidades concretas de agregação de valor e as prioridades estratégicas a serem detalhadas na seção seguinte.

Tabela 36. Impactos econômicos da mineração de ETR em Minaçu (2025) e projeção da plena capacidade

Variáveis	2025	Plena produção
Quantidade produzida (em t)	100	5.000
Valor estimado R$/t (com base no ComexStat-MDIC)	97	97
Valor da produção (R$ mil, ANM)	94.717	484.250
Valor da CFEM (2%) (R$ mil, ANM)	1.894	9.685
Valor da CFEM recolhido pela SAMA em 2025 (R$ mil, ANM)	11.700	-
Impacto estimado na receita municipal (60% da CFEM* R$ 225 milhões)	**0,5%**	**2,6%**
Impacto no emprego local (MSV = 1000 empregos/ total emprego 3.800 – CAGED/MTE)	**32%**	**32%**
Exportações de minerais 2025 (USD 12 milhões = R$ 66 milhões, ComexStat-MDIC)	0,05% do total	-

Fonte: Elaboração própria.

Apesar de não ser possível indicar o número exato sobre fornecedores e valores de compras locais que atendem à operação por categoria, tais como manutenção, logística, serviços técnicos, entre outros serviços, é possível estimar alguns múltiplos e desdobramentos a partir das informações listadas no Plano de Comunicação da Serra Verde divulgado em 2020[80], bem como uso de *proxies* dos impactos econômicos derivadas do Programa Vale Partilhar[81] e Relatório de Sustentabilidade da CBMM[82], ambos usados para projetos de grandes operações minerais no Brasil.

Com relação à questão da indução de empregos, à época da divulgação do plano de comunicação, a Serra Verde previu um quantitativo de 400 pessoas empregadas após início da operação e cerca de 1,2 mil indiretos. Ou seja, calculando-se o multiplicador geral, conforme racional abaixo, temos:

$$\frac{400 + 1.200}{400} = 4{,}0x$$

Assim, para aferir o efeito mais próximo da realidade local, levando em consideração que o valor de empregos pelo saldo de empregos locais observado

80 https://www.dfc.gov/sites/default/files/esia/2025/serraverde/Project/06_Stakeholder%20Engagement%20Plan_508.pdf

81 https://vale.com/documents/d/guest/categorias-de-suprimentos-elegiveis-ivc

82 https://cbmm.com/relatorio-sustentabilidade/assets/files/cbmm-relatorio-completo.pdf

do CAGED em 2025[83] em Minaçu, onde o estoque médio de empregados no ano na indústria extrativa de minerais metálicos não-ferrosos foi de 323, podemos inferir que o total de empregos indiretos é de 969, sendo o efeito total de 1292 empregos na região derivados do impacto da atuação da empresa. Levando em consideração o salário médio real de admissão no ano[84], R$2.295,40, tem-se que a massa salarial média mensal no ano foi de R$2,965,656,80 mensais para todos os empregos (diretos e indiretos).

Com relação aos fornecedores, levando em consideração as informações de categorias de fornecedores locais usados pelo programa "Vale Partilhar" da Vale e consequente adaptação às informações divulgadas pela própria Serra Verde, chegou-se a uma referência setorial de operação em Minaçu de cerca de 42 fornecedores locais recorrentes, com faixa provável entre 35 e 50 fornecedores. A estimativa considera fornecedores nas frentes de manutenção industrial, transporte rodoviário, movimentação de carga, serviços técnicos, alimentação, vigilância, limpeza, manutenção predial, preparação de terrenos, serviços ambientais, segurança, saúde e apoio operacional

A partir da estimativa de 42 fornecedores locais recorrentes, os 1.200 empregos indiretos foram distribuídos na planilha abaixo conforme a intensidade de mão de obra e a relevância operacional de cada grupo de fornecedores. As maiores concentrações estimadas estão em facilities e serviços gerais/outros, com aproximadamente 312 empregos indiretos, seguidas por logística/transporte e manutenção industrial, com cerca de 216 empregos indiretos cada.

Por fim, para realizar uma estimativa de distribuição de impacto financeiro com fornecedores, por não ser possível o acesso aos dados financeiros de gastos da Serra Verde, aplica-se uma premissa de gasto marginal com fornecedores, feita para cada R$1 milhão gasto na região. Assim, usando ancoragem do caso CBMM/Araxá, onde aproximadamente 13,3% do orçamento total de fornecedores é convertido em compras locais, temos a seguinte tabela:

Tabela 37. Estimativa dos impactos econômicos indiretos da operação de ETR sobre fornecedores locais em Minaçu

Setor [85]fornecedor	Peso setorial aplicado	N° estimado de fornecedores	Empregos indiretos estimados	Orçamento marginal total de compras	Compras locais estimadas – 13,3%
Manutenção industrial e planta	22%	9	264	R$ 220.000	R$ 29.260

[83] Para mais informações, acessar BI do CAGED em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/estatisticas-trabalho/novo-caged/2026/marco/pagina-inicial

[84] Apenas disponível em âmbito nacional

[85] Como referência de validação, a própria Serra Verde informou a participação de 31 fornecedores locais em oficina do Programa Avançar, voltada aos processos e requisitos de compras da companhia. Esse número foi tratado como piso observável, ao qual se aplicou ajuste para refletir fornecedores não participantes da oficina, contratações recorrentes adicionais e a ampliação operacional prevista pela companhia.

Logística e transporte	18%	8	216	R$ 180.000	R$ 23.940
Facilities e serviços gerais/outros	18%	8	216	R$ 180.000	R$ 23.940
Manutenção de frota e equipamentos móveis	13%	5	156	R$ 130.000	R$ 17.290
Obras civis e eletromecânicas	12%	5	144	R$ 120.000	R$ 15.960
Serviços técnicos de mina	10%	4	120	R$ 100.000	R$ 13.300
Serviços ambientais, segurança, saúde e monitoramento	7%	3	84	R$ 70.000	R$ 9.310
Total	**100%**	**42**	**1.200**	**R$ 1.000.000**	**R$ 133.000**

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 38. Percepções e realidades de temas críticos da atividade de ETR

Percepções	Realidades
Há grande desconhecimento geológico no Brasil	Segundo a SGB, o percentual de conhecimento do território brasileiro é equivalente ao percentual internacional. • 27% na escala 1:100.000 • 50% na escala 1:250.000 No caso dos escudos do pré-cambriano, esses percentuais passam para 44% e 70% respectivamente.
O Brasil tem uma alta carga tributária na mineração	65% do valor da produção mineral brasileira é exportado, ou seja, não recolhe Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS) e, se estiver nas áreas da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) (60% do território nacional), Superintendência do Desenvolvimento do Centro-Oeste (SUDECO) e Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), tem isenção de 75% do Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ) e os 25% do imposto a ser pago podem ser reinvestidos para expansão ou modernização. Ressalte-se que mais de 40% da produção mineral brasileira é proveniente das áreas da SUDAM. Dessa forma, a carga tributária incide apenas sobre 35% da mineração que não é exportada, e essa sim é elevada.
O licenciamento ambiental é moroso	O licenciamento ambiental dos principais projetos de ETR em Minas Gerais e Goiás avançou de forma mais rápida que o normalmente identificado para empreendimentos de mineração.

Há sérios entraves de infraestrutura	Há problemas logísticos, porém, deve ser considerado que o volume de ETR é pequeno quando se compara com a mineração tradicional brasileira. Por exemplo, em 2025, o Brasil exportou 680 toneladas de compostos de ETR (se comparado com 400 milhões de t de ferro).
Há desafios de CT&I	O Brasil tem um competente ecossistema de CT&I, com centros de pesquisa, núcleos tecnológicos e universidades, mas que precisa ser irrigado com financiamento.
Há desafios para determinação das rotas tecnológicas, considerando que cada jazida é única	Verdade. A mineração Serra Verde, que começou com a efetiva produção em 2023, iniciou seus estudos sobre as rotas tecnológicas nos anos 2015-2016, passando por um exaustivo processo de correção de rota. Ajustar uma rota tecnológica de acordo com a jazida para minimizar impacto ambiental tem poucos precedentes, portanto o processo é lento.
As jazidas ETR não têm, ou têm muito baixa radioatividade	Segundo a literatura internacional e o parecer de especialista, toda mineração de ETR tem maior ou menor grau de radioatividade. Essa radioatividade precisaria, idealmente, ser neutralizada perto do local de extração. O processamento perto do local é condição *sine qua non* para não transportar elementos radioativos.

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 39. Síntese das lacunas estruturais da cadeia de terras raras no Brasil e suas implicações estratégicas

Dimensão	Lacuna principal	Evidência/expressão da lacuna	Implicação estratégica para a ENTR
Geologia e informação	Base de informação ainda desigual e insuficientemente orientada à decisão	Assimetria regional de mapeamento, necessidade de atualização de estudos de ETR e maior inteligência mineral aplicada	Reforçar mapeamento estratégico, atualização de dados e inteligência setorial
Tecnologia e indústria	Baixa densidade industrial nos elos de maior valor agregado	Midstream incipiente, rotas tecnológicas ainda em consolidação, dependência de equipamentos, insumos e *know-how* externos	Priorizar midstream seletivo, pilotos, demonstração e escalonamento industrial
Capital humano, fornecedores e serviços especializados	Ecossistema de suporte ainda insuficiente para operação em escala	Escassez de mão de obra especializada, baixa prontidão de fornecedores, limitada capacidade de manutenção, metrologia e serviços analíticos	Desenvolver formação especializada e base nacional de fornecedores e serviços críticos
Regulação e licenciamento	Falta de previsibilidade e coordenação regulatória, especialmente em temas radiológicos	Fricções entre mineração, meio ambiente e regulação nuclear; incertezas sobre NORM; risco de judicialização	Harmonizar competências, antecipar tratamento de temas críticos e aumentar segurança jurídica

Financiamento e mercado	Dificuldade de financiar o salto entre piloto e escala comercial e baixa formação de mercado	Acesso desigual ao capital, maior dificuldade para juniores, ausência de demanda âncora consolidada	Criar instrumentos de *de-risking*, apoio à demonstração e mecanismos de formação de mercado
Território, sociedade e meio ambiente	Benefícios territoriais limitados e preocupações socioambientais persistentes	Baixo impacto fiscal local quando concentrado em compostos, riscos hídricos, consulta insuficiente e contestação social	Integrar agregação de valor, desenvolvimento territorial, legitimidade social e salvaguardas ambientais

Fonte: Elaboração própria

3.6. Oportunidades de agregação de valor e implicações estratégicas

A análise do setor de terras raras no Brasil indica que a principal oportunidade estratégica do país está na capacidade de converter sua base geológica em uma trajetória progressiva de agregação de valor ao longo da cadeia. O Brasil reúne condições para avançar além da posição de fornecedor de material bruto ou intermediário, desde que consiga estruturar capacidades produtivas, tecnológicas e institucionais nos elos mais críticos da cadeia.

Essa oportunidade é particularmente relevante porque as terras raras ocupam posição estratégica em setores intensivos em tecnologia e de crescente centralidade geopolítica, como mobilidade elétrica, energia eólica, automação, eletrônica avançada, saúde e defesa. Nesse contexto, a agregação de valor não deve ser entendida apenas como beneficiamento mineral, mas como construção de capacidades em processamento, separação, refino, metalurgia, manufatura e, progressivamente, reciclagem e suprimento secundário. A trajetória brasileira de agregação de valor, contudo, não tende a ocorrer de forma linear nem simultânea em todos os elos da cadeia. A experiência internacional sugere que o avanço mais consistente costuma ocorrer por etapas, combinando expansão da oferta mineral, fortalecimento seletivo do midstream, desenvolvimento gradual de produtos intermediários e manufatura em nichos estratégicos.

Tabela 40. Trajetória de escalonamento da cadeia brasileira de terras raras

Horizonte	Foco principal	Oportunidades prioritárias
Curto prazo	Consolidação do upstream e início do adensamento industrial	upstream competitivo; coprodutos; mineração secundária; midstream seletivo inicial; plantas-piloto e demonstração; reciclagem de sucata industrial e resíduos minerais
Médio prazo	Avanço em transformação mineral e produtos intermediários	metais e ligas; magnetos semiacabados; *hubs* regionais de processamento e inovação; integração com demanda industrial

Longo prazo	Consolidação de cadeia integrada e diversificação tecnológica	ímãs permanentes; componentes; materiais funcionais; circularidade avançada; ecossistema integrado mina-refino-manufatura-reciclagem

Fonte: Elaboração própria

3.6.1 Oportunidades no upstream competitivo

No curto prazo, as oportunidades mais concretas para o Brasil concentram-se na consolidação do upstream competitivo e na utilização dessa base como plataforma para o adensamento gradual da cadeia. A primeira dessas oportunidades é consolidar o país como fornecedor alternativo e confiável de terras raras fora dos circuitos mais concentrados globalmente. A carteira crescente de projetos, a retomada da produção comercial e a existência de base geológica expressiva conferem ao Brasil condições reais de ampliar sua presença no elo mineral, especialmente em um cenário em que compradores e governos buscam não apenas maior volume, mas também diversificação geográfica do suprimento.

As entrevistas e a documentação técnica analisada indicam que parte relevante dos projetos brasileiros apresenta condições promissoras de competitividade no upstream. Como o Brasil ainda conta com uma única operação efetiva e vários projetos permanecem em fases de licenciamento, engenharia e maturação, a transformação dessa competitividade projetada em substrato econômico real dependerá do avanço concreto dos empreendimentos.

Uma segunda oportunidade concreta está na especialização em depósitos de argilas de adsorção iônica, que vêm ganhando centralidade no *pipeline* nacional. Esse tipo de depósito é particularmente relevante porque pode estar associado à produção de elementos magnéticos de maior criticidade, como disprósio e térbio, fundamentais para ímãs de alto desempenho.

Outra frente importante de agregação de valor no upstream é o aproveitamento de coprodutos e subprodutos em cadeias minerais já existentes. Em vez de depender exclusivamente de minas dedicadas, o país pode capturar valor a partir de sinergias com cadeias como nióbio, fosfato, estanho e bauxita, além de estruturas já instaladas de logística, beneficiamento e conhecimento geológico. Essa possibilidade reduz o custo de entrada, acelera o aprendizado e pode ampliar a base de alimentação futura para plantas de separação e refino. Também nesse horizonte se insere a mineração secundária e o reaproveitamento de rejeitos e resíduos minerais, que podem contribuir simultaneamente para segurança de suprimento, redução de passivos e inovação tecnológica.

Em termos estratégicos, o upstream brasileiro não deve ser visto apenas como elo exportador, mas como base material para o desenvolvimento progressivo dos demais segmentos da cadeia. A oportunidade, portanto, está em usar a expansão do upstream como alavanca para viabilizar etapas subsequentes.

3.6.2 Oportunidades no midstream seletivo

O midstream concentra, ao mesmo tempo, o principal gargalo e a principal oportunidade estratégica da cadeia brasileira. É nesse elo que se localiza o salto mais relevante de agregação de valor entre a mineração e os produtos de maior densidade tecnológica. A oportunidade brasileira está em estruturar um midstream seletivo, ancorado em rotas viáveis, aderentes à base mineral disponível e compatíveis com a escala e a maturidade atuais do país.

No curto prazo, isso significa avançar na produção de carbonatos mistos, que consiste em um concentrado de características superiores, bem como iniciar capacidades seletivas de separação em elementos mais críticos, especialmente NdPr e, em rotas específicas, Dy/Tb. No médio prazo, abre-se espaço para a produção de metais e ligas selecionados, com maior controle sobre especificações e qualidade dos insumos. Essa abordagem permite reduzir risco, concentrar recursos e construir aprendizado industrial de forma incremental.

Outra oportunidade importante no médio prazo é a consolidação de *hubs* regionais de processamento e inovação, sobretudo em territórios com maior proximidade entre recurso mineral, infraestrutura, empresas, centros tecnológicos e instrumentos de financiamento. Essa estratégia territorial é mais promissora do que a dispersão geográfica de iniciativas isoladas, pois favorece economias de escala, formação de mão de obra, compartilhamento de infraestrutura e maior integração entre mineração, processamento e pesquisa aplicada. A consolidação desses *hubs* pode ser especialmente relevante em Goiás e Minas Gerais, onde já se observa maior densidade relativa de projetos, instituições e capacidades instaladas.

O midstream seletivo é, portanto, o elo mais decisivo para que o Brasil deixe de ser apenas um ofertante potencial de recurso mineral e passe a ocupar posição mais robusta nas cadeias globais. Ele representa o ponto em que geologia, química, engenharia, política industrial, regulação e financiamento se encontram de forma mais intensa.

Com o objetivo de testar essa hipótese, dando mais clareza às premissas desenvolvidas, foi elaborado o seguinte exercício econômico.

3.6.2.1 Separação de óxidos no Brasil: um exercício compreensivo

O presente relatório já demonstrou que o midstream é o elo decisivo para que o Brasil deixe de ser apenas um detentor relevante de recursos minerais e passe a ocupar posição mais robusta na cadeia global de terras raras. A etapa de separação e refino, especialmente a produção de óxidos separados, constitui a espinha dorsal industrial do midstream e funciona como ponte entre a competitividade mineral do upstream e qualquer ambição posterior de produção de metais, ligas, magnetos ou componentes. Por essa razão, esta subseção não retoma a justificativa geopolítica geral da ENTR, já desenvolvida anteriormente. Seu objetivo é mais específico: avaliar sob quais condições a instalação de capacidade de separação de óxidos no Brasil pode ser competitiva, financiável e estrategicamente justificável.

Essa avaliação, contudo, não pode ser reduzida a uma análise financeira convencional. A experiência internacional mostra que a estrutura atual da cadeia de terras raras não resultou apenas de decisões privadas orientadas por retorno financeiro. Ao contrário, o desequilíbrio global em favor de determinadas jurisdições foi construído por uma combinação de escala, política industrial, financiamento, coordenação tecnológica, tolerância a riscos estratégicos e capacidade de relativizar critérios estritamente financeiros em nome de objetivos industriais e geopolíticos de longo prazo. Em outras palavras, a decisão de investir em midstream não é apenas uma decisão de projeto; é também uma decisão de posicionamento estratégico.

Isso não significa, porém, que a racionalidade econômica deva ser ignorada, pelo contrário. O Brasil só conseguirá transformar sua vantagem mineral em capacidade industrial se a separação de óxidos for competitiva em custo, risco e acesso a mercado. A oportunidade brasileira parte de uma base promissora: os projetos nacionais de ETR apresentam, em diversos casos, características favoráveis associadas à presença relevante de elementos pesados e magnéticos, com destaque para Nd, Pr, Dy e Tb. Essa composição tende a elevar o valor da cesta mineral e pode melhorar a atratividade econômica do processamento doméstico, especialmente se combinada com rotas de produção de baixo OPEX no upstream, disponibilidade de energia competitiva, proximidade entre mina e planta, e condições adequadas de infraestrutura.

A questão central, portanto, não é apenas se o Brasil deve avançar no midstream, mas qual arquitetura econômica, industrial e institucional permitiria fazê-lo com menor risco e maior captura de valor. Para isso, a análise deve testar a disponibilidade e a qualidade do *feedstock* doméstico, a escala adequada das plantas, os requisitos de CAPEX, os principais componentes de OPEX, os preços internacionais ex-China, o risco comercial associado à concorrência chinesa, o custo de capital e os instrumentos públicos capazes de reduzir incertezas.

O midstream brasileiro deve ser avaliado, assim, como uma fronteira simultaneamente econômica, industrial e estratégica. Sua viabilidade dependerá

da capacidade de combinar vantagens intrínsecas do país, como base mineral, energia e posição geográfica, com instrumentos induzidos de competitividade, como financiamento, desoneração de insumos críticos, garantias de demanda, *offtakes*, pisos de preços e solução regulatória para temas sensíveis. O teste decisivo será demonstrar se essas condições, articuladas de forma coerente, permitem ao Brasil produzir óxidos separados de terras raras com custo competitivo, risco administrável e inserção comercial confiável fora da China.

A análise apresentada nesta subseção possui caráter preliminar e deve ser entendida como um exercício inicial de avaliação da competitividade potencial do midstream brasileiro de terras raras. Seu objetivo não é oferecer uma modelagem econômica exaustiva nem uma conclusão definitiva sobre a viabilidade de implantação de plantas de separação de óxidos no país, mas organizar as principais variáveis que deverão orientar estudos posteriores. As premissas aqui discutidas, especialmente em relação a disponibilidade e composição do feedstock, CAPEX, OPEX, preços internacionais, condições de *offtake*, custo de capital, incentivos públicos e riscos regulatórios, deverão ser validadas em novas rodadas de análise técnico-econômica, modelagem financeira, consulta a atores industriais e comparação internacional.

Escopo industrial e *feedstock* doméstico como base da competitividade

A primeira condição para avaliar a competitividade de uma indústria de separação de óxidos de terras raras no Brasil é definir, com precisão, qual será sua base de alimentação. Antes de discutir escala de planta, CAPEX, OPEX, preço de venda ou instrumentos de política pública, é necessário verificar se há *feedstock* doméstico suficiente, previsível, contratável e com composição adequada para sustentar uma operação industrial.

Para este exercício preliminar, considera-se como base de análise o *feedstock* previsto para os cinco projetos brasileiros de ETR em fase mais avançada de desenvolvimento. Essa é uma premissa simplificadora, mas útil como ponto de partida: caso o exercício indique viabilidade, cenários otimizados poderão ser construídos posteriormente, incorporando ajustes decorrentes de restrições comerciais, técnicas, industriais ou regulatórias.

A partir desse recorte, projeta-se uma produção potencial superior a 40 mil toneladas de TREO por ano no upstream. Esse volume, por si só, já indicaria massa crítica relevante para avaliar alternativas de processamento doméstico. No entanto, o dado mais importante não é apenas a escala agregada, mas a composição da cesta brasileira. Os projetos considerados apresentam concentração expressiva de elementos de maior valor econômico e estratégico, especialmente terras raras pesadas e magnéticas.

Essa composição altera substancialmente a discussão sobre competitividade. Nd, Pr, Dy, Tb e Y representam pouco mais de 46% do volume projetado, mas respondem por 96,7% da receita apropriada.

Para fins desta análise, propõe-se que a composição da "cesta brasileira" de *feedstock* seja a composição considerada para a planta de separação. Cabe reforçar que se trata de uma premissa simplificadora, mas adequada a um primeiro exercício de competitividade, pois permite avaliar a atratividade econômica do midstream a partir de uma base doméstica representativa e abre espaço para otimizações futuras de arranjos comerciais, técnicos e industriais.

Tabela 41. Projeção da cesta brasileira de feedstock para o exercício de competitividade do midstream (2027–2036)

Produção upstream de REO equivalente (t)	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
La2O3	1.786	10.015	14.998	16.126	16.436	16.876	18.013	18.240	18.011	17.755
CeO2	288	661	1.003	1.047	1.144	1.243	1.068	1.106	1.086	1.062
Pr6O11	403	1.749	2.638	2.823	2.881	2.977	3.144	3.188	3.145	3.098
Nd2O3	1.498	6.093	9.215	9.832	10.091	10.469	10.754	10.883	10.754	10.605
Sm2O3	173	763	1.201	1.310	1.352	1.422	1.454	1.468	1.450	1.433
Eu2O3	29	165	246	259	269	276	275	275	275	273
Gd2O3	173	548	866	957	979	1.005	1.014	1.019	1.013	1.005
Tb4O7	29	72	114	124	129	134	127	127	127	126
Dy2O3	173	360	554	613	631	645	652	651	650	650
Ho2O3	29	68	108	121	126	129	132	131	131	132
Er2O3	86	179	277	310	325	336	332	330	330	332
Tm2O3	12	30	46	51	54	56	57	57	56	57
Yb2O3	58	119	189	214	226	242	246	242	239	242
Lu2O3	6	8	15	17	20	22	22	22	21	22
Y2O3	1.020	2.350	3.707	4.161	4.344	4.371	4.470	4.467	4.489	4.518
TREO	**5.760**	**23.180**	**35.178**	**37.965**	**39.006**	**40.204**	**41.760**	**42.204**	**41.776**	**41.308**

Fonte: Elaboração própria

Tabela 42. Projeção da produção brasileira de elementos estratégicos de terras raras (2027–2036)

Subtotais estratégicos	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
NdPr	1.901	7.841	11.854	12.655	12.972	13.446	13.898	14.071	13.899	13.703
DyTb	202	432	668	737	760	779	779	778	777	775
MREO	2.102	8.274	12.521	13.392	13.732	14.225	14.677	14.849	14.675	14.478
HREE	1.786	4.663	7.323	8.137	8.454	8.638	8.780	8.787	8.781	8.789
LREE	3.974	18.517	27.855	29.828	30.552	31.566	32.979	33.417	32.995	32.520

Fonte: Elaboração própria

Tamanho e escala

A definição do tamanho da planta é uma das premissas centrais deste exercício, pois condiciona o nível de CAPEX, a estrutura de OPEX, a necessidade de feedstock, o grau de risco comercial e a complexidade operacional do projeto. No

caso da separação de óxidos de terras raras, há diferentes arquiteturas industriais possíveis. Algumas plantas são concebidas para processar e separar uma cesta ampla de ETR, produzindo múltiplos óxidos refinados. Outras adotam escopo mais seletivo, com foco em NdPr, em elementos pesados como Dy/Tb, ou em correntes específicas mais alinhadas à composição do *feedstock* disponível e à demanda dos compradores.

Para este exercício preliminar, optou-se por modelar uma planta multipropósito com capacidade de produção de 25 mil toneladas de TREO por ano (25 ktpa). Essa escolha não decorre da premissa de que esta será, necessariamente, a configuração ótima para o Brasil. Ao contrário, reconhece-se que poderão existir arranjos industriais mais eficientes do ponto de vista econômico, especialmente plantas mais seletivas, modulares ou integradas a projetos específicos. Uma planta desenhada para uma determinada cesta mineral, com maior concentração de elementos magnéticos ou pesados, poderá apresentar CAPEX, OPEX, recuperação, curva de aprendizado e estratégia comercial mais favoráveis do que uma instalação multipropósito concebida para absorver uma base mais diversa de *feedstock*.

Ainda assim, a opção por um exercício abrangente se justifica pela própria diversidade dos projetos brasileiros considerados. Cada projeto possui características próprias de composição: alguns apresentam maior presença relativa de Dy/Tb; outros, maior participação de Nd/Pr; outros, maior concentração de Y, La, Ce ou demais elementos leves. Diante dessa heterogeneidade, uma planta multipropósito permite testar a competitividade de uma configuração mais ampla, capaz de refletir melhor a variedade da "cesta brasileira" de *feedstock*. Trata-se, portanto, de um cenário deliberadamente não otimizado, mas útil como teste conservador de viabilidade.

A lógica do exercício é a seguinte: se uma configuração abrangente, menos ajustada às especificidades de cada projeto, demonstrar competitividade econômica e industrial, então há razão para supor que versões mais otimizadas, desenhadas a partir de *feedstocks* específicos, contratos dedicados, rotas seletivas ou arranjos modulares, possam apresentar desempenho ainda melhor. Em outras palavras, a planta multipropósito de 25 ktpa funciona como um teste-base. Ela não pretende encerrar a discussão sobre o desenho ótimo do midstream brasileiro, mas estabelecer um ponto de referência a partir do qual alternativas mais refinadas poderão ser avaliadas.

A escolha da capacidade de 25 ktpa também busca equilibrar ambição industrial e prudência de implantação. A produção potencial estimada dos projetos brasileiros analisados supera 40 mil toneladas de TREO por ano, o que indicaria, em tese, espaço para uma planta de maior capacidade. No entanto, essa produção decorre de projetos que ainda não estão operacionais e que podem enfrentar atrasos, revisões de cronograma, restrições regulatórias, dificuldades de

financiamento, mudanças de estratégia comercial ou mesmo desistências. Modelar uma planta dimensionada para absorver toda a produção potencial desde o início aumentaria o risco de capacidade ociosa e de descasamento entre a curva de entrada dos projetos minerários e a necessidade contínua de alimentação da planta.

Nesse contexto, 25 ktpa representa uma escala intermediária e mais prudente. É grande o suficiente para testar uma planta industrial relevante e comparável a unidades de porte semelhante, inclusive em termos de premissas operacionais, mas não tão grande a ponto de depender integralmente da materialização simultânea de todos os projetos do upstream brasileiro. Além disso, como a implantação de uma planta de separação exige planejamento antecipado, engenharia, licenciamento, contratação de tecnologia, financiamento e estruturação comercial, a decisão de capacidade precisa ser tomada antes de haver plena certeza sobre a produção futura de todos os projetos.

Assim, a escolha por uma planta multipropósito de 25 ktpa busca compatibilizar três objetivos: refletir a diversidade do *feedstock* brasileiro, evitar uma modelagem excessivamente otimista em relação à disponibilidade futura de matéria-prima e criar uma base conservadora para testar a competitividade do midstream nacional. Se esse cenário se mostrar viável, a conclusão mais relevante não será que a planta de 25 ktpa é necessariamente a solução final, mas que o Brasil possui condições iniciais para avançar em alternativas industriais mais específicas, seletivas e potencialmente mais competitivas.

CAPEX

O CAPEX constitui uma das principais barreiras à implantação de capacidade de separação de óxidos de terras raras fora da China. Trata-se de uma etapa intensiva em capital, que exige equipamentos especializados de separação, infraestrutura química, sistemas de utilidades, engenharia de processo, tratamento de efluentes, controle ambiental e radiológico, estruturas de armazenamento, automação, laboratórios de controle de qualidade e, em muitos casos, importação de tecnologia ou adaptação de rotas desenvolvidas em outras jurisdições. Por isso, a estimativa de investimento inicial é uma variável crítica para avaliar a competitividade do midstream brasileiro.

A principal dificuldade metodológica é a escassez de referências públicas confiáveis da China, onde há pouca transparência sobre custos de implantação, intensidade de capital e estrutura econômica das plantas. Além disso, a própria organização industrial chinesa dificulta a comparação: por se tratar de uma cadeia altamente integrada e verticalizada, muitas empresas não analisam, reportam ou precificam separadamente os elos de mineração, concentração, separação, refino,

metalização e manufatura. Com isso, os dados disponíveis para *benchmarking* internacional são limitados e exigem cautela interpretativa.

Diante dessa limitação, a análise adotou como referência os poucos projetos recentes de novas instalações de separação ou refino em desenvolvimento fora da China. Embora esses projetos tenham diferenças relevantes de rota tecnológica, tipo de *feedstock*, jurisdição, escopo de produto e estratégia comercial, eles oferecem parâmetros úteis para estimar a ordem de grandeza do CAPEX necessário para uma planta de separação de ETR.

O primeiro *benchmark* considerado é o projeto da Iluka, em Western Australia. Embora a planta tenha sido concebida para receber concentrado de monazita, e não MREC, sua capacidade de processamento é comparável à escala analisada neste exercício. A intensidade de capital estimada para esse projeto é de aproximadamente US$ 64/kg TREO. Essa referência deve ser interpretada com cautela, pois o processamento de monazita tende a ser mais complexo do que o processamento de MREC, especialmente em razão de desafios associados à composição mineralógica, impurezas e gestão radiológica. Além disso, a Austrália é uma jurisdição com custos de implantação potencialmente superiores aos brasileiros. Por essas razões, esse *benchmark* pode estar superestimando o CAPEX aplicável a uma planta brasileira baseada em MREC.

O segundo *benchmark* é a planta de White Mesa, da Energy Fuels. De acordo com informações divulgadas pela própria empresa, a nova instalação deverá produzir cerca de 6,3 ktpa de REO, com CAPEX estimado em US$ 410 milhões. Isso implica uma intensidade de capital de aproximadamente US$ 65/kg TREO. Nesse caso, a comparação também exige ressalvas, pois a planta tem perfil mais seletivo, com foco em NdPr, Dy e Tb. Plantas seletivas voltadas a elementos de maior valor podem apresentar intensidade de capital mais elevada, seja por maior complexidade técnica, seja por exigências superiores de separação, pureza, controle de processo e qualificação do produto.

O terceiro *benchmark* considerado é a planta que a Aclara projeta instalar na Louisiana, direcionada ao processamento associado ao Projeto Carina. Embora existam lacunas relevantes de informação, os materiais submetidos pela empresa à autoridade regulatória indicam CAPEX aproximado de US$ 277 milhões. Considerando uma produção média anual do Projeto Carina de cerca de 4,246 kt de TREO, estima-se uma intensidade de capital próxima de US$ 66/kg TREO. Essa referência é particularmente relevante por estar associada a um projeto brasileiro de argilas iônicas e por se aproximar do tipo de *feedstock* considerado neste exercício.

Tabela 43: Análise comparativa da intensidade de capital de novas instalações em desenvolvimento fora da China

Projeto	País	Escopo/*feedstock*	Capacidade considerada	CAPEX indicado	Intensidade de capital
Iluka	Western Australia	Concentrado de monazita	17,5 ktpa REO	US$ 1,2 bilhão	US$ 64/kg TREO
White Mesa / Energy Fuels	EUA	Planta seletiva, foco em NdPr, Dy e Tb	6,3 ktpa REO	US$ 410 milhões	US$ 65/kg TREO
Aclara / Louisiana	EUA	Planta associada ao Projeto Carina	4,3 ktpa TREO	US$ 277 milhões	US$ 66/kg TREO

Fonte: elaboração própria com base em dados publicados pelas empresas

A convergência entre *benchmarks* bastante distintos é relevante. Apesar das diferenças entre jurisdições, rotas e produtos, os três projetos apontam para uma intensidade de capital próxima. Esse valor não deve ser interpretado como estimativa definitiva, mas como referência razoável para uma modelagem preliminar de CAPEX, especialmente diante da escassez de dados públicos sobre plantas de separação fora da China.

Nesse sentido, adota-se, para esta análise a premissa de US$ 66/kg TREO como referência de intensidade de capital. Aplicada a uma planta multipropósito de 25 ktpa, essa premissa resulta em CAPEX estimado de aproximadamente US$ 1,65 bilhão. Trata-se de uma estimativa preliminar e conservadora, com um claro viés de superestimação, sujeita a validação em estudos de engenharia, definição de rota tecnológica, localização da planta, grau de nacionalização de equipamentos, tratamento de resíduos, requisitos radiológicos, escopo de utilidades e desenho final do projeto.

Ainda assim, o valor oferece uma base consistente para testar a competitividade econômica do cenário proposto e comparar, em etapas posteriores, o impacto de alternativas mais seletivas, modulares ou integradas a projetos específicos.

OPEX

O custo operacional de uma planta de separação de óxidos de terras raras é determinado, essencialmente, por um conjunto de *drivers* industriais recorrentes: energia, mão de obra, reagentes e solventes, manutenção, serviços industriais, gestão de resíduos, controle de qualidade e custos associados a requisitos ambientais e radiológicos. No caso específico da separação de ETR, os reagentes assumem papel particularmente relevante, incluindo ácido sulfúrico, ácido clorídrico, carbonato de amônio, ácido oxálico, hidróxido de sódio, extratantes orgânicos, diluentes e outros insumos químicos utilizados nas etapas de lixiviação, separação, precipitação, purificação e acabamento dos óxidos.

A estimativa precisa de consumo desses insumos, contudo, depende fortemente da rota tecnológica, da composição do *feedstock*, do nível de impurezas, da seletividade desejada, dos fatores de recuperação e da especificação comercial dos produtos finais. Em outras palavras, não é possível determinar, nesta etapa preliminar, o consumo exato de reagentes e utilidades sem uma engenharia de processo específica para a planta brasileira. Por essa razão, a análise adota uma abordagem comparativa, utilizando parâmetros de projetos similares como referência e ajustando qualitativamente os principais vetores nos quais o Brasil tende a apresentar vantagem ou desvantagem relativa.

Tabela 44. Benchmark de custo total de separação de óxidos de terras raras

Projeto	Aclara USA	Lynas Malaysia	Solvay Franca	China benchmark
Custo Total (US$/kg REO)	22-24	13 (integrado)	22-28	10-17 (subsidiado)

Fonte: Elaboração própria.

Como ponto de partida, foi utilizado o parâmetro de preço para a separação de óxidos em US$/kg REO associado ao projeto de separação de óxidos da Aclara, planejado para instalação no estado da Louisiana, nos Estados Unidos. A referência é útil por se tratar de um projeto recente, fora da China, associado a uma cadeia de fornecimento ex-China e vinculado a um *feedstock* de argilas iônicas, mais próximo do perfil de parte dos projetos brasileiros analisados.

Tabela 45. Decomposição estimada do custo operacional da planta Aclara USA

Componente	USD/kg	Observação
Aclara fee total	46,3	Fee de separação de óxidos conforme BFS 2026
Capex amortizado Aclara	(6,5)	Capex de US$ 280 M conforme relatório
Menos: Tax + margin Aclara	(15,8)	Carga tributária estimada EUA + Margem de lucro de 15%
Custo operacional	**24,0**	

Fonte: Elaboração própria.

A partir dessa referência, procedeu-se à decomposição desse preço em custo operacional, depreciação, impostos e margem. Esse procedimento permitiu isolar uma referência operacional de aproximadamente US$ 24/kg TREO. Esse valor foi adotado como âncora conservadora para o exercício, porque esse número não considera outros elementos de competitividade em que o Brasil tem desempenho superior, como energia e mão de obra.

Em suma, o custo adotado para fins deste exercício não representa a capacidade competitiva do Brasil, pois se trata de um custo baseado em uma unidade a ser instalada nos EUA. Contudo, foram mapeados *drivers* de custo que, no cenário específico do Brasil, podem oferecer opções mais competitivas que o *benchmark* adotado.

Tabela 46. Drivers de custo operacional e vantagens competitivas do Brasil

Driver de custo	Vantagem competitiva Brasil	Pontos de atenção
Feedstock	Favorável, pela proximidade com projetos nacionais e composição rica em magnéticos e HREE	Custo de aquisição, contratos de fornecimento de longo prazo, cronograma dos projetos e qualidade do MREC
Energia	Potencialmente favorável, desde que contratada via PPA/ACL de longo prazo	Preço efetivo em US$/MWh, prazo contratual, exposição à volatilidade e encargos
Reagentes *commodity*	Competitiva ou neutra frente a peers	Avaliar oferta interna vs dependência externa, consumo específico por rota, preços CIF/DDP, tributação e logística interna.
Reagentes especializados	Neutra ou potencialmente desfavorável, por dependência de importação	Fornecedores, escala de compra, imposto de importação, *lead time* e segurança de suprimento
Mão de obra*	Favorável frente à maioria das economias ocidentais no caso da mão de obra operacional geral	Produtividade, necessidade de expatriados e necessidade de treinamento e profissionais qualificados para gerar mão de obra técnica especializada
Manutenção e *sustaining*	Moderadamente favorável	Plano de manutenção, capacidade de reposição de peças produzidas no país, contratos de serviços e nacionalização de fornecedores
G&A, controle de qualidade e serviços técnicos	Favorável frente a outras economias ocidentais, mas dependente de maturidade local	Laboratórios, certificações, serviços especializados, custos de *compliance* precisam ter oferta nacional

Fonte: Elaboração própria.

*** Análise complementar sobre mão de obra:**

Levando em consideração que o custo de mão de obra não é homogêneo, foi realizado um exercício para estimar a mão de obra operacional geral, na qual o Brasil possui uma vantagem real e imediata de custo, bem como a mão de obra

técnica especializada, vinculada a hidrometalurgia, química de separação, controle radiológico, instrumentação, laboratórios analíticos, engenharia de processo e geologia sênior, na qual o Brasil ainda apresenta gargalos relevantes.

Para realização das estimativas, foram usadas quatro fontes de informação. São elas: i) a nota técnica NI 43-101 da Aclara[86], a qual fornece o número de trabalhadores por função em três blocos separados (mina Aclara, contratada de mineração, e planta hidrometalúrgica); ii) dados estatísticos de 2022 do Census Bureau para o setor de mineração, extração, óleo e gás o relatório - EEOC NAICS 21 (Mining)[87]; iii) dados de ocupação e salário do U.S. Bureau of Labor Statistics[88] para setor de minerais metálicos - Benchmark BLS, da Metal Ore Mining (NAICS 212200) de 2022 e; iv) MiHR Canada – projeção decenal para Ontario (mineração metálica, não-metálica e carvão).

Com relação às informações da Aclara, o projeto Carina, em Goiás, é a única fonte primária com dimensionamento detalhado de pessoal para uma operação integrada de ETR no Brasil. Assim, para apurar o número de trabalhadores, realizou-se uma divisão por função em três blocos separados (mina Aclara, contratada de mineração, e planta de hidrometalurgia):

Tabela 47. Dimensionamento da força de trabalho do Projeto Carina por bloco operacional

Bloco mina – equipe direta Aclara (Tabela 16-8): 33 trabalhadores	Gerentes, engenheiros e geólogos (de longo, médio e curto prazo, controle de teor, drenagem, geotécnica, monitoramento, etc): aproximadamente 15 posições Técnicos especializados (ambientais, segurança, geotecnia, grade-control): aproximadamente 10 posições Administrativos e assistentes: aproximadamente 8 posições
Bloco mina – contratada (Tabela 16-10): 391 trabalhadores em média	Operações de mineração: 336 Manutenção de equipamentos: 54
Bloco planta hidrometalurgia (Tabela 21-9): 130 posições	Gerência e engenharia sênior: 12 Supervisão e instrumentação: 12 Operacional qualificado de processo (control room, leaching, filtration, samplers): 52 Trades e operacional geral (eletricistas, mecânicos, op. equipamento móvel, depósito): 54
Total projeto Carina: 554 posições	Mão de obra altamente qualificada (engenharia, gerência,geologia técnica): 27 posições - 5%

86 https://cdn.prod.website-files.com/67b9c5dc15db73b34fcf2bce/690dfe2a4ac3bfeec08486e6__NI43-101_Technical-Report_ACLARA_Carina-Project_251105.pdf

87 https://www.census.gov/data/tables/2022/econ/economic-census/naics-sector-21.html

88 https://www.bls.gov/oes/2023/may/naics4_212200.htm



Mão de obra técnica especializada (técnicos ambientais, segurança, instrumentação, supervisão): 22 posições - 4%

Operacional qualificado em processo: 52 posições - 9%

Operacional/trades genéricos (contratada de mineração, operação básica de planta, manutenção): 440 posições - 80%

Suporte administrativo e logístico: 13 posições - 2%

Fonte: Elaboração própria.

Levando em consideração a realidade do projeto da Aclara, focado em argilas iônicas, a distribuição aproximada de pessoal é 5-7% de mão de obra altamente especializada, 13% de profissionais técnicos e de supervisão e 80% de trabalhadores operacionais e trades.

Com relação ao benchmark setorial agregado da EEOC NAICS 21 (Mining), os dados estatísticos reportados de 2005 empresas, com 305.327 funcionários, mostram que aproximadamente 10% dos profissionais são especializados, 73% são mão de obra não especializada e 17% destinados a funções de gerência/administrativo, próximo à estrutura reportada pela Aclara.

Já para os dados da BLS Metal Ore Mining (NAICS 212200), de 2022, as informações oficiais mostram que dos 42.300 empregos totais, a força de trabalho é predominantemente operacional, representando cerca de três quartos do emprego total (≈76%), enquanto profissionais especializados correspondem a aproximadamente 9% e funções de gerência e administrativas a cerca de 15% do total.

Além da distribuição de ocupações, as estatísticas mostram o salário médio total do setor, de US$ 72,6 mil/ano, sendo US$ 155 mil para profissionais especializados e aproximadamente US$ 50–70 mil para profissionais não especializados. Estes valores mostram uma proporção de 3:1 entre profissionais especializados e não especializados.

Em termos comparativos com as posições no mercado de trabalho brasileiro, é possível verificar a alta competitividade do mercado nacional frente ao mercado internacional.

A mão de obra operacional nacional apresenta custo anual direto competitivo, variando de aproximadamente US$ 5,5 mil a US$ 9,9 mil por trabalhador/ano. Já a mão de obra técnica especializada se posiciona em patamar superior, entre US$ 12,1 mil e US$ 20,9 mil por ano, equivalente a cerca de 2,1 vezes o custo médio da base operacional. No caso da engenharia especializada, o custo anual estimado alcança US$ 25,3 mil a US$ 43,9 mil, ou aproximadamente 4,5 vezes o custo médio dos operadores. Segue abaixo uma tabela resumo.

Tabela 48: custo estimado da mão de obra por categoria

Categoria	CBO - CAGED/MTE 2026	Faixa mensal base – R$	Custo anual estimado – R$	Custo anual estimado – US$[89]	Perfil
Operador de beneficiamento de minérios	7121-10	2.069 – 3.566	27,6 mil – 47,5 mil	5,5 mil – 9,5 mil	Não especializada / operacional
Operador de moinho – beneficiamento	7121-05	2.137 – 3.706	28,5 mil – 49,4 mil	5,7 mil – 9,9 mil	Não especializada / operacional
Operador de máquinas de mineração	7111-30	2.354 – 3.336	31,4 mil – 44,5 mil	6,3 mil – 8,9 mil	Não especializada / operacional
Técnico de mineração – tório, zircônio e minerais raros	3163-05	5.020 – 6.860	66,9 mil – 91,5 mil	13,4 mil – 18,3 mil	Especializada técnica
Técnico de mineração – geral	3163-05	4.511 – 7.812	60,1 mil – 104,2 mil	12,1 mil – 20,9 mil	Especializada técnica
Engenheiro químico – mineração/metalurgia	2145-15	9.477 – 16.429	126,4 mil – 219,1 mil	25,3 mil – 43,9 mil	Especializada superior
Engenheiro de mineração	2147-05	Faixa equivalente	126,4 mil – 219,1 mil	25,3 mil – 43,9 mil	Especializada superior

Fonte: Elaboração própria.

A projeção decenal da MiHR Canada para Ontario, abrangendo mineração metálica, carvão e mineração não metálica, confirma a leitura de que a maior parte das necessidades de contratação do setor mineral se concentra em funções operacionais e de ofícios técnicos: Ocupações de ofício e funções operacionais não especificadas representam 62% das necessidades de contratação, enquanto Supervisores, coordenadores e encarregados representam 11%, profissionais e especialistas em ciências físicas 10%, ocupações técnicas 6%, trabalhadores de apoio 6% e gerentes e profissionais financeiros 4%.

Assim, triangulando as quatro fontes, é possível fazer uma divisão considerando a realidade em faixas de especialização, conforme quadro síntese abaixo:

[89] PTAX venda de 30/04/2026 = R$ 4,9886/US$

Tabela 49. Estrutura ocupacional estimada para projetos de terras raras no Brasil por nível de especialização

Categoria	Faixa típica	Aplicação ao caso brasileiro
Altamente especializada (engenheiros químicos, metalurgistas, geólogos sêniores, gerentes técnicos, radioproteção)	5–10%	Onde o Brasil tem gargalo estrutural e onde a vantagem é condicional ao Eixo 4
Técnica e supervisão (técnicos químicos, instrumentação, controle de qualidade, supervisores de turno, geotécnicos, segurança)	8–15%	Brasil pode formar via SENAI/IFs, mas requer plano específico; vantagem parcial de treinamento
Operacional qualificada (operadores de planta, control room, equipamento de mina)	15–25%	Vantagem de treinamento mais iminente – treinamento setorial de 6–18 meses suporta
Trades e operacional geral (mecânicos, eletricistas, motoristas, trades, laborers, op. equipamento móvel)	45–65%	Vantagem de treinamento clara e imediata do Brasil. Ao não requerer uma alta especialização, esses cargos podem ser adaptados para um mercado minerador especializado de terras raras.
Administrativo e suporte	5–10%	Vantagem de treinamento clara e imediata do Brasil

Fonte: Elaboração própria.

Por fim, para avaliar as necessidades de demanda de posições do mercado de trabalho da indústria de terras raras nacional, torna-se necessário fazer um exercício compatível com a projeção de ktpa de TREO equivalente.

Em primeiro lugar, levando em consideração a produção de ktpa de TREO das empresas em produção ou na iminência de produzir, a faixa varia de 100 a 250 empregos diretos/ktpa TREO, valores que oscilam conforme a rota tecnológica usada. Assim, usando a média dos intervalos das categorias detalhados na tabela anterior e multiplicando pelo valor de empregos possíveis em três faixas (100 empregos/ktpa; 175 empregos/ktpa; 250 empregos/ktpa), foram elaborados os cenários seguintes:

Tabela 50: Projeção de demanda de mão de obra no Cenário 1 – 100 empregos / ktpa produzida

Ano / estimativas	TREO - ktpa	Empregos Cenário 1 (100/ktpa)	Altamente especializada (a)	Técnica e supervisão (b)	Operacional qualificada (c)	Trades e operacional geral (d)	Administrativo e suporte (e)
2026	3,2	320	24	35	64	176	24
2027	5,8	576	43	63	115	317	43
2028	23,2	2.318	174	255	464	1.275	174
2029	35,2	3.518	264	387	704	1.935	264
2030	38,0	3.797	285	418	759	2.088	285
2031	39,0	3.901	293	429	780	2.145	293
2032	40,2	4.020	302	442	804	2.211	302
2033	41,8	4.176	313	459	835	2.297	313
2034	42,2	4.220	317	464	844	2.321	317
2035	41,8	4.178	313	460	836	2.298	313
2036	41,3	4.131	310	454	826	2.272	310
2037	41,1	4.110	308	452	822	2.261	308
2038	38,5	3.853	289	424	771	2.119	289
2039	39,1	3.907	293	430	781	2.149	293
2040	38,8	3.883	291	427	777	2.136	291

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 51: Projeção de demanda de mão de obra no Cenário 2 – 175 empregos / ktpa produzida

Ano / estimativas	TREO - ktpa	Empregos Cenário 2 (175/ktpa)	Altamente especializada (a)	Técnica e supervisão (b)	Operacional qualificada (c)	Trades e operacional geral (d)	Administrativo e suporte (e)
2026	3,2	560	42	62	112	308	42
2027	5,8	1.008	76	111	202	554	76
2028	23,2	4.056	304	446	811	2.231	304
2029	35,2	6.156	462	677	1.231	3.386	462
2030	38,0	6.644	498	731	1.329	3.654	498
2031	39,0	6.826	512	751	1.365	3.754	512
2032	40,2	7.036	528	774	1.407	3.870	528
2033	41,8	7.308	548	804	1.462	4.019	548
2034	42,2	7.386	554	812	1.477	4.062	554
2035	41,8	7.311	548	804	1.462	4.021	548
2036	41,3	7.229	542	795	1.446	3.976	542
2037	41,1	7.193	539	791	1.439	3.956	539
2038	38,5	6.742	506	742	1.348	3.708	506
2039	39,1	6.838	513	752	1.368	3.761	513
2040	38,8	6.795	510	747	1.359	3.737	510

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 52: Projeção de demanda de mão de obra no Cenário 3 – 250 empregos / ktpa produzida

Ano / estimativas	TREO - ktpa	Empregos Cenário 3 (250/ktpa)	Altamente especializada (a)	Técnica e supervisão (b)	Operacional qualificada (c)	Trades e operacional geral (d)	Administrativo e suporte (e)
2026	3,2	800	60	88	160	440	60
2027	5,8	1.440	108	158	288	792	108
2028	23,2	5.795	435	637	1.159	3.187	435
2029	35,2	8.795	660	967	1.759	4.837	660
2030	38,0	9.491	712	1.044	1.898	5.220	712
2031	39,0	9.751	731	1.073	1.950	5.363	731
2032	40,2	10.051	754	1.106	2.010	5.528	754
2033	41,8	10.440	783	1.148	2.088	5.742	783
2034	42,2	10.551	791	1.161	2.110	5.803	791
2035	41,8	10.444	783	1.149	2.089	5.744	783
2036	41,3	10.327	775	1.136	2.065	5.680	775
2037	41,1	10.275	771	1.130	2.055	5.651	771
2038	38,5	9.632	722	1.059	1.926	5.297	722
2039	39,1	9.768	733	1.075	1.954	5.373	733
2040	38,8	9.708	728	1.068	1.942	5.339	728

Fonte: Elaboração própria.

Independente do cenário, pode-se observar os volumes consideráveis de capital humano necessários, com necessidades de capacitação diferentes para funções mais ou menos especializadas. Vale ressaltar que os cenários em questão não incluem eventuais aumentos mais expressivos de produção, entrada de novos operadores, entre outros.

Preços internacionais ex-China, receita e risco comercial

A definição das premissas de preço é etapa central da análise de competitividade de uma planta de separação de óxidos, especialmente pela complexidade do setor como um todo. Afinal de contas, são 17 elementos com aplicações, preços e dinâmicas tecnológicas, comerciais e produtivas diferentes. Por isso, o mecanismo de *price floors* e acordos de *offtake* são essenciais para se estabelecer a viabilidade de um determinado produto.

Hoje coexistem, de forma cada vez mais clara, duas referências distintas: de um lado, os preços formados no ambiente industrial chinês (que concentra mais de 90% da capacidade de refino e produção de ímãs permanentes); de outro, os preços e mecanismos contratuais ex-China, estruturados por compradores, governos e instituições financeiras para viabilizar novas capacidades produtivas em jurisdições alternativas.

O chamado *China spot price* é a referência de preço observada no mercado chinês ou em transações associadas à cadeia chinesa. Embora seja amplamente utilizado como parâmetro internacional, ele não deve ser interpretado como expressão pura de um mercado livre e plenamente competitivo. A principal fonte para esses dados é a Shanghai Metals Market, e eles são atualizados diariamente.

Trata-se de uma referência formada em um ambiente industrial caracterizado por elevada escala, forte integração vertical, domínio tecnológico, presença de fornecedores locais, menores custos relativos em diversas etapas da cadeia e influência direta ou indireta de políticas industriais. Por isso, o preço chinês expressa não tanto uma cotação comercial, mas, sim, reflete uma estrutura de custos e de organização produtiva que dificilmente é replicável, no curto prazo, por novos entrantes ex-China.

Em paralelo, países e compradores fora da China vêm adotando mecanismos de garantia de preço, contratos de longo prazo e estruturas de *price floo*r para incentivar a produção de terras raras em cadeias alternativas. Esses instrumentos não devem ser entendidos como subsídios genéricos, mas como mecanismos de redução de risco comercial e de bancabilidade. Sua função é viabilizar investimentos em mineração, separação, refino e magnetos nas jurisdições em que os custos iniciais são mais elevados, a escala ainda é menor e a curva de aprendizado industrial não está consolidada.

A diferença entre essas duas dinâmicas é significativa, sobretudo nos óxidos de maior valor. Os dados analisados indicam que, para NdPr, o preço *spot* China FOB de meados de 2026 se situava entre US$ 160 e US$ 184/kg, acima inclusive de algumas referências de preço ex-China de longo prazo (ainda que no passado esse valor tivesse sido consideravelmente menor). Já para Dy, Tb e Y, a diferença entre referências chinesas e preços ex-China é muito mais expressiva. Conforme apresentado no quadro abaixo, existem *spreads* relevantes entre preços China e Argus CIF Europa 2030 (que representam os preços praticados no mercado ocidental, com suporte destes mecanismos de preço e demanda garantida), com prêmios superiores a três vezes para Dy e Tb e ainda maiores para Y.

Apesar disso, para testar a competitividade de uma eventual produção brasileira, adotou-se como premissa conservadora o valor da cesta chinesa, com base no *China spot price* 2026. Essa escolha é metodologicamente importante. Ao utilizar uma referência de preço mais próxima do ambiente chinês, o exercício evita depender, em sua primeira rodada, da captura plena do prêmio ex-China. Em outras palavras, testa-se se a planta brasileira poderia apresentar competitividade mesmo em um cenário de preços mais baixos, associado a uma estrutura global de menor preço e maior pressão competitiva. Caso o projeto se mostre viável sob essa referência, sua atratividade tende a ser ampliada em cenários nos quais parte do prêmio ex-China seja capturada por meio de contratos de longo prazo, *price floors, offtakes* estratégicos ou mecanismos de garantia de demanda.

Para projetar a evolução dos preços, considera-se uma trajetória real de crescimento de 2,5% ao ano a partir do *China spot price* 2026. Essa premissa também é conservadora frente à dinâmica recente observada pela equipe, que estimou crescimento superior a 10% ao ano nos preços chineses ao longo dos últimos dez anos, a partir da consolidação de diferentes fontes indicativas. A

opção por 2,5% ao ano busca evitar extrapolação excessiva de um período de forte valorização e, ao mesmo tempo, reconhecer que a demanda por ETR magnéticos tende a continuar crescendo, impulsionada por mobilidade elétrica, energia eólica, automação, defesa e digitalização. Trata-se, portanto, de uma premissa intermediária: não assume uma estabilização plena dos preços, mas também não incorpora uma trajetória agressiva de alta.

Esse desenho de preços tem duas implicações para a análise. A primeira é que a planta brasileira deve ser avaliada em um cenário conservador de monetização, no qual a competitividade deriva fundamentalmente de *feedstock*, OPEX, escala, CAPEX e custo de capital, e não da captura automática de preços *premium*. A segunda é que os mecanismos ex-China devem ser tratados como *upside* ou como instrumentos de *de-risking*, especialmente em fase de financiamento e decisão final de investimento (FID, na sigla em inglês). Contratos de *offtake* com compradores japoneses, coreanos, europeus ou norte-americanos, além de *price floors* associados a políticas industriais e programas estratégicos, podem melhorar substancialmente a bancabilidade do projeto, mas não devem ser presumidos sem validação comercial.

Nesse sentido, a receita da planta brasileira deve ser analisada em camadas. A primeira camada é o cenário conservador, baseado na cesta *China spot* 2026 com crescimento real de 2,5% ao ano. A segunda camada é o cenário ex-China, no qual parte da produção é vendida sob contratos de longo prazo com prêmio de diversificação e pisos de preço. A representação dessa projeção de preço é dada pelo indicador da Argus Media.

Tabela 53: Referências de preço para óxidos de terras raras

Óxido	*China spot price*	Referência ex-China	Implicação para o modelo
NdPr	US$ 160-184/kg FOB China	*Floors* contratuais ex-China de US$ 110/kg; Argus 2030 CIF Europa de US$ 130/kg	China spot já está acima de algumas referências de longo prazo; uso do *spot* 2026 com crescimento real moderado é defensável
Dy	US$ 317/kg FOB China	Argus 2030 CIF Europa de US$ 1.055/kg	Forte prêmio ex-China; captura desse prêmio depende de *offtakes* e inserção comercial fora da China
Tb	US$ 1.182/kg FOB China	Argus 2030 CIF Europa de US$ 3.781/kg	Forte prêmio ex-China; elemento crítico para a bancabilidade da cesta brasileira
Y	US$ 30-50/kg FOB China estimado	Argus 2030 CIF Europa de US$ 251/kg	Diferença expressiva entre preço chinês e referência ex-China; requer validação comercial específica

Demais óxidos	Variável conforme cesta	Sem *price floor* público equivalente	Devem ser tratados de forma conservadora

Fonte: Elaboração própria.

Assim, a escolha de preços adotada neste exercício busca equilibrar prudência e realismo. O mercado ex-China oferece sinais concretos de disposição a pagar por segurança de suprimento, sobretudo por meio de contratos de longo prazo e *price floors* associados a NdPr e a cadeias estratégicas de magnetos. Ainda assim, a modelagem de base utiliza a referência chinesa como teste conservador de competitividade. Essa abordagem permite avaliar se o midstream brasileiro possui fundamentos econômicos próprios e, ao mesmo tempo, preservar a possibilidade de *upside* caso a produção nacional consiga acessar contratos ex-China, capturar prêmios de diversificação e estruturar mecanismos comerciais capazes de reduzir o risco de receita.

Premissas consideradas

A modelagem foi estruturada a partir de premissas de *benchmarking* internacional conservador, com o objetivo de testar se o midstream brasileiro poderia alcançar atratividade suficiente para justificar avanço para estudos técnicos, comerciais e financeiros mais detalhados.

Premissa	Cenário 1: *Spot China* + Base Brasil	Cenário 2: *Spot China* + Brasil Incentivado	Cenário 3: Argus 2030 + Base Brasil
Capacidade da planta	25 ktpa TREO	25 ktpa TREO	25 ktpa TREO
Período operacional	2031-2050, 20 anos	2031-2050, 20 anos	2031-2050, 20 anos
Preço	*China spot* + 2,5% a.a.	*China spot* + 2,5% a.a.	Argus 2030, com prêmio ex-China
Regime brasileiro	Base, legislação atual	Incentivos Brasil	Base, legislação atual
Feedstock	“Cesta brasileira”	“Cesta brasileira”	“Cesta brasileira”
***Payability* ao upstream**	70% da receita realizada	70% da receita realizada	70% da receita realizada
OPEX unitário	US$ 21/kg TREO	US$ 21/kg TREO	US$ 21/kg TREO
OPEX	US$ 525 milhões/ano	US$ 525 milhões/ano	US$ 525 milhões/ano
CAPEX unitário	US$ 66/kg TREO	US$ 66/kg TREO	US$ 66/kg TREO

CAPEX inicial	US$ 1,65 bilhão	US$ 1,485 bilhão efetivo (10% em subvenção)	US$ 1,65 bilhão
Estrutura de capital	70% dívida / 30% *equity*	70% dívida / 30% *equity*	70% dívida / 30% *equity*
***Equity* investido**	US$ 495 milhões	US$ 445,5 milhões	US$ 495 milhões
Dívida	US$ 1,155 bilhão	US$ 1,0395 bilhão	US$ 1,155 bilhão
Taxa de juros nominal (% a.a.)	8% a.a.	8% a.a.	8% a.a.
Tributação	34% IRPJ + CSLL	15,25% efetivo (Desconto 75% IRPJ)	34% IRPJ + CSLL
Depreciação	20 anos linear	Cinco anos (depreciação acelerada)	20 anos linear
Subvenção (desconto sobre CAPEX)	Não considerada	US$ 165 milhões	Não considerada

Fonte: Elaboração própria.

A primeira premissa relevante é a escala de 25 ktpa. Essa capacidade foi adotada por representar uma planta industrial relevante, sem assumir que toda a produção potencial dos projetos brasileiros estará disponível simultaneamente. Como parte do upstream ainda depende de licenciamento, financiamento, construção e *ramp-up*, a escolha por 25 ktpa funciona como uma aproximação prudente. Além do projeto Eneabba, da Iluka Resources, sendo construído em Western Australia (17,5 ktpa de capacidade de produção), a empresa Lynas possui uma planta na Malásia com capacidade de processamento de aproximadamente 20 ktpa. A empresa francesa Solvay também declarou que pretende expandir sua planta de La Rochelle para 20ktpa de capacidade até 2030.

A segunda premissa é o uso da cesta brasileira ponderada como referência de *feedstock*. A modelagem considera a composição estimada dos cinco projetos brasileiros mais avançados, preservando a lógica de que o Brasil possui uma cesta com participação relevante de elementos magnéticos e pesados, o que eleva o valor econômico potencial da alimentação da planta. Conforme apontado anteriormente, a utilização da cesta agregada brasileira pode não ser a combinação mais eficiente, podendo existir combinações que privilegiam HREE, MREE ou apenas parcela dos projetos existentes no Brasil. Quaisquer outras combinações, contudo, implicarão uma solução mais eficiente – e rentável do que a ora testada.

A terceira premissa é a capacidade de pagamento "*payability*" de 70% da receita realizada aos projetos minerários. Isso significa que a planta de separação apropria

30% da receita como margem bruta antes de OPEX, CAPEX, impostos e financiamento. Cabem aqui duas colocações adicionais. A primeira é que essa premissa é considerada para o fornecimento de MREC, que já é um concentrado de qualidade superior. Em se tratando de concentrados de areia monazítica, por exemplo, esse desconto é consideravelmente maior, podendo atingir valores superiores a 60%. A segunda colocação é que o *payability* pode aumentar para até 85% em momentos quando a oferta esteja mais restrita. Nesse caso, os preços finais aumentam consideravelmente, compensando esse movimento.

A quarta premissa é o OPEX de US$525 milhões por ano, equivalente a cerca de US$21/kg TREO. Esse valor reflete uma versão ajustada da premissa apresentada pela empresa Aclara em seu último relatório técnico, referente à sua planta de separação de óxidos que pretende construir no estado norte-americano de Louisiana. Dessa forma, importante dizer que tal referência de OPEX ainda não responde à realidade brasileira de custos que, como apresentado, possui vantagens importantes, ainda não consideradas.

A quinta premissa é o CAPEX de US$ 1,65 bilhão, baseado em intensidade de capital de US$ 66/kg TREO. No Cenário 2, esse valor é reduzido para US$ 1,485 bilhão efetivo, supondo 10% do investimento inicial sendo coberto por algum programa de subvenção econômica para a definição de rotas de processo.

A sexta premissa é a estrutura de capital de 70% dívida e 30% *equity*. Essa configuração é compatível com um projeto intensivo em capital, mas depende de financiamento de longo prazo e instrumentos de redução de risco.

A sétima premissa é o custo de capital. O custo de *equity* foi fixado em 15% real USD nos três cenários, funcionando como taxa mínima de atratividade do investidor. O custo da dívida considerado foi 8% a.a., taxa nominal, considerando uma linha de financiamento em dólares norte-americanos. Entendemos que, dado o interesse internacional para o setor, é razoável supor que um projeto como esse consiga taxas nesse patamar.

A oitava premissa é tributária. Nos Cenários 1 e 3, aplica-se carga de 34% de IRPJ + CSLL. No Cenário 2, considera-se regime incentivado com alíquota efetiva de 15,25%, associado a um programa específico para midstream de minerais críticos.

A nona premissa é a depreciação. Nos cenários Base, o CAPEX é depreciado linearmente em 20 anos. No cenário Brasil Incentivado, considera-se depreciação acelerada em 5 anos, o que melhora o perfil de caixa nos primeiros anos e amplia o benefício fiscal do investimento.

Por fim, a décima premissa é o preço. Os cenários 1 e 2 utilizam *China spot* com crescimento real de 2,5% ao ano, uma referência conservadora. O Cenário 3 utiliza Argus 2030, incorporando o prêmio ex-China. Essa comparação permite separar dois efeitos: o efeito de política pública brasileira e o efeito de acesso a preços/demanda *off takes* ex-China.

Resultados encontrados

A modelagem avaliou três cenários. O Cenário 1 representa a situação conservadora: preço *China spot* com crescimento de 2,5% ao ano e regime brasileiro atual. O Cenário 2 mantém o mesmo preço conservador, mas incorpora um pacote de política industrial voltado ao midstream. O Cenário 3 mantém o regime brasileiro atual, mas substitui a referência de preço por Argus 2030, refletindo maior captura do prêmio ex-China.

Tabela 55. Resultados econômico-financeiros dos cenários modelados

Variável	Cenário 1: *Spot* + Base	Cenário 2: *Spot* + Brasil Incentivado	Cenário 3: Argus + Base
Receita bruta média anual	US$ 2,7 bi/ano	US$ 2,7 bi/ano	US$ 3,2 bi/ano
EBITDA médio anual	US$ 274 mi/ano	US$ 274 mi/ano	US$ 442 mi/ano
Lucro líquido médio anual	US$ 86 mi/ano	US$ 114 mi/ano	US$ 196 mi/ano
FCE médio anual	US$ 110 mi/ano	US$ 144 mi/ano	US$ 221 mi/ano
***Equity* investido**	US$ 495 mi	US$ 445,5 mi	US$ 495 mi
TIR de Projeto (a.a.)	9,0%	11,5%	16,0%
TIR *Equity* (a.a.)	11,8%	16,5%	31,0%
VPL Projeto	US$ 370 mi	US$ 540 mi	US$ 1,5 bi
Payback equity	10,4 anos	8,9 anos	Quatro anos
Margem EBITDA média	10,3%	10,3%	13,7%

Fonte: Elaboração própria.

O primeiro resultado é que o projeto é operacionalmente viável, mas não necessariamente atrativo para capital privado sob as premissas mais conservadoras. No Cenário 1, as taxas de retorno do projeto (TIR projeto) e do acionista (TIR *Equity*) são de 9,0% e 11,8%, respectivamente. O VPL do projeto é de US$370 milhões e o *payback* se aproxima de 10,4 anos. Isso indica que, embora a planta gere caixa ao longo dos 20 anos e apresente um VPL positivo, o perfil de risco-retorno ainda está muito próximo da fronteira de tomada de decisão de investimento de um investidor privado típico, especialmente se as alternativas de investimento forem em jurisdições consideradas menos arriscadas.

O segundo resultado é que um pacote de política industrial direcionado ao midstream melhora de forma relevante a atratividade do projeto. No Cenário 2, com subvenção de 10% do CAPEX, alíquota efetiva reduzida e depreciação acelerada, a TIR de projeto é de 11,5% e do acionista 16,5%. O VPL do projeto passa a US$540 milhões e o payback do investimento cai para oito/nove anos. Nesse cenário, o projeto ultrapassa um patamar considerado adequado para esse tipo de projeto, que é uma rentabilidade superior a 15% a.a., ainda que a margem para tanto possa ser considerada "apertada".

O terceiro cenário mostra que, em um ambiente institucional no qual vigoram os preços internacionais ex-China via price floors e garantias de demanda, os resultados saem da fronteira de decisão de investimento e passam para um patamar de rentabilidade bastante atrativo. A adoção de preços Argus 2030 eleva a receita bruta média anual para cerca de US$ 3,2 bilhões, o EBITDA médio anual para cerca de US$ 442 milhões e a TIR de projeto e do acionista para 16,0% e 31,0%, respectivamente, mesmo sem incentivos adicionais brasileiros. O VPL do projeto atinge cerca de US$ 1,5 bilhão e o período de retorno *payback* cai para aproximadamente quatro anos.

As principais conclusões da modelagem, com relação à instalação de um projeto de separação de óxidos no Brasil, são três:

- O Brasil possui condições que tornam viáveis (não necessariamente atrativos sob o ponto de vista eminentemente financeiro) o investimento, mesmo considerando a dinâmica atual do mercado mundial de terras raras. Contudo, há que se notar que, dado o *modus operandi* dos países dominantes, essa "competitividade natural" não blinda o país contra práticas anticompetitivas, como o *dumping*. A atratividade de investimentos baseados exclusivamente em capital privado permanece sujeita a elevado grau de incerteza.
- O Brasil pode, através de medidas de incentivo fiscal e tributário, *de-risking* e redução do custo de capital, melhorar sobremaneira as condições para uma positiva tomada de decisão de investimento. No cenário apresentado, medidas como incentivo tributário e aceleração da depreciação, atuam de maneira decisiva para que, mesmo em um cenário de preços chineses, um investimento como esse se torne viável.
- A vinculação de um projeto como esse a um mecanismo internacional de definição de piso de preços, garantia de demanda e fornecimento de capital parece atuar de maneira muito efetiva em direção a uma decisão favorável de investimento em solo nacional.

Também é importante destacar que os resultados foram obtidos com premissas conservadoras. A modelagem não incorpora otimização da cesta de *feedstock*, redução potencial de CAPEX por engenharia brasileira, OPEX mais favorável por

competitividade nacional, expansão de escala para além de 25 ktpa ou combinação simultânea entre preço ex-China e incentivos nacionais. Portanto, os resultados devem ser interpretados como piso metodológico, não como estimativa máxima de atratividade.

Como desenvolvimento futuro, recomenda-se a realização de estudos técnico-econômicos específicos para projetos representativos do segmento de separação de terras raras no Brasil, incluindo análises de sensibilidade sobre variáveis críticas — como preços de NdPr, CAPEX, OPEX, taxa de câmbio e condições de financiamento — com o objetivo de avaliar a robustez econômica dos investimentos sob diferentes condições de mercado.

Implicações para a ENTR

Os resultados parecem reforçar um entendimento central em torno do qual este estudo orbita: juntamente com a realização do potencial do upstream, já em desenvolvimento, o midstream deve ser tratado como foco da ENTR. Por outro lado, sua implantação não ocorrerá automaticamente a partir da existência de recursos minerais. O Brasil possui fundamentos favoráveis, especialmente a matéria prima *feedstock* doméstica com composição relevante de elementos magnéticos e pesados, OPEX potencialmente competitivo e massa crítica suficiente para sustentar uma planta de escala industrial. Contudo, esses fundamentos precisam ser convertidos em um ambiente de investimento que possa atrair a atenção do capital privado, ainda que conte com o apoio de entes nacionais.

A primeira implicação para a ENTR é que a política pública deve atuar de forma direcionada sobre as variáveis que mais afetam a decisão de investimento: CAPEX efetivo, tributação, depreciação, custo de capital, risco de preço e risco de demanda. O Cenário 2 mostra que um programa midstream, combinando subvenção parcial de CAPEX, depreciação acelerada e redução tributária, pode elevar a TIR de patamar insuficiente para patamar atrativo. Esse resultado justifica a criação de instrumentos específicos para separação, refino e transformação mineral, em vez de tratar o midstream apenas como extensão da mineração convencional.

A segunda implicação é que a ENTR deve estar articulada a compradores e governos desde a fase de desenvolvimento do projeto. O Cenário 3 demonstra que a captura de prêmio ex-China por meio de contratos de *offtake*, *price floors* ou estruturas de garantia de preço altera decisivamente a atratividade econômica. Portanto, a ENTR deve apoiar a formação de arranjos comerciais com compradores internacionais, sobretudo em cadeias ligadas a magnetos permanentes, defesa, mobilidade elétrica, energia eólica e automação.

A terceira implicação é que a decisão de investimento em uma planta de separação no Brasil deve ocorrer concomitantemente àplena maturação de todos

os projetos de upstream. Isso exige coordenação entre mineração, processamento, financiamento e mercado. Se o país aguardar a consolidação integral da produção mineral antes de estruturar o midstream, corre o risco de perder a janela estratégica para outras jurisdições que já estão combinando financiamento público, *offtakes* e política industrial.

Recomenda-se assim que, já a partir de 2027, seja estruturado um programa coordenado de relacionamento comercial com compradores estratégicos, envolvendo o MME, pela coordenação da política mineral e industrial; o MRE, por meio da diplomacia econômica e da rede de Setores de Promoção Comercial e Investimentos; a Apex-Brasil, pela promoção comercial, atração de investimentos e conexão com compradores internacionais; e o mecanismo executivo interministerial de coordenação da ENTR proposto na Estratégia Nacional no capítulo 4 do relatório, como instância técnica de coordenação setorial. Essa agenda deverá ser alinhada à futura Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos, buscando inserir o Brasil de forma qualificada nas cadeias globais de valor, promover transformação mineral e atrair investimentos para etapas de maior valor agregado.

Este programa poderá incluir um conjunto de informações de *due diligence* para projetos brasileiros de terras raras, contendo dados geológicos, reservas e recursos, rota tecnológica, balanço de massa, especificações químicas, plano de licenciamento, matriz ESG, rastreabilidade, cronograma de implantação, CAPEX/OPEX, estrutura societária, situação fundiária, logística, disponibilidade energética, certificações e aderência a padrões internacionais. Assim, esse pacote de informações poderia funcionar como um redutor de custos de transação, permitindo que compradores, financiadores e seguradoras multilaterais avaliem os projetos com maior previsibilidade.

Além disso, instituições multilaterais poderiam ter papel relevante na redução de riscos percebidos pelos compradores e financiadores. O Eco Invest Brasil, por exemplo, já foi desenhado para atrair capital externo para projetos sustentáveis de longo prazo, com instrumentos de mitigação de risco cambial e mecanismos financeiros voltados à transformação ecológica. Embora o programa não seja, em si, uma garantia de contrato de venda, sua lógica de redução de risco e mobilização de capital externo poderia ser adaptada ou complementada para apoiar projetos de minerais críticos e etapas de midstream.

Outras instituições multilaterais como Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID / BID Invest), Banco Mundial, Agência Francesa de Desenvolvimento (AFD), Agência Alemã de Cooperação Internacional (GIZ), Novo Banco de Desenvolvimento (NDB), entre outras, também poderiam atuar por meio de garantias, estruturas de compartilhamento de risco, fortalecimento de crédito, financiamento de capital de giro da cadeia e instrumentos associados a *project finance* ou *structured trade finance*. Nesse contexto, a recomendação não seria

necessariamente que esses bancos multilaterais garantissem o "contrato comercial" em sentido amplo, mas que pudessem mitigar riscos específicos associados a crédito, performance, câmbio, risco político, cumprimento de obrigações públicas, infraestrutura crítica e bancabilidade dos projetos. A Agência Multilateral de Garantia de Investimentos (MIGA), do Grupo Banco Mundial, também poderia ser considerada para cobertura de riscos políticos em investimentos elegíveis, especialmente quando houver participação de investidores ou compradores estrangeiros em estruturas de longo prazo.

Em quarto lugar, a ENTR deve distinguir competitividade intrínseca de competitividade induzida. A competitividade intrínseca decorre de *feedstock*, energia, mão de obra, logística e qualidade da cesta mineral. A competitividade induzida decorre de instrumentos públicos, contratos, *price floors*, financiamento e mitigação de risco. A modelagem mostra que o Brasil tem fundamentos próprios, mas que a atratividade do investimento depende da combinação entre essas duas dimensões.

Por fim, os resultados indicam que a ENTR deve tratar o midstream como agenda de implementação econômica, não apenas como diretriz estratégica. Isso significa definir instrumentos concretos, metas de capacidade, critérios para projetos elegíveis, mecanismos de coordenação entre BNDES, Finep, MME, MDIC e Fazenda, além de estratégia internacional ativa para obtenção de *offtakes*. A conclusão prática é clara: o Brasil tem condições de sediar uma indústria de separação de óxidos de ETR, mas a transformação dessa possibilidade em investimento dependerá de política industrial direcionada e de inserção comercial ex-China antes da decisão final de investimento.

3.6.3 Oportunidades no downstream gradual

No downstream, as oportunidades brasileiras existem, mas devem ser tratadas de forma gradual e seletiva. No médio prazo, o país pode avançar em produtos intermediários e semiacabados, como metais, ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados, criando base industrial e aprendizado tecnológico sem exigir, de imediato, a internalização integral das etapas finais mais complexas. Essa trajetória é mais realista do que buscar diretamente uma indústria plenamente integrada de ímãs e componentes finais em grande escala.

Também no médio prazo ganha relevância a conexão entre terras raras e setores industriais prioritários. As oportunidades tornam-se mais robustas quando se articulam a mercados concretos ou potenciais, especialmente mobilidade elétrica, energia eólica, robótica e automação, saúde e defesa. Nesse horizonte, a agregação de valor depende da capacidade de aproximar projetos minerais, transformação industrial, desenvolvedores de tecnologia e setores usuários. Essa

aproximação é importante para criar demanda-âncora, orientar investimentos e reduzir incertezas sobre o destino econômico da produção mais elaborada.

No longo prazo, a oportunidade estratégica do Brasil é consolidar um ecossistema integrado de mina, processamento, manufatura e reciclagem, capaz de reduzir a distância entre a base geológica nacional e os segmentos de maior valor agregado da cadeia global. Esse horizonte inclui o avanço na produção de ímãs permanentes, componentes magnéticos, materiais funcionais e aplicações tecnológicas mais sofisticadas. A produção nacional de ímãs permanentes representa a oportunidade downstream mais emblemática, tanto pelo seu valor econômico quanto por seu papel na articulação com cadeias industriais de maior dinamismo, como mobilidade elétrica, energia renovável, automação industrial, defesa e equipamentos médicos. No entanto, essa etapa exige maturidade tecnológica, capacidade industrial, demanda âncora e suprimento estável de materiais processados, o que a coloca como objetivo de mais longo prazo dentro de uma trajetória gradual de adensamento.

3.6.4 Oportunidades em circularidade e suprimento secundário

A circularidade oferece ao Brasil uma frente complementar, mas estrategicamente relevante, de agregação de valor. No curto prazo, as oportunidades mais viáveis concentram-se na reciclagem de sucata industrial, perdas de processo e resíduos minerais, que tendem a ser mais facilmente rastreáveis e processáveis do que produtos dispersos em fim de vida. Nesse estágio, a reciclagem deve ser vista não como substituta da mineração primária, mas como complemento importante para segurança de suprimento, inovação e eficiência material.

No médio prazo, a integração entre reciclagem, reaproveitamento de rejeitos e suprimento secundário pode se tornar parte mais estruturada da estratégia industrial. Isso inclui recuperação de ETR a partir de rejeitos, lama vermelha e outros resíduos minerais, bem como o desenvolvimento de capacidades para reaproveitar perdas industriais de rotas de transformação. Essa agenda é especialmente promissora porque articula redução de passivos, desenvolvimento tecnológico e maior resiliência de cadeia.

No longo prazo, a circularidade avançada deve deixar de ser frente complementar e passar a compor de forma estrutural a estratégia nacional. Isso inclui reciclagem de ímãs permanentes, reaproveitamento de resíduos industriais e urbanos, integração entre manufatura e logística reversa, e maior uso de fontes secundárias como parte da segurança de suprimento do país. Para isso, será necessário não apenas dominar rotas tecnológicas, mas também construir ambiente regulatório, logístico e institucional adequado para que a circularidade opere em escala.

3.6.5 Condições habilitadoras para a agregação de valor

As oportunidades de agregação de valor descritas nas subseções anteriores não se materializam automaticamente a partir da existência de reservas ou do avanço da mineração. Sua viabilização depende de um conjunto de condições habilitadoras que atravessam toda a cadeia e que, no caso brasileiro, são tão importantes quanto os ativos geológicos, tecnológicos e institucionais já existentes. A transformação da base mineral em capacidade produtiva e industrial dependerá da capacidade de criar um ambiente econômico, regulatório e tecnológico compatível com os elos de maior valor agregado da cadeia.

A primeira dessas condições é a definição de uma estratégia seletiva e escalonada. O Brasil dificilmente conseguirá internalizar, de forma simultânea e competitiva, todos os elos da cadeia de terras raras no curto prazo. Por isso, a trajetória mais racional consiste em priorizar segmentos nos quais o país já apresenta alguma combinação de recurso mineral, competência tecnológica, mercado potencial e viabilidade de implementação, especialmente no midstream seletivo e, progressivamente, em nichos do downstream.

A segunda condição é o fortalecimento de instrumentos de financiamento e mitigação de risco. Projetos de processamento, refino, metais, ligas, magnetos e reciclagem demandam capital intensivo, maturação tecnológica longa e maior previsibilidade de demanda do que a mineração convencional. Assim, instrumentos voltados à redução de risco, financiamento de plantas-piloto e demonstração, apoio à transformação mineral, encomendas estratégicas e garantias de mercado serão decisivos para permitir o avanço da cadeia além da extração mineral.

A terceira condição é a ampliação da capacidade de escalonamento tecnológico. O país já dispõe de competências científicas e laboratoriais relevantes, mas ainda precisa converter conhecimento acumulado em unidades-piloto robustas, plantas de demonstração e ativos industriais. A passagem de tecnologias de nível intermediário de maturidade para aplicação industrial permanece como um dos principais gargalos para a agregação de valor, especialmente nos segmentos de separação, refino, metalização e reciclagem.

A quarta condição é a criação de ambiente regulatório, tributário e institucional compatível com a verticalização. Isso envolve maior articulação entre política mineral, política industrial, ciência e tecnologia, financiamento, licenciamento e desenvolvimento territorial. Em determinados segmentos, também envolve tratamento específico para temas como radioatividade natural, resíduos e licenciamento ambiental, além de instrumentos econômicos desenhados para reduzir o custo de capital, mitigar riscos e estimular a internalização de etapas de maior valor agregado. Sem esse ambiente habilitador, a tendência é que o país avance na mineração sem conseguir consolidar capacidade industrial nos elos seguintes.

A quinta condição é a formação de mercado e a conexão com setores usuários. O downstream não se sustenta sem demanda. Por isso, será fundamental aproximar o desenvolvimento da cadeia de terras raras de setores industriais que possam funcionar como âncoras, como mobilidade elétrica, energia renovável, automação, saúde, defesa e equipamentos especializados. Essa conexão é necessária tanto para justificar economicamente o avanço da cadeia quanto para orientar investimentos, reduzir incertezas e acelerar o aprendizado industrial.

A sexta condição é a articulação entre agregação de valor e sustentabilidade territorial e socioambiental. A construção de uma cadeia nacional competitiva exigirá legitimidade social, governança territorial, previsibilidade ambiental e capacidade de lidar de forma qualificada com os riscos e impactos inerentes ao setor. A agregação de valor só será sustentável se vier acompanhada de governança adequada e de mecanismos que reforcem sua legitimidade econômica, institucional, ambiental e social.

3.6.6 Implicações estratégicas do diagnóstico

O diagnóstico consolidado nas seções anteriores sugere que o Brasil possui oportunidades concretas em todos os elos da cadeia de valor de terras raras, mas não no mesmo grau, com a mesma urgência ou com o mesmo nível de risco. O maior potencial imediato está em consolidar e ampliar o upstream, usar essa base para ancorar um midstream seletivo e, a partir daí, desenvolver um downstream focado em nichos estratégicos, além de reciclagem e reaproveitamento de fontes secundárias.

A principal implicação estratégica dessa leitura é que a ENTR não deve ser orientada nem por uma ambição maximalista de internalizar toda a cadeia no curto prazo, nem por uma visão passiva que reduza o país à exportação de materiais brutos ou intermediários. O caminho mais promissor está em uma estratégia gradual, seletiva e coordenada, capaz de usar a vantagem geológica como base para desenvolver capacidades produtivas, tecnológicas e institucionais em etapas crescentes de sofisticação. Isso implica priorizar o midstream como elo crítico, fortalecer instrumentos de escalonamento tecnológico, resolver gargalos regulatórios e de financiamento, e articular a cadeia com setores industriais e territoriais capazes de sustentar sua expansão.

Essa leitura também sugere que a posição estratégica do Brasil dependerá menos do volume de reservas isoladamente considerado e mais da capacidade de combinar mineração, processamento, inovação, desenvolvimento territorial e inserção internacional em uma arquitetura coerente de política pública. É essa passagem que define o sentido da estratégia nacional.

3.7 Posição do Brasil nas cadeias globais de valor e parcerias estratégicas

A posição do Brasil nas cadeias globais de valor de terras raras deve ser compreendida a partir de uma tensão central entre vantagem geológica e baixa densidade industrial. O país dispõe de recursos minerais expressivos, de um *pipeline* crescente de projetos e de ativos relevantes em pesquisa, instituições e capacidade produtiva mineral. Ao mesmo tempo, ainda apresenta inserção limitada nos elos de maior valor agregado da cadeia, especialmente nas etapas de separação, refino, metalurgia e manufatura avançada. Apesar de ser um ator relevante no potencial de oferta, o Brasil ainda não se consolidou como ator no controle dos elos industriais e tecnológicos mais estratégicos.

Essa posição intermediária é importante porque, no contexto atual, a relevância estratégica de um país em terras raras não decorre apenas da existência de reservas ou mesmo da capacidade de lavra. O que define a inserção mais robusta nas cadeias globais é a capacidade de converter recursos geológicos em produção confiável, processamento seletivo, transformação industrial, inovação tecnológica e relações internacionais capazes de reduzir a dependência excessiva de um único centro de poder industrial. É a partir dessa chave que se pode avaliar, de forma mais precisa, onde o Brasil está, para onde pode avançar e quais parcerias podem contribuir para esse reposicionamento.

3.7.1 Posição atual do Brasil

Atualmente, o Brasil ocupa posição relevante no elo mineral da cadeia, mas ainda incipiente nos elos intermediários e finais. O diagnóstico consolidado neste relatório mostra que o país avançou mais no upstream, com expansão da pesquisa mineral, *pipeline* crescente de projetos e uma operação comercial já em funcionamento, enquanto midstream e downstream ainda permanecem em estágio inicial, apoiados sobretudo em iniciativas-piloto, demonstrativas e capacidades laboratoriais ou pré-industriais. A posição brasileira, portanto, é a de um país com potencial de oferta e com atributos para se tornar parceiro estratégico em cadeias em reconfiguração, mas que ainda depende fortemente de tecnologias, processos e, em parte, mercados externos para avançar em direção a maior agregação de valor.

Essa posição deve ser lida em contraste com a configuração global da cadeia. O pano de fundo internacional é marcado por crescimento da demanda por terras raras magnéticas em veículos elétricos, energia eólica, defesa, semicondutores, eletrônica avançada e saúde, ao mesmo tempo em que persistem elevada concentração no refino e forte dominância em ímãs permanentes. Nesse

contexto, o Brasil aparece como potencial fornecedor alternativo e como possível base de expansão produtiva fora da Ásia, mas ainda não como competidor sistêmico nos elos de maior valor. O país apresenta ativos importantes, mas sua inserção permanece assimétrica: forte em recurso mineral, ainda fraca em controle industrial da cadeia.

Ao mesmo tempo, a posição atual brasileira não deve ser subestimada. O país reúne atributos que o tornam especialmente atrativo no cenário de diversificação global: base geológica expressiva, ambiente institucional em formação, energia relativamente limpa, disponibilidade de água em regiões-chave, competências técnico-científicas acumuladas e presença de setores industriais que podem funcionar como âncoras de demanda. Esses fatores reforçam o potencial de inserção mais qualificada nas cadeias globais, ainda que o país precise definir em que condições conseguirá fazê-lo e com que grau de autonomia relativa.

O Brasil apresenta condições favoráveis para se posicionar como fornecedor regional de produtos processados de terras raras, aproveitando a proximidade geográfica, a integração comercial e potenciais economias de escala. Nesse sentido, a agregação da demanda regional pode aumentar a viabilidade econômica de investimentos nos segmentos de *midstream* e *downstream*, especialmente em atividades de separação, refino e fabricação de ímãs permanentes.

Países como Argentina, Uruguai e Chile possuem planos e investimentos em energias renováveis e em mobilidade elétrica, o que tende a ampliar a demanda regional por insumos como ímãs permanentes e outros produtos de ETR. No entanto, ainda há uma lacuna relevante de dados consolidados e publicamente disponíveis sobre essa demanda, o que limita uma avaliação mais precisa desse potencial de mercado. O avanço nessa agenda requer o desenvolvimento de estudos regionais e a sistematização de dados, capazes de subsidiar o planejamento de investimentos e a formulação de políticas públicas.

Os países sul-americanos apresentam uma complementaridade relevante entre as bases de recursos naturais, com destaque para lítio, cobre, ETR e grafita. Além disso, o aprofundamento da cooperação regional em minerais críticos e estratégicos pode viabilizar cadeias produtivas mais integradas, ampliando a agregação de valor e a internalização de etapas industriais. Nesse contexto, destaca-se a retomada dos trabalhos do Subgrupo de Trabalho nº 15 (SGT-15) – Geologia e Mineração do Mercosul, responsável por promover a cooperação técnica e a harmonização de políticas públicas entre os países-membros, com ênfase em minerais estratégicos para a transição energética e na integração regulatória regional.

3.7.2 Tendências de reposicionamento

As tendências recentes sugerem que o Brasil dispõe de uma janela concreta de reposicionamento. Esse movimento decorre da combinação entre fatores internacionais e domésticos. No plano internacional, a reorganização das cadeias de suprimento e a busca por redução de dependência excessiva de poucos fornecedores vêm ampliando o interesse por novos polos de produção e processamento. No plano doméstico, observa-se avanço do *pipeline* de projetos, maior mobilização de instrumentos de financiamento, surgimento de pilotos e demonstradores industriais, maior articulação entre mineração, tecnologia e política industrial, além de interesse crescente de parceiros internacionais em diferentes elos da cadeia.

Esse reposicionamento, contudo, não tende a ocorrer de forma homogênea em todos os segmentos. O maior potencial imediato permanece no fortalecimento do upstream, especialmente em depósitos competitivos e em materiais com relevância magnética. A partir daí, a tendência mais realista é o avanço para um midstream seletivo, em vez de uma tentativa de internalização integral de toda a cadeia no curto prazo. Essa leitura é consistente com o diagnóstico do relatório, que identifica a separação/refino de NdPr, a produção de metais e ligas da cadeia magnética, os ímãs permanentes e magnetos semiacabados, a reciclagem de ETR e, em momento oportuno, a separação de Dy/Tb como áreas de racionalidade estratégica e econômica prioritárias.

O reposicionamento também depende da capacidade de conectar a cadeia de terras raras a setores usuários mais dinâmicos. O relatório já identifica, como campos particularmente promissores, mobilidade elétrica, energia renovável, robótica e automação, saúde e equipamentos médicos e defesa. Esses setores são relevantes por seu potencial de demanda, mas também porque funcionam como ponte entre recurso mineral e política industrial. O reposicionamento brasileiro será mais robusto se ocorrer como inserção em ecossistemas produtivos e tecnológicos de maior densidade.

Ainda assim, esse movimento não deve ser romantizado. O diagnóstico aponta que os principais entraves percebidos pelos atores consultados são de natureza econômica, regulatória e industrial: volatilidade de preços, custo de capital, acesso desigual a financiamento, baixa maturidade do midstream, ausência de mercado-âncora, insegurança em torno da radioatividade e fragmentação da governança. Isso significa que o reposicionamento brasileiro não ocorrerá automaticamente a partir do aumento do interesse internacional. Ele dependerá de coordenação pública, financiamento, escalonamento tecnológico, previsibilidade regulatória e construção gradual de base industrial.

3.7.3 Parcerias estratégicas e implicações para a ENTR

No caso brasileiro, as parcerias estratégicas devem ser entendidas como construção de um portfólio funcional de cooperação voltado à superação dos elos frágeis da cadeia. O diagnóstico das entrevistas é claro ao indicar que a agenda de terras raras precisa ser também uma agenda de cooperação. Nesse sentido, a ENTR deve buscar parcerias alinhadas às necessidades concretas da cadeia brasileira, e não apenas à expansão das exportações minerais, sem necessariamente vedá-las, conforme já exposto em outras oportunidades. Isso inclui: i) parceiros de financiamento e redução de risco; ii) parceiros de processamento e refino; iii) parceiros de inovação tecnológica; iv) parceiros de mercado usuário e manufatura; v) parceiros de circularidade; e vi) parceiros de governança e segurança de suprimento.

A implicação mais importante dessa leitura é que as parcerias não devem ser tratadas como dimensão lateral da estratégia, mas como um de seus instrumentos centrais. No curto prazo, elas são especialmente relevantes para viabilizar financiamento, engenharia, suprimento de equipamentos, aprendizado operacional e acesso a mercados. No médio prazo, tornam-se decisivas para sustentar separação/refino seletivo, produção de metais e ligas e integração com manufatura. No longo prazo, podem apoiar a construção de capacidades mais sofisticadas em ímãs permanentes, componentes, circularidade e tecnologias críticas. Em todos esses casos, o critério principal deve ser a aderência da parceria às prioridades industriais e tecnológicas da ENTR.

Isso significa, na prática, que a política brasileira de parcerias deve combinar pragmatismo com seletividade. O país não precisa nem deve pretender replicar sozinho toda a cadeia global. Por outro lado, também não se deve limitar a ser apenas origem de matéria-prima mineral para cadeias controladas externamente. A melhor estratégia está em combinar base mineral própria, fortalecimento seletivo de capacidades domésticas e cooperação internacional dirigida à superação de gargalos específicos. Assim, as parcerias passam a cumprir dupla função: reduzir dependências excessivas no curto e médio prazo e, ao mesmo tempo, apoiar a construção de maior autonomia relativa nos segmentos priorizados.

Em termos de implicação para a ENTR, isso sugere que a estratégia nacional deve estruturar critérios claros para seleção de parceiros, alinhando cooperação internacional a prioridades de tecnologia, mercado, processamento, circularidade e governança. Também sugere que o Brasil deve evitar parcerias que reforcem posição puramente extrativa sem transferência de capacidades, aprendizagem ou criação de densidade produtiva interna. Em outras palavras, a agenda internacional da ENTR deve ser subordinada ao projeto nacional de adensamento da cadeia, e não o contrário.

3.8 Síntese do diagnóstico

O diagnóstico desenvolvido neste capítulo mostra que o Brasil reúne ativos relevantes para ocupar posição mais robusta nas cadeias globais de valor de terras raras, mas ainda enfrenta entraves estruturais que limitam a conversão desse potencial em capacidade nacional efetiva. O ponto central é que a principal vantagem brasileira hoje está na base geológica e no avanço do upstream, enquanto a principal fragilidade está na baixa densidade industrial, tecnológica e institucional nos elos de maior valor agregado. Essa assimetria define o núcleo do desafio estratégico brasileiro.

Entre os ativos centrais identificados pelo estudo, destacam-se: i) base geológica expressiva e carteira crescente de projetos; ii) presença inicial, ainda que limitada, de operação comercial e de pilotos em processamento e manufatura; iii) competências técnico-científicas acumuladas em universidades, institutos e centros tecnológicos; iv) existência de setores industriais e tecnológicos que podem funcionar como âncoras de demanda; v) interesse crescente de parceiros internacionais; e vi) ambiente institucional em formação, com instrumentos públicos já mobilizados em mineração, inovação e transformação mineral. Esses ativos indicam que o país não parte do zero e já dispõe de base importante para uma estratégia de adensamento gradual da cadeia.

As lacunas críticas, por sua vez, concentram-se em dimensões já reiteradamente apontadas pelas entrevistas, pelas visitas de campo e pela análise documental: i) baixa maturidade industrial do midstream; ii) gargalos de financiamento, especialmente no salto entre piloto e escala comercial; iii) dependência externa de equipamentos, insumos, *know-how* e rotas tecnológicas críticas; iv) insegurança regulatória e institucional em temas como licenciamento, radioatividade e NORM; v) ausência de mercado-âncora mais estruturado para sustentar o downstream; vi) fragmentação de governança; e vii) fragilidades territoriais e socioambientais que podem comprometer legitimidade e previsibilidade dos projetos. Essas lacunas mostram que a restrição principal ao avanço brasileiro é a dificuldade de articular, financiar, regular e escalar a cadeia.

O diagnóstico revela oportunidades concretas em diferentes elos da cadeia, ainda que em graus e horizontes distintos. No curto prazo, as oportunidades mais robustas estão na consolidação do upstream e no uso dessa base para ancorar um midstream seletivo. No médio prazo, surgem oportunidades em separação/refino de NdPr, metais e ligas associados à cadeia magnética, magnetos semiacabados e integração com setores usuários. No longo prazo, aparecem oportunidades mais sofisticadas em ímãs permanentes, componentes, materiais funcionais, circularidade avançada e suprimento secundário. A racionalidade estratégica da ENTR decorre justamente de reconhecer que essas

oportunidades existem, mas não devem ser perseguidas de forma simultânea e indiscriminada.

A agenda estratégica que decorre do diagnóstico é, portanto, clara. Em primeiro lugar, a ENTR deve ser construída como estratégia gradual, seletiva e orientada por missão, evitando tanto a permanência em posição exclusivamente extrativa quanto a ambição pouco realista de internalizar toda a cadeia no curto prazo. Em segundo, deve priorizar o midstream como elo crítico de agregação de valor. Em terceiro, precisa combinar financiamento, escalonamento tecnológico, ambiente regulatório compatível, formação de mercado e sustentabilidade territorial como condições habilitadoras do avanço da cadeia. Em quarto, deve-se organizar a cooperação internacional como instrumento funcional para superar gargalos específicos e apoiar a construção de capacidades domésticas. Por fim, deve-se reconhecer que coordenação institucional e governança são condições estratégicas, e não elementos acessórios, para transformar ativos dispersos em política nacional efetiva.

O Brasil já reúne condições para deixar de ser apenas um país com grande potencial geológico e começar a se posicionar como ator mais relevante nas cadeias globais de valor. O sucesso dessa transição dependerá de sua capacidade de usar a vantagem mineral como base para construir capacidade produtiva, tecnológica, institucional e territorial. É dessa passagem – da dotação geológica à estratégia nacional de cadeia – que nasce a necessidade da ENTR e o sentido das diretrizes estratégicas desenvolvidas no capítulo seguinte.

4. Estratégia Nacional de Terras Raras

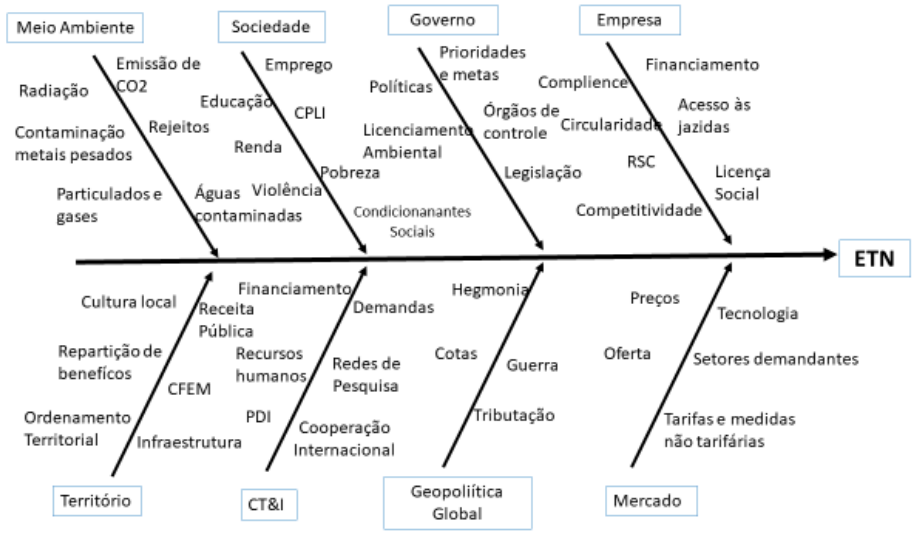
4.1 Visão, princípios e objetivos

A Estratégia Nacional de Terras Raras deve orientar o Brasil na transição de uma posição predominantemente mineral para uma inserção mais densa, seletiva e estratégica na cadeia global de valor. O objetivo central da ENTR é transformar a base geológica e os projetos em desenvolvimento em capacidades produtivas, tecnológicas, institucionais e territoriais, de forma compatível com os interesses nacionais, com a sustentabilidade e com a construção gradual de maior agregação de valor no território. Essa estratégia parte do reconhecimento de que o país dificilmente internalizará todos os elos da cadeia no curto prazo, mas pode avançar de forma progressiva, combinando pragmatismo e ambição.

A visão nacional da ENTR deve ser sustentada por alguns princípios orientadores: segurança de suprimento e relevância estratégica; agregação de valor progressiva; seletividade tecnológica e industrial; sustentabilidade socioambiental; desenvolvimento territorial e legitimidade social; coordenação interinstitucional; e cooperação internacional orientada ao fortalecimento das capacidades domésticas. Esses princípios traduzem a premissa de que a estratégia brasileira não se deve limitar à expansão da mineração, mas tampouco pode prescindir dela. O desafio é usar a vantagem mineral como base para desenvolver capacidades em processamento, refino, metalurgia, magnetos, reciclagem, inovação e integração industrial.

A ENTR deve perseguir, em particular, os seguintes objetivos: consolidar o Brasil como fornecedor competitivo e confiável; desenvolver capacidades seletivas em processamento e transformação mineral; converter ciência e tecnologia em capacidade industrial; estruturar um ambiente regulatório, tributário, financeiro e institucional compatível com a verticalização; promover legitimidade territorial e sustentabilidade; e ampliar a inserção internacional do país em cadeias de maior valor agregado.

Figura 17. Condicionantes de uma Estratégia Nacional de Terras Raras para o Brasil



Fonte: Elaboração própria com base em Kamenopoulos e Agioutantis (2013) nas dimensões e variáveis tratadas neste estudo

4.2 Eixos estratégicos

O diagnóstico consolidado neste relatório indica que o desenvolvimento de uma base nacional de tecnologias críticas em terras raras requer mais do que apoio genérico à pesquisa científica ou estímulos isolados à mineração. Exige estratégia coordenada, orientada por missão, capaz de conectar conhecimento geológico, pesquisa aplicada, escalonamento tecnológico, proteção de ativos intelectuais, demanda industrial, financiamento, regulação, sustentabilidade territorial e cooperação internacional. É a partir dessa lógica que se propõem os eixos estratégicos da ENTR.

Eixo 1. Conhecimento geológico, informação e inteligência setorial

Objetivo: Ampliar a base de conhecimento e transformar informação em capacidade de decisão. Diretrizes:

- aprofundar o mapeamento geológico em áreas prioritárias;
- sistematizar dados sobre recursos, reservas, projetos, infraestrutura e mercado;
- garantir maior publicização e reaproveitamento do conhecimento geológico após expiração de títulos, quando cabível;
- criar sistema contínuo de inteligência de mercado e monitoramento da demanda.

Eixo 2. Upstream competitivo, confiável e sustentável

Objetivo: Consolidar a base mineral brasileira como plataforma inicial da ENTR, combinando competitividade econômica, confiabilidade de fornecimento, segurança operacional, previsibilidade regulatória e padrões socioambientais compatíveis com a inserção do Brasil em cadeias globais de maior valor agregado.

O elo upstream constitui a base material da Estratégia Nacional de Terras Raras. No caso brasileiro, ele representa o segmento de maior maturidade relativa no curto prazo, em razão da base geológica expressiva, do avanço do *pipeline* de projetos e da possibilidade concreta de ampliar a oferta nacional em um contexto internacional de busca por diversificação geográfica do suprimento. A consolidação desse elo é, portanto, condição necessária para qualquer trajetória posterior de agregação de valor. Ao mesmo tempo, essa consolidação não deve ser entendida como simples expansão da lavra, mas como construção de uma base mineral capaz de oferecer fornecimento confiável, previsível e sustentável para etapas subsequentes da cadeia.

Nesse sentido, o upstream brasileiro deve ser orientado por quatro frentes complementares: i) apoio a projetos viáveis e com maior aderência estratégica, especialmente aqueles capazes de combinar competitividade mineral, segurança operacional, previsibilidade regulatória e potencial de conexão com etapas posteriores da cadeia; ii) aproveitamento de coprodutos, subprodutos, rejeitos e fontes secundárias, reduzindo o custo de entrada e ampliando a base de oferta sem depender exclusivamente da abertura de novas minas dedicadas; iii) fortalecimento da rastreabilidade, da gestão de riscos, dos padrões socioambientais e da legitimidade territorial dos empreendimentos; iv) articulação entre expansão mineral, planejamento territorial (incluindo estratégias para empregos, uso de fornecedores e conteúdo locais), uso eficiente de energia e redução de emissões, de modo a transformar a base mineral brasileira em diferencial competitivo também do ponto de vista socioeconômico, climático e ambiental.

A dimensão energética merece destaque específico. A cadeia de valor dos ETR é caracterizada por elevada intensidade energética e significativa pegada de carbono, sobretudo nas etapas de processamento químico, separação e metalurgia. Processos como a produção eletrolítica de metais de terras raras e ligas metálicas são particularmente eletrointensivos, demandando políticas específicas para mitigação de custos e emissões. Estimativas indicam que a produção de ETR requer cerca de 40,0 gigajoule (GJ) por tonelada de energia final, podendo alcançar aproximadamente 200,0 GJ por tonelada de energia primária, quando se considera eficiência de conversão de 20%. Esse dado reforça que a competitividade futura da cadeia não dependerá apenas da qualidade do

depósito ou do custo da lavra, mas também do perfil energético e da capacidade de descarbonização dos empreendimentos.

Sob essa ótica, o Brasil dispõe de vantagem potencial relevante. A combinação entre matriz elétrica majoritariamente renovável, potencial de expansão de fontes renováveis e disponibilidade de recursos minerais cria condições favoráveis para o desenvolvimento de uma cadeia mais eficiente e de menor intensidade de carbono. Em particular, a possibilidade de associar mineração e processamento a eletricidade renovável, infraestrutura existente e uso complementar de biocombustíveis pode se converter em diferencial estratégico para posicionar o país como fornecedor confiável e sustentável. O caso Serra Verde já aponta nessa direção ao destacar, entre suas credenciais de sustentabilidade, o acesso a eletricidade renovável, uso de biocombustíveis, operações de baixo impacto e boas condições de infraestrutura e mão de obra.

A experiência internacional reforça esse ponto. No caso europeu, recomenda-se a criação de zonas industriais com acesso a eletricidade de baixo custo proveniente de fontes renováveis, a redução de encargos sobre o consumo elétrico e a ampliação do uso de energias renováveis nas atividades de mineração e processamento, justamente para tornar viáveis processos eletrointensivos e reduzir emissões. Essas diretrizes foram incorporadas à Lei Europeia das Matérias-Primas Críticas (*European Critical Raw Materials Ac*t, CRMA) e articuladas a metas de reciclagem e circularidade. Para o Brasil, isso sugere que a consolidação do upstream não deve ser dissociada do planejamento energético e da busca por maior eficiência no uso de recursos.

Além disso, práticas de economia circular e mineração urbana devem ser entendidas como complementares à estratégia do upstream e não como alternativa excludente. A recuperação de ETR secundários por meio da reciclagem de resíduos eletrônicos, ímãs permanentes em fim de vida e resíduos minerais pode reduzir significativamente a necessidade de mineração primária mais intensiva em energia e recursos. Embora a circularidade seja tratada com maior detalhe em outro eixo, sua articulação com o upstream é importante desde já, porque contribui para reduzir perdas, melhorar a eficiência material e posicionar a base mineral brasileira de forma mais aderente às exigências de sustentabilidade das cadeias globais.

No contexto internacional, iniciativas de transparência e governança do setor extrativo, como a Extractive Industries Transparency Initiative (EITI), vêm sendo adotadas por diversos países produtores de minerais críticos, incluindo 11 países latino-americanos. Embora o Brasil não seja atualmente membro da EITI, o país dispõe de instrumentos próprios de transparência e rastreabilidade associados ao setor mineral, incluindo sistemas públicos da ANM, mecanismos de arrecadação e distribuição da CFEM, obrigações regulatórias de reporte e instrumentos de

controle ambiental e fiscal. Nesse sentido, a não adesão brasileira à EITI (iniciativa para a transparência de indústrias extrativas) não implica ausência de mecanismos de transparência, mas indica uma trajetória institucional distinta em relação a outros países da região. O avanço da ENTR poderá, portanto, contribuir para aprofundar mecanismos de monitoramento, divulgação de informações estratégicas e responsabilização socioambiental, em linha com práticas internacionais de governança e crescente demanda dos mercados por rastreabilidade, transparência e mecanismos robustos de responsabilização socioambiental nas cadeias de minerais críticos.

A gestão de resíduos e rejeitos também demanda abordagem específica em razão da possível presença de NORM, reagentes químicos e grandes volumes de material movimentado associados às atividades de mineração e beneficiamento mineral. Os tipos de resíduos variam conforme o depósito mineral e a rota tecnológica adotada, podendo incluir rejeitos minerais com concentrações variáveis de tório e urânio, estéreis, efluentes líquidos e resíduos químicos provenientes de processos hidrometalúrgicos. No caso dos depósitos de argilas iônicas, os baixos teores de terras raras resultam em elevada movimentação de material e geração de grandes volumes de estéril, reforçando a necessidade de planejamento adequado para manejo, disposição e recuperação ambiental das áreas mineradas. Ao mesmo tempo, parte dos projetos em desenvolvimento no Brasil tem buscado incorporar soluções tecnológicas inéditas ou ainda pouco difundidas internacionalmente, como sistemas fechados de lixiviação associados à recuperação e recirculação de água e reagentes em circuito fechado. Nesse contexto, a ENTR deve estimular a adoção de padrões robustos de gestão de rejeitos, monitoramento radiológico e controle ambiental ao longo de todo o ciclo de vida dos empreendimentos, incluindo armazenamento seguro, rastreabilidade, monitoramento de água, solo e ar, planos de emergência, fechamento de mina e recuperação ambiental, observados os requisitos de segurança radiológica, proteção ambiental e saúde ocupacional aplicáveis.

A consolidação do upstream também depende de previsibilidade institucional. A expansão da mineração deve estar alinhada ao planejamento territorial, à coordenação regulatória, à segurança operacional e à gestão qualificada de temas como radioatividade natural, rejeitos e uso de recursos hídricos. Sem isso, o país corre o risco de ampliar a base de projetos sem construir a confiança necessária para atrair capital, estruturar contratos de longo prazo e conectar a produção mineral a uma estratégia industrial mais ampla. Em outras palavras, o upstream brasileiro só se converterá em plataforma estratégica da ENTR se for simultaneamente competitivo, confiável e sustentável.

Diretrizes

- apoiar projetos viáveis e com maior aderência estratégica, especialmente aqueles capazes de combinar competitividade mineral, segurança operacional e potencial de conexão com etapas posteriores da cadeia, por meio de uma matriz de avaliação e priorização de projetos e de reuniões interministeriais periódicas de avaliação;

- estimular o aproveitamento de coprodutos, subprodutos, rejeitos e fontes secundárias, ampliando a base de oferta e reduzindo custo de entrada;

- fortalecer rastreabilidade, padrões socioambientais, gestão de riscos e segurança operacional ao longo do ciclo mineral;

- acompanhar os resultados territoriais vinculados à produção, incluindo a geração de empregos bem como a existência e mobilização de fornecedores locais qualificados, participação do conteúdo local nas aquisições e disponibilidade de serviços para regiões produtoras.

- alinhar a expansão da mineração à previsibilidade regulatória, ao planejamento territorial e à coordenação entre as diferentes instâncias de licenciamento e fiscalização, com vistas à simplificação do procedimento e redução de ineficiências;

- promover o uso eficiente de energia e a redução de emissões nas atividades de mineração, beneficiamento e processamento inicial, aproveitando a vantagem comparativa da matriz elétrica brasileira;

- incentivar o uso de eletricidade renovável, biocombustíveis, soluções de eficiência energética e infraestrutura de menor intensidade de carbono nos empreendimentos do setor;

- articular a consolidação do upstream à agenda de circularidade, de modo a reduzir perdas, ampliar a eficiência material e fortalecer a sustentabilidade da cadeia.

- estabelecer diretrizes específicas para gestão de rejeitos e estéreis na mineração de ETR, considerando a presença potencial de NORM, os grandes volumes de material movimentado em depósitos de argilas iônicas e a adoção de tecnologias inovadoras ainda em processo de consolidação e amadurecimento operacional em escala industrial.

Eixo 3. Midstream seletivo como núcleo da estratégia

Objetivo: Desenvolver capacidades domésticas em separação, refino e transformação mineral, fazendo do midstream o núcleo da trajetória brasileira de agregação de valor em terras raras.

O elo de midstream ocupa posição central na Estratégia Nacional de Terras Raras porque é nele que se concentra, simultaneamente, o principal gargalo da cadeia brasileira e a principal oportunidade de captura de valor. O diagnóstico consolidado no relatório e os resultados da escuta com *stakeholders* convergem ao apontar que o maior salto de agregação de valor está na capacidade de o país sair da exportação de concentrados ou carbonatos mistos e avançar para produtos intermediários de maior pureza, separação seletiva, metais e ligas. É no midstream que o Brasil pode começar a reduzir a distância entre sua vantagem geológica e uma presença mais robusta nos segmentos industriais e tecnológicos estratégicos da cadeia global.

Ao mesmo tempo, a experiência internacional e o diagnóstico nacional indicam que essa transição não deve ser pensada como reprodução integral, no curto prazo, de toda a cadeia industrial hoje concentrada na China. A estratégia mais realista para o Brasil é a construção de um midstream seletivo, orientado por prioridades tecnológicas claras, aderência à base mineral disponível, racionalidade econômica e capacidade de aprendizado industrial progressivo. O país dificilmente internalizará, de forma simultânea e competitiva, todas as etapas da separação, do refino, da metalização e das rotas associadas a todos os elementos de terras raras. A resposta estratégica, portanto, deve ser a seletividade e não a dispersão.

Nesse contexto, a prioridade inicial deve recair sobre a separação e o refino de NdPr e de produtos intermediários de maior pureza, em linha com o que o próprio relatório já define como direção estratégica. Essa escolha faz sentido porque neodímio e praseodímio estão no centro da cadeia magnética e da demanda global ligada a ímãs permanentes, especialmente em mobilidade elétrica, energia eólica, automação e aplicações industriais avançadas. Ao priorizar essas rotas, o Brasil aumenta a probabilidade de construir massa crítica industrial em um segmento com maior aderência à sua base de projetos e à dinâmica internacional de demanda.

A partir desse primeiro passo, o avanço em metais e ligas deve ser tratado como evolução natural e progressiva do midstream. O relatório já aponta expressamente essa direção ao recomendar avanço progressivo em metais e ligas e ao posicionar metais e ligas associados à cadeia magnética entre as prioridades de maior racionalidade estratégica e econômica. Esse segmento é particularmente relevante porque funciona como ponte entre o refino e o downstream mais sofisticado, permitindo ampliar a captura de valor sem exigir, de imediato, domínio pleno da manufatura final de ímãs permanentes. Em termos de política pública, trata-se de um espaço em que o Brasil pode combinar escalonamento tecnológico, apoio financeiro e articulação com setores usuários de forma mais viável do que em uma tentativa prematura de verticalização completa.

As rotas específicas para Dy/Tb devem ser tratadas com cautela estratégica. O relatório recomenda apoiá-las apenas em projetos aderentes e em momento oportuno, o que é coerente com a maior complexidade, menor escala relativa e maior sensibilidade regulatória e econômica desses elementos. Isso não significa afastá-las da estratégia, mas enquadrá-las em lógica de priorização mais rigorosa, vinculada à mineralogia dos depósitos, à viabilidade econômica, à maturidade tecnológica e à existência de mercados ou parcerias capazes de sustentar sua transformação industrial. A implicação prática é que o país deve evitar comprometer recursos escassos com rotas de maior incerteza antes de consolidar bases mais robustas em segmentos de maior aderência imediata.

Outro componente central deste eixo é a estruturação de *hubs* regionais de processamento e inovação. O relatório identifica explicitamente essa diretriz e destaca, nas seções de oportunidades, que a formação de *hubs* regionais é especialmente promissora em Goiás e Minas Gerais, onde há maior proximidade entre recursos minerais, infraestrutura, empresas, centros tecnológicos e instrumentos de financiamento. Essa estratégia territorial é superior à dispersão de iniciativas isoladas porque favorece economias de escala, compartilhamento de infraestrutura, formação de mão de obra especializada, articulação entre mineração e processamento e maior integração com pesquisa aplicada. Em vez de tentar distribuir capacidades escassas por diversos territórios sem massa crítica, a ENTR deve apoiar a formação de polos com densidade institucional e industrial suficiente para sustentar aprendizado e escalonamento.

O aprofundamento dessa análise em escala municipal – considerando localidades como Minaçu, Araxá, Poços de Caldas, Catalão e Mariana – poderá ser objeto de estudos posteriores voltados ao roadmap de implementação da ENTR, incluindo avaliações comparativas sobre disponibilidade de feedstock, energia, água, logística, mão de obra, infraestrutura industrial, capacidade tecnológica e contexto socioambiental.

Nesse contexto, também pode ser considerada a estruturação de um programa nacional de hubs de terras raras, com iniciativas-piloto voltadas ao processamento, separação e serviços industriais compartilhados. Modelos desse tipo podem contribuir para reduzir riscos tecnológicos e de escala, ampliar o compartilhamento de infraestrutura e viabilizar arranjos cooperativos entre diferentes projetos minerários e industriais, inclusive por meio de soluções compartilhadas de processamento, gestão de rejeitos, financiamento e desenvolvimento tecnológico.

A centralidade do midstream também decorre de sua função sistêmica na cadeia. Sem separação, refino e transformação mineral, o país tende a permanecer dependente de etapas externas para converter sua produção mineral em insumos industriais relevantes. Isso limita a captura de valor, reduz a atratividade de

atividades mais sofisticadas no território nacional e enfraquece a conexão entre mineração, inovação e indústria. Por isso, o fortalecimento deve ser visto como uma decisão estruturante para reposicionar o Brasil nas cadeias globais de valor de terras raras. É nesse elo que se encontram química, engenharia, regulação, financiamento, escala e política industrial de forma mais intensa.

Por fim, o avanço do midstream seletivo depende fortemente de condições habilitadoras já identificadas no relatório: financiamento público e instrumentos de *de-risking*, apoio a plantas-piloto e demonstradores, fortalecimento do ecossistema de inovação e maior aderência entre ambiente regulatório e lógica industrial da cadeia. O documento assinala que o papel central do financiamento público e dos instrumentos de mitigação de risco será decisivo para viabilizar esse salto. O Eixo 3 não pode ser operacionalizado apenas com diretrizes tecnológicas; ele requer coordenação estreita com os eixos de financiamento, inovação, regulação e desenvolvimento territorial. Sem isso, o país corre o risco de continuar ampliando a produção mineral sem conseguir transformar essa expansão em capacidade doméstica de separação, refino e transformação mineral.

Diretrizes

- priorizar separação/refino de NdPr e produtos intermediários de maior pureza como primeira frente de maior racionalidade estratégica e econômica;
- avançar progressivamente em metais e ligas associados à cadeia magnética, criando ponte entre refino e manufatura mais sofisticada;
- apoiar rotas específicas para Dy/Tb apenas em projetos aderentes e em momento oportuno, evitando dispersão prematura de esforços;
- estruturar *hubs* regionais de processamento e inovação, com prioridade para territórios que já concentrem recurso mineral, infraestrutura, empresas, centros tecnológicos e instrumentos de financiamento;
- articular o avanço do midstream com plantas-piloto, demonstradores, instrumentos de *de-risking* e financiamento público, reduzindo o hiato entre prova de conceito e escala industrial;
- conectar a estratégia de midstream ao ecossistema nacional de inovação, de forma a transformar conhecimento científico e capacidade laboratorial em separação, refino e transformação mineral em escala;
- usar o midstream como elo estruturante da estratégia de agregação de valor, reduzindo dependência externa e aumentando a atratividade de segmentos subsequentes da cadeia no país.

Eixo 4. Desenvolvimento nacional de tecnologias críticas, inovação e pesquisa aplicada

Objetivo: Converter conhecimento acumulado em capacidade produtiva e industrial, estruturando uma base nacional de tecnologias críticas em terras raras e reduzindo a distância entre pesquisa, demonstração e aplicação econômica.

O desenvolvimento de uma base nacional de tecnologias críticas em terras raras requer mais do que apoio genérico à pesquisa científica. Exige estratégia coordenada, orientada por missão, capaz de conectar conhecimento geológico, pesquisa aplicada, escalonamento tecnológico, proteção de ativos intelectuais, demanda industrial e cooperação internacional. Em um setor caracterizado por elevada complexidade tecnológica, forte concentração global de capacidades e crescente relevância geoeconômica, a política pública deve buscar ampliar a produção de conhecimento e transformar esse conhecimento em processos, produtos, ativos de propriedade intelectual e capacidades industriais instaladas no país.

O relatório já identifica que o principal desafio brasileiro é converter competências científicas e laboratoriais em rotas tecnológicas escaláveis e em ativos produtivos. Nesse contexto, o eixo de tecnologias críticas e inovação deve funcionar como ponte entre o foco seletivo definido pela estratégia e a construção de uma base industrial viável. Em vez de atuação difusa e fragmentada, recomenda-se organizar o esforço tecnológico nacional a partir de prioridades claras e de instrumentos orientados a resultados, permitindo que o país avance da pesquisa à demonstração e, progressivamente, à produção industrial.

Para isso, a estratégia deve apoiar a formação de uma **rede nacional de P&D aplicada e inovação com missão industrial**, articulando universidades, ICTs e empresas em consórcios orientados a resultados tecnológicos e industriais. Recomenda-se uma rede envolvendo universidades federais, USP, Unicamp, Unesp, Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), IPT, CETEM, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN), Senai, institutos nacionais de ciência e tecnologia e demais instituições com competências relevantes em geologia, química de separação, metalurgia extrativa, produção de ligas, magnetos, reciclagem, caracterização e ensaios. Em vez de sobreposição de esforços, a estratégia deve buscar divisão funcional de responsabilidades, aproveitando a especialização de cada instituição em determinados elos ou desafios tecnológicos.

Esse arranjo só será efetivo se os instrumentos de apoio exigirem formação de consórcios entre ICTs e empresas, com metas tecnológicas explícitas, entregas intermediárias, avanço de ETRLs e plano de absorção industrial. O objetivo é evitar que o esforço tecnológico permaneça restrito à produção de conhecimento

desconectado das necessidades da cadeia. A política pública deve privilegiar projetos orientados a resultados, voltados a separação, refino, metalização, ligas, magnetos, reciclagem e gestão radiológica, com clareza sobre para onde se pretende levar cada rota e quais ativos industriais ou tecnológicos se deseja construir.

Deve-se enfrentar diretamente o principal gargalo brasileiro na cadeia de terras raras: a dificuldade de transição entre o ambiente laboratorial e a implantação industrial. O país já dispõe de competências científicas e tecnológicas relevantes em várias etapas da cadeia, mas ainda carece de instrumentos e estruturas capazes de converter rotas tecnológicas validadas em plantas-piloto, unidades de demonstração e operações industriais. Nesse sentido, a estratégia deve ser organizada segundo estágios de maturidade tecnológica: apoio à pesquisa aplicada e prova de conceito; apoio robusto a plantas-piloto e validação integrada de processos; apoio a unidades de demonstração industrial, lotes pré-comerciais e testes de qualificação junto a usuários; e, por fim, apoio à implantação comercial das tecnologias que atingirem maturidade adequada.

A criação e consolidação de uma **infraestrutura nacional de teste, certificação e demonstração** deve ser parte integrante deste eixo. Em terras raras, não basta dominar uma rota em laboratório; é necessário demonstrar repetibilidade, qualidade, desempenho e conformidade industrial em ambientes controlados e certificados. O relatório propõe, nesse sentido, uma plataforma nacional articulando IPT, Senai, CETEM, IPEN/CNEN, universidades e centros tecnológicos, com laboratórios de caracterização química e mineralógica, linhas-piloto, plantas de demonstração, instalações para produção experimental de ligas e magnetos e capacidades de ensaio, confiabilidade e certificação. Essa base é essencial para reduzir risco tecnológico, atrair parceiros privados, qualificar produtos para setores exigentes e permitir o avanço de ETRLs intermediários para níveis próximos da escala comercial.

Outro componente importante é a proteção e retenção de valor por meio de ativos intelectuais. É necessário orientar projetos quanto à escolha entre patenteamento e segredo industrial, sobretudo em casos de rotas de processo e parâmetros sensíveis. Em uma cadeia em que parte relevante da vantagem competitiva reside em conhecimento de processo, domínio químico e engenharia, a política pública deve estimular não apenas a geração de conhecimento, mas também sua proteção e retenção no país. Isso é particularmente importante para evitar dependência excessiva de pacotes tecnológicos externos e ampliar a capacidade nacional de capturar valor a partir de soluções próprias.

Por fim, este eixo precisa estar fortemente conectado à formação de recursos humanos. Recomenda-se a promoção de programas de formação e retenção de

recursos humanos especializados. Essa formação não deve ser tratada apenas como tema educacional, mas como componente da política industrial. Em um setor intensivo em química, metalurgia, caracterização, segurança radiológica, automação e engenharia de processo, sem base de pessoal qualificado, a transição entre ciência e indústria tende a permanecer bloqueada. A política pública, portanto, deve combinar formação acadêmica, capacitação técnica e experiências em ambientes-piloto e industriais.

Diretrizes

- apoiar plantas-piloto, demonstradores e escalonamento tecnológico, criando ponte entre bancada, validação e implantação produtiva;
- estruturar rede nacional de P&D aplicada e inovação com missão industrial, articulando universidades, ICTs e empresas em consórcios orientados a resultados;
- fortalecer ecossistema de inovação envolvendo Senai, IPT, CETEM, IPEN/CNEN, universidades e empresas, com divisão funcional de responsabilidades e foco em rotas prioritárias;
- incentivar tecnologias de separação, metalização, ligas, magnetos, reciclagem e gestão radiológica;
- criar plataforma nacional de teste, certificação, metrologia e demonstração tecnológica em terras raras;
- promover programas de formação de recursos humanos especializados, articulando formação acadêmica, capacitação técnica e experiências em plantas-piloto e ambientes industriais;
- orientar projetos quanto à proteção de ativos intelectuais, ampliando a retenção de valor e capacidade nacional de captura tecnológica.

Eixo 5. Downstream gradual, setores âncora e circularidade

Objetivo: Construir presença progressiva nos segmentos de maior valor agregado, articulando desenvolvimento industrial, demanda-âncora e circularidade como partes de uma mesma trajetória de adensamento.

O downstream brasileiro pode oferecer oportunidades no médio/longo prazo, devendo ser conectado com demanda industrial real. Acredita-se que, no médio prazo, o país pode avançar em produtos intermediários e semiacabados, como metais, ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados, criando base industrial e aprendizado tecnológico sem exigir, de imediato, a internalização integral das

etapas finais mais complexas. Essa trajetória é mais realista do que buscar diretamente uma grande indústria integrada de ímãs e componentes finais.

O eixo de downstream deve combinar dois movimentos complementares. O primeiro é o avanço progressivo em segmentos industriais de maior valor agregado, começando por metais, ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados e abrindo, no longo prazo, espaço para ímãs permanentes, componentes especializados e materiais funcionais. O segundo é a conexão intencional desse avanço com setores-âncora, isto é, mercados e cadeias produtivas capazes de absorver, testar e tracionar os produtos desenvolvidos. Sem essa conexão, o risco é avançar em protótipos e capacidades dispersas sem construir base econômica suficiente para consolidar a cadeia.

Os principais setores-âncora a serem considerados são nos segmentos de: energia renovável, mobilidade elétrica, robótica e automação, saúde e equipamentos médicos, defesa, semicondutores e eletrônica avançada. No caso da mobilidade elétrica, ímãs permanentes constituem uma das principais aplicações de NdPr, Dy e Tb, e a expansão dos veículos elétricos já é um dos grandes vetores globais de demanda. Na energia eólica, as turbinas de maior desempenho utilizam ímãs permanentes ligados sobretudo a Nd, Pr, Dy e Tb. A robótica tende a se tornar um dos maiores vetores de demanda por NdFeB até 2040, conectando terras raras à agenda de reindustrialização e automação avançada. Saúde, defesa e eletrônica avançada, por sua vez, oferecem mercados de menor volume, mas de alto valor e maior aderência a nichos tecnológicos brasileiros.

Nesse contexto, o desenvolvimento do downstream deve estar articulado a desafios tecnológicos concretos, como produção nacional de óxidos separados de NdPr, fabricação de ligas magnéticas, desenvolvimento de ímãs permanentes e rotas de reciclagem de magnetos e resíduos industriais. A participação empresarial deve ocorrer desde a fase de pesquisa aplicada, com envolvimento de empresas potencialmente usuárias, integradoras ou compradoras dos produtos desenvolvidos. Sempre que possível, a política pública deve incorporar mecanismos de demanda-âncora, incluindo compras públicas tecnológicas, encomendas institucionais e instrumentos que favoreçam a substituição competitiva de importações em setores estratégicos. O objetivo é transformar o esforço tecnológico em base industrial e mercado.

A cadeia de valor dos ETR é caracterizada por uma elevada intensidade energética e significativa pegada de carbono, especialmente nas etapas de processamento químico, separação e metalurgia. Processos como a produção eletrolítica de metais de terras raras e de ligas metálicas são particularmente eletrointensivos, demandando políticas específicas para mitigação de custos e emissões (Roland *et al*., 2021). Esse contexto reforça a importância de estratégias

voltadas à eficiência energética e à descarbonização ao longo de toda a cadeia produtiva.

Práticas de economia circular e mineração urbana são alternativas eficazes para reduzir o consumo energético do setor (IBRAM, 2025). A recuperação dos ETR secundários por meio da reciclagem de resíduos eletrônicos e de ímãs permanentes em fim de vida diminui significativamente a necessidade de mineração primária, que é mais intensiva em energia e recursos. Paralelamente, o redesenho de produtos com foco na circularidade, facilitando reparo, desmontagem e reaproveitamento, contribui para estender o ciclo de vida dos materiais e reduzir perdas ao longo da cadeia.

A União Europeia é uma referência nessa área e pode servir de inspiração. O relatório "*Rare Earth Magnets and Motors: A European Call for Action"* (Gauß et al., 2021*)* reforça a necessidade de políticas industriais voltadas à sustentabilidade do setor. Entre as principais recomendações, destaca-se a criação de zonas industriais com acesso à eletricidade de baixo custo proveniente de fontes renováveis, além da redução de encargos sobre o consumo elétrico, de modo a viabilizar economicamente processos eletrointensivos. O relatório também recomenda a ampliação do uso de energias renováveis nas atividades de mineração e processamento para a redução de emissões. Essas diretrizes foram posteriormente incorporadas e ampliadas na CRMA, que inclui metas para fortalecimento da reciclagem e consolida a economia circular como eixo estratégico para a transição energética e a segurança de materiais críticos. A reciclagem dos ETR é considerada estratégica para a segurança de suprimento e para a sustentabilidade, com menos de 1% desses elementos reciclados atualmente na União Europeia, apesar do elevado potencial representado pelos ímãs permanentes descartados (fonte secundária). Algumas das propostas incluem a estruturação de um mercado para materiais reciclados; a retenção de resíduos contendo ETR (impedindo a exportação desses resíduos) e a adoção de metas mínimas de conteúdo reciclado por parte dos fabricantes.

Paralelamente, a Europa investe em PD&I para viabilizar rotas tecnológicas mais eficientes. Algumas das principais iniciativas são apoiadas pelo programa Horizonte Europa (*Horizon Europe*) e pela ERMA e incluem o desenvolvimento da mineração urbana e de tecnologias para extração de ETR a partir de fontes secundárias (como resíduos industriais e rejeitos de mineração), além da formação de mão de obra qualificada e incorporação do tema nos currículos acadêmicos.

No Brasil, a combinação de uma matriz elétrica majoritariamente renovável, do potencial de expansão de fontes renováveis e disponibilidade de recursos minerais cria condições favoráveis para o desenvolvimento de uma cadeia mais eficiente e de menor intensidade de carbono. Nesse sentido, a articulação entre eficiência energética, economia circular e inovação tecnológica será determinante

para posicionar o país de forma competitiva e sustentável no cenário global de terras raras.

A circularidade deve ser tratada como parte constitutiva deste eixo. Na circularidade, a principal oportunidade está em estruturar rotas de reciclagem de sucata industrial, ímãs permanentes e recuperação de terras raras a partir de rejeitos, lama vermelha e outros resíduos minerais. Trata-se de frente complementar, porém estratégica, porque combina segurança de suprimento, inovação, eficiência material e potencial de redução de passivos ambientais. Embora ainda incipiente no país, ela já faz sentido como parte da arquitetura industrial da ENTR.

A literatura internacional apresenta vários casos de aproveitamento dos ETR a partir dos resíduos da mineração do níquel, da bauxita (Takeda e Okabe, 2022), até do cobre e do minério de ferro. Além disso, está mais do que comprovada a viabilidade econômica e socioambiental do aproveitamento de alguns dos ETR a partir da reciclagem de eletrônicos (Rezaei *et al*., 2025). Para o Brasil, isso representa uma importante janela de oportunidade, já que há ampla disponibilidade desse material no país e, dada a tendência de crescente demanda e oferta limitada, a reciclagem de ETR tornou-se uma estratégia crítica para garantir a sustentabilidade dos recursos a longo prazo.

🔍 **Análise: Rotas e marcos para reciclagem dos ETR**

A reciclagem normalmente envolve as etapas de pré-processamento e processamento final. A primeira implica em desmontagem, triagem e trituração, enquanto o processamento final envolve transformações químicas para extrair os metais-alvo. Uma variedade de técnicas metalúrgicas avançadas, incluindo pirometalurgia, hidrometalurgia e biolixiviação, tem sido implementada para recuperar ETR de fluxos de resíduos complexos. O desafio é definir a melhor tecnologia que gere melhor aproveitamento com menor impacto ambiental

Atanda *et al.* (2026) apresentam as vantagens e desvantagem das distintas rotas tecnológicas concluindo que a pirometalurgia é a mais eficiente, porém com alto custo econômico e ambiental, enquanto que a biometalurgia (bissorção) e solventes eutéticos profundos são mais custo/efetivos, inclusive do ponto de vista ecológico. No entanto, ressaltam que ainda há desafios tecnológicos.

Takeda e Okabe (2022) tratam do aproveitamento de escândio, um dos ETR leves que aprimora as características das ligas de alumínio usadas nas indústrias aeroespacial e automobilística, entre outras. A extração se dá a partir de resíduos da fundição de níquel, proveniente de depósitos de níquel lateríticos (obtidos por processo hidrometalúrgico e lixiviação) e do aproveitamento da bauxita.

Em geral, a discussão sobre economia circular se baseia na Análise de Fluxo de Materiais ou MFA (*material flow analysis*) juntamente com a Análise do Ciclo de Vida ou LCA (*life cycle assessment*) que moldaram o desenvolvimento do marco conceitual para PD&I e permitem identificar e quantificar os fluxos entre os diferentes estágios de produção e consumo. De acordo com Chen e Zeng (2022), tem havido um rápido aumento do interesse por esse reaproveitamento, o que é reforçado por Atanda *et al.* (2026) ao resgatar as distintas políticas internacionais que definem quantidades e metas. Todavia, a produção e o uso de materiais reciclados enfrentam alguns desafios, tais como: 1) controle do potencial de toxicidade; 2) questões associadas aos fluxos transfronteiriços (principalmente *e-waste* ilegal); 3) políticas e regulação no mercado internacional desbalanceadas, entre outros.

Quanto aos países de referência, destacam-se: a União Europeia com normativas explícitas quanto às metas de reciclagem; os Estados Unidos com financiamento dedicado para a área; e o Japão, que há anos já desenvolve programas nessa linha. Além da legislação europeia já mencionada, destacam-se:

1. Programa de Minerais e Materiais Críticos Departamento de Energia dos Estados Unidos, apoia estudos piloto e de demonstração para a recuperação, refino e cadeias de suprimento de ímãs de ETR a partir de resíduos de mineração. Financiou US$135 milhões para instalações de demonstração de extração e reciclagem de ETR.
2. Política de Utilização Eficiente de Recursos do Japão e Iniciativas de Manufatura Verde da China promovem a recuperação de ETR de fluxos de resíduos municipais e industriais para fortalecer a resiliência dos recursos
3. Acordo de Minerais Críticos entre os Estados Unidos e o Japão, de 2023, compromissos com abordagens circulares e cooperação na cadeia de suprimentos como as ETR.
4. Centros formais de reciclagem na Europa e no Japão utilizam desmontagem automatizada, sistemas de filtragem de emissões e protocolos adequados de descarte de resíduos perigosos para reduzir a liberação de poluentes. Instalações de reciclagem com certificação ISO

seguem padrões internacionais (por exemplo, ISO 14001) que garantem a segurança dos trabalhadores e minimizam as emissões ambientais

Há, em síntese, quatro elementos comuns nos casos exitosos: i) intensidade tecnológica, ii) dotação de recursos financeiros, iii) qualificação de recursos humanos e iv) regulação que proporcione segurança jurídica ao investidor. Nesse sentido, para avançar na circularidade e na reciclagem dos ETR, uma possibilidade interessante seria criar um programa com linha especial de financiamento a ser operada pela Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPII) com Centros de Pesquisa (PD&I) e empresas, voltado para a busca de soluções tecnológicas, tanto para o aproveitamento de rejeito da mineração (definir a rota de menor impacto e maior benefício), quanto para a expansão da reciclagem (aprimoramento da legislação da logística reversa, design, melhor rota tecnologia etc.). Esse programa deve ter metas explícitas, alocação de recursos financeiros, criação de oportunidades para dinamizar recursos humanos e tecnológicos que são os insumos fundamentais para uma estratégia nacional de ETR.

Para o Brasil, isso sugere que o downstream gradual não deve ser pensado apenas como manufatura a partir de insumo primário, mas como plataforma que integra produção primária, suprimento secundário, reaproveitamento de resíduos e aprendizado tecnológico em reciclagem. Em síntese, a ENTR deve buscar a passagem do midstream para o downstream em uma lógica de crescente sofisticação: primeiro metais, ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados; depois ímãs permanentes, componentes e materiais funcionais; e, ao longo dessa trajetória, integração crescente com setores âncora e circularidade. Essa abordagem permite que o país avance em direção aos segmentos de maior valor agregado sem assumir, desde o início, metas incompatíveis com sua base atual de capacidades.

Diretrizes

- avançar seletivamente em metais, ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados, como etapa intermediária de maior viabilidade industrial;
- conectar a estratégia a setores âncora como mobilidade elétrica, energia renovável, robótica e automação, saúde, defesa, semicondutores e eletrônica avançada;
- estruturar instrumentos em torno de desafios tecnológicos concretos, como óxidos separados de NdPr, ligas magnéticas, ímãs permanentes e reciclagem de magnetos;

- incorporar mecanismos de demanda âncora, incluindo compras públicas tecnológicas, encomendas institucionais e instrumentos de substituição competitiva de importações;
- estruturar rotas de reciclagem de sucata industrial, ímãs permanentes, rejeitos, lama vermelha e outros resíduos minerais como parte da arquitetura industrial da ENTR;
- promover integração entre economia circular, eficiência material e redução de passivos ambientais, fortalecendo segurança de suprimento e sustentabilidade;
- tratar a circularidade como componente estrutural do downstream gradual, e não como política isolada.

Eixo 6. Governança, sustentabilidade e desenvolvimento territorial

Objetivo: Assegurar que a expansão da cadeia brasileira de terras raras ocorra com coordenação institucional, legitimidade social, desenvolvimento territorial e sustentabilidade socioambiental compatíveis com uma estratégia nacional de longo prazo.

A experiência internacional e o diagnóstico nacional convergem ao mostrar que o avanço em terras raras não pode ser sustentado apenas por competitividade mineral, incentivos econômicos ou capacidade tecnológica. Em um setor associado a riscos socioambientais relevantes, sensibilidade regulatória e impactos territoriais concentrados, a governança e a sustentabilidade territorial são condições estruturais da estratégia.

As práticas de governança ambiental, social e corporativa (ESG), apresentadas na revisão dos *stakeholders*, se voltam para a mineração de forma ampla. No caso dos ETR, a principal especificidade é que estão associados, em maior ou menor grau, a minerais radioativos como o urânio ou tório (Kamenopoulos e Agioutantis, 2013; Dostal, 2025; Rezaei *et al.*, 2025).

Historicamente, os métodos tradicionais de extração de ETR têm sido ambientalmente prejudiciais, além de economicamente dispendiosos devido aos seus complexos procedimentos de múltiplas etapas e ao manuseio de materiais radioativos. Isso requer uma camada adicional de preocupações socioambientais em função dos riscos de contaminação e acidificação dos solos e dos corpos d'água (superficiais e subterrâneas), das emissões atmosféricas, dos impactos na saúde e segurança do público interno e externo ao empreendimento, da disposição de rejeitos, entre outros. Pela complexidade de todas as etapas que envolvem a extração e o processamento de ETR, se evidencia a necessidade de

forte conexão entre a produção e o sistema de CT&I com o suporte de uma vasta rede de pesquisadores trabalhando para criar soluções.

Por seu pioneirismo, é a China que já estabeleceu uma extensa curva de aprendizagem na tecnologia dos ETR, aliada à sua forte tradição em pesquisa e desenvolvimento — o país reúne os maiores avanços tecnológicos e inovações para o processamento com maior eficiência e menor impacto ambiental dos ETR na atualidade. No entanto, é também o país com mais casos relatados de contaminação ambiental e humana provocados pela extração e processamento dos ETR (Rezaei *et al.*, 2025). A França tem avançado muito no processo de neutralização dos elementos radioativos da extração, separação e purificação dos ETR em todas as etapas do ciclo produtivo, inclusive, na reciclagem. O Canadá também tem acúmulo de estudos sobre radioatividade e drenagem ácida.

Quanto ao aspecto social e respeito aos direitos humanos, o setor de mineração tem à sua disposição uma série de princípios, protocolos e padrões de boas práticas, dos quais os mais usados pelas empresas são: 1) Princípios Orientadores da ONU sobre Empresas e Direitos Humanos (2011); 2) Iniciativa para Garantia de Mineração Responsável *(Initiative for Responsible Mining Assurance, IRMA)* para Mineração Responsável, visando a uma mineração mais ética, sustentável e responsável, ressaltando o trabalho justo e condições justas de saúde e segurança ocupacional, saúde e segurança da comunidade; áreas afetadas por mineração e conflitos ou de alto risco; medidas de segurança; mineração artesanal e de pequena escala; patrimônio cultural; 3) Conselho Internacional de Mineração e Metais (ICMM) com as Diretrizes de *Due Diligence* em Direitos Humanos *(Human Rights Due Diligence Guidance);* e 4) Iniciativa Global de Relatórios *(Global Reporting Initiative, GRI)*, que está entre os mais adotados, como o caso da Norma Setorial para Mineração. Esses protocolos, via de regra, ainda são voluntários, mas, se efetivamente implementados, permitem o alcance de padrões elevados e uma colaboração global mais forte, o que abre uma janela de oportunidade genuína de incorporar o respeito aos direitos humanos em todos os níveis de tomada de decisão. Ressalte-se que não se trata apenas de evitar danos, mas sim de contribuir ativamente para comunidades resilientes, economias mais justas e um futuro mais seguro e sustentável para todos.

Além da adoção desses referenciais, a construção de processos participativos contínuos também se mostra elemento central para a legitimidade social dos empreendimentos minerais. A estratégia de processo participativo parte da premissa de que é indispensável, tanto para o presente quanto para o futuro da mineração no território, a criação de espaços permanentes de diálogo colaborativo, nos quais comunidades, órgãos reguladores governamentais e empresas possam trocar informações, construir confiança e ajustar suas decisões a partir das percepções e contribuições de seus interlocutores. Esses espaços favorecem um diálogo multissetorial capaz de ampliar consensos, reduzir conflitos e fortalecer a governança territorial dos projetos.

Quanto aos protocolos especificamente pensados para minerais críticos, entre os quais as ETR, destaca-se o Plano de Ação para Minerais Críticos, proposto pela Cúpula do G7, formado pelos líderes das sete economias mais industrializadas e democráticas do mundo (Canadá, França, Alemanha, Itália, Japão, Reino Unido e Estados Unidos, além da União Europeia, que também participa como membro convidado permanente), em 2025, no Canadá. O Plano promete fazer cumprir, por meio da observância de requisitos legais, as normativas internacionais de direitos humanos internacionalmente reconhecidas e os princípios e direitos fundamentais do trabalho, conforme estabelecido nas Convenções da ONU.

Quanto à estrutura de governança, no sentido da regulação pública, tem destaque o Fundo Soberano para Minerais Críticos do Canadá, originalmente formado por CAD$ 2 bilhões, que prevê, inclusive, a possibilidade de o país ter participação acionária em empreendimentos dos ETR. A Indonésia também tem legislação que exige que as empresas de mineração estrangeiras cedam pelo menos 51% de suas ações aos interesses indonésios. Esses exemplos demonstram meios para maior soberania e participação nacional sobre a exploração dos ETR.

De forma geral, a atividade minerária produz efeitos positivos e negativos nos territórios em que se instala. Entre os efeitos negativos, destacam-se os impactos socioambientais, a pressão sobre o custo de vida, os conflitos em torno da posse e do uso do solo e, em alguns contextos, o agravamento de problemas de segurança pública. Entre os efeitos positivos, sobressaem a dinamização econômica local, a ampliação da demanda por mão de obra, a geração de emprego e renda, o aumento das receitas públicas e, em consequência, a possibilidade de fortalecimento das políticas públicas e dos investimentos territoriais. No caso da mineração de ETR, essa equação tende a ser mais complexa. Por se tratar, em geral, de uma atividade de menor escala relativa, os benefícios econômicos diretos podem se mostrar mais limitados, ao mesmo tempo em que a potencial presença de elementos radioativos tende a intensificar a percepção de risco e a sensibilidade social em relação aos impactos negativos.

Nessa perspectiva, o desenvolvimento local não decorre automaticamente da implantação da atividade minerária, mas da existência de capacidades, instrumentos e arranjos institucionais capazes de potencializar seus efeitos positivos e mitigar seus efeitos adversos (Tabela 56). Trata-se, portanto, de uma agenda que deve ser orientada por uma visão de sustentabilidade territorial de longo prazo, compatível com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Tabela 56: Impactos negativos e positivos da mineração e recomendação de ações

Indicadores	Ações para potencializar efeitos positivos	Ações para contornar efeitos adversos
Impactos socioambientais	Política de comunicação sobre os tipos de impactos e as	As ações para evitar, mitigar e compensar os impactos devem ser

	políticas adotadas para evitá-los, mitigá-los ou compensá-los	debatidas com a população impactada. O governo deve determinar a política de garantias financeiras para o fechamento da mina
Elevação do custo de vida	Planejamento estratégico do município minerador para identificar fontes potencias de carestia e adotar medidas para contorná-las	Programas de inclusão e de renda para população vulnerável que será mais afetada pela inflação
Aumento da violência	Programas de prevenção à violência em território com mineração	Reforço à inteligência na segurança pública para prevenir a escalada da violência, inclusive, a violência no trânsito
Conflito pela posse e uso do território	Programas de comunicação não violenta e de compensações em observância aos tipos de conflitos e aos modos de evitar, mitigar ou compensar	Estabelecer as Zonas Livres de Mineração
Deslocamentos involuntários	Adoção do consentimento prévio, livre e informado (CPLI) (Res.169 OIT) Programa de reassentamento realizado com a participação dos afetados	Reassentamento em condições melhores que a moradia original, compensação financeira e apoio socioeconômico e psicossocial
Aumento do emprego e da renda	Ampliar a contratação de mão de obra local ou regional (estabelecer metas), juntamente com as políticas de qualificação da mão de obra local	Programas de inclusão social e de equidade de gênero
Aumento das receitas públicas – com destaque para CFEM	Planejamento estratégico para a boa aplicação dos recursos da CFEM. Uso em políticas que evitem a minero-dependência	Fortalecer a governança, por meio do controle social das rendas da mineração
Condicionantes socioambientais	Fortalecer políticas e estruturas já existentes, a fim de que a política adquira autonomia	Evitar fazer apenas o "*check list*", mas investimentos integrados a outras políticas
Políticas de integração empresa – comunidade – governo	Devem-se associar com as demais políticas públicas, como educação, saneamento, conectividade, mobilidade, diversificação produtiva etc	Promover diálogo com o governo e sociedade para definição das prioridades

Fonte: Elaboração própria com base em Enríquez e Ferraz (2023).

Impactos socioambientais: a questão do risco de contaminação radioativa e as medidas que serão adotadas para neutralizá-lo precisam ser esclarecidas em profundidade, a fim de não gerar controvérsias, desconfianças e reações contrárias à mineração nos territórios. Da mesma forma, a comunicação precisa ser esclarecedora para todos os outros impactos, a fim de que a empresa possa conquistar a Licença Social para Operar (LSO). É importante considerar também a questão das garantias financeiras para o fechamento de mina, a exemplo do que a maioria dos países já adota (EUA, Canadá, Argentina etc); a França criou

medidas de compensação e reparação por danos causados pela mineração, contemplando danos ambientais e à saúde pública.

Elevação do custo de vida: de acordo com prefeitos de municípios mineradores, o custo de vida nessas cidades é bem mais alto que a média regional, em função do descompasso entre oferta e demanda de fatores de produção. Isso requer políticas públicas para contrapor os efeitos da inflação sobre as pessoas de baixa renda, que são as mais vulneráveis.

Aumento da violência: a literatura internacional indica que a chegada de empreendimentos minerários, principalmente em regiões remotas, é acompanhada pelo aumento da violência, sobretudo para mulheres e meninas (Mancine & Sala, 2018; Widana, 2019; Borges et al., 2024; Mishra et al., 2024; Cambaco et al., 2025). Isso ocorre porque na região mineradora circulam muitos recursos financeiros e isso acaba atraindo um fluxo grande de pessoas em busca de novas oportunidades. Assim, é imprescindível um ambiente seguro, pois, sem ele, não há desenvolvimento.

Conflito pela posse e uso do território: o crescimento da demanda por novas áreas para minerar tem potencializado situações de conflito, considerando-se que a mineração disputa com outras formas prévias de uso e ocupação do território. Daí a importância de programas de comunicação não violenta e de compensações, em observância aos tipos de conflitos e aos modos de evitar, mitigar ou compensar. Uma das demandas dos movimentos sociais é que se estabeleçam, por meio de políticas públicas, as Zonas Livres de Mineração.

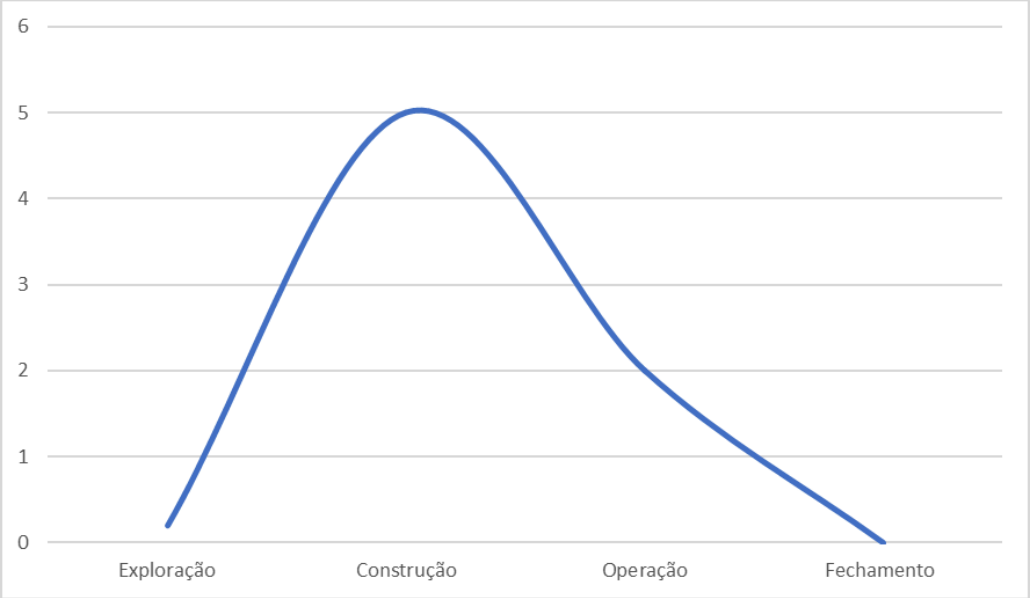
Deslocamentos involuntários: esse é um dos efeitos mais negativos, pois afeta todos os aspectos da vida da população que será remanejada. A adoção do consentimento prévio, livre e informado (CPLI), conforme a resolução 169 da OIT, da qual o Brasil é signatário, é uma reivindicação que deve ser considerada. Além da implantação de programa de reassentamento elaborado com a participação dos afetados, eles devem estar em condições melhores do que a moradia original, apresentar compensação financeira e apoio socioeconômico e psicossocial.

Aumento do emprego e da renda: é resultante do aumento dos investimentos, porém nem sempre essa oportunidade é aproveitada pela população local. Nesse sentido, é preciso definir metas para ampliar a contratação de mão de obra local ou regional, juntamente com as políticas de qualificação e programas de inclusão social e de equidade de gênero. Adicionalmente é preciso considerar a importância de políticas para agregação de valor, da mina ao imã, pois mesmo que todas as etapas não aconteçam localmente, o processo tem impacto positivo sobre o território minerado.

É importante destacar que as projeções de emprego necessitam estar atreladas ao ciclo de vida da mina que, via de regra, faz uma curva normal, com poucos empregos gerados durante a fase de exploração, um aumento expressivo na

etapa da construção, uma redução na fase de operação, até o declínio total na fase de fechamento da mina (Figura 18), e essa dinâmica deve ser amplamente comunicada ao município afetado. Estudos de caso apontam que, na fase da construção, há um grande fluxo de mão de obra de outras regiões; um exemplo disso são as pesquisas sobre a mineração de lítio no Chile, que atestam que o total da força de trabalho no município aumentou 150%, porém o aumento de emprego local foi de apenas 16% (Liu e Agusdinata, 2020). Na fase da operação, a depender do nível de diversificação econômica, os empregos tendem a se elevar nos setores de serviço e do comércio também. Um aspecto relevante que está associado à manutenção do emprego local é assegurar que projetos voltados para a diversificação econômica ocorram simultaneamente ao desenvolvimento da mina, pois assim se cria uma cultura contrária à minero-dependência.

Figura 18 : Emprego de mão de obra durante as fases do desenvolvimento da mineração



Fonte: baseado em Enríquez e Ferraz, 2023

Aumento das receitas públicas, com destaque para CFEM: a sociedade local considera a alíquota de 2% de CFEM desproporcional. Devido à pequena escala, o retorno financeiro para os cofres públicos tem estado muito aquém das expectativas geradas no território, e isso tem provocado reações negativas e reivindicações de revisão dessas alíquotas. Mas além da CFEM, que é uma espécie de *royalty*, há tributos que também beneficiam o município com mineração (Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza – ISSQN, repasse do ICMS, Licenças e Taxas). Por não ser um imposto, a CFEM não tem vinculação de uso, daí a importância de se realizar um planejamento estratégico para a boa aplicação dessa renda, que é volátil e imperante, com uso em políticas que evitem

dependência e que possam fortalecer a governança local, por meio do controle social dessa renda.

Condicionantes socioambientais: são imposições às etapas do licenciamento ambiental. Para atendê-los, as empresas fazem uma lista de verificação, "*checklist*", sem se atentar para a necessidade de fortalecer políticas e estruturas já existentes, a fim de que os investimentos dessas condicionantes estejam integrados a outras políticas e possam se sustentar no tempo, e não apenas enquanto a empresa aporta o recurso.

Políticas de integração empresa – comunidade – governo: a adoção de uma abordagem integrada, em vez de projetos corporativos isolados, potencializa os impactos positivos, pois o engajamento comunitário funciona melhor quando está atrelado ao desenvolvimento produtivo do território, como a criação de fornecedores locais, o treinamento da força de trabalho e a diversificação econômica alinhada aos planos municipais. Dessa forma, as ações de responsabilidade social corporativas (RSC) devem estar em sintonia com as demais políticas públicas do município, como educação, saneamento, conectividade, mobilidade, diversificação produtiva etc. É importante que as empresas promovam um permanente canal de diálogo com o governo e a sociedade para definição das prioridades.

Desenvolvimento de fornecedores locais, investimento social e preparação territorial para o pós-mineração: Para além dos fatores discutidos anteriormente, o fortalecimento do desenvolvimento local em regiões mineradoras também decorre da capacidade de: i) mobilizar fornecedores locais e regionais de bens e serviços; ii) apoiar iniciativas de capacitação; e iii) contribuir para a construção de alternativas econômicas mais duradouras no território, que permaneçam mesmo após o encerramento das atividades. Isso é particularmente relevante em cadeias como a de terras raras, nas quais o volume físico produzido tende a ser relativamente baixo, e os benefícios fiscais diretos podem não ser suficientes, por si sós, para sustentar uma trajetória robusta de desenvolvimento local.

No caso de Minaçu, as evidências coletadas em campo indicam que a Serra Verde vem atuando junto ao município para apoiar iniciativas voltadas ao desenvolvimento socioeconômico local, preocupando-se em ampliar alternativas de renda e autonomia para além da mineração. O relatório de sustentabilidade da Serra Verde[90] aponta políticas de Investimento Social Corporativo, que objetivam "construir e aprimorar a capacidade socioeconômica e o bem-estar das comunidades localizadas perto de suas operações." Além disso, a empresa afirma que, como parte de sua licença operacional, monitora seus impactos no desenvolvimento socioeconômico, oferece suporte e reforço de capacitação ao

[90] https://svpm.com.br/wp-content/uploads/2024/11/SVG-Sustainability-Review-Final-web-copy2.pdf

governo local e às comunidades rurais, bem como melhorias da infraestrutura local.

Outros exemplos na mineração demonstram ser iniciativas bem-sucedidas que podem inspirar boas práticas para o setor de terras raras. Segundo o Relatório de Sustentabilidade 2023 da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM),[91] 96% dos produtos e serviços necessários à operação foram adquiridos no Brasil; Minas Gerais respondeu por 43% do volume nacional de compras; e, de um orçamento de aquisições de R$ 2,8 bilhões no ano, 52% envolveram empresas de Minas Gerais, sendo 13% de fornecedores de Araxá. Esses resultados evidenciam o potencial do desenvolvimento econômico local por meio da integração de fornecedores à cadeia de valor da mineração, com efeitos sobre geração de emprego, circulação de renda e fortalecimento empresarial nos territórios. A companhia também informa investimentos sociais de R$ 39 milhões em 2023, com foco principal em crianças e adolescentes do município, além de ações de qualificação de mão de obra e empreendedorismo em parceria com instituições locais. Além disso, outras empresas mineradoras possuem uma atuação semelhante. A Anglo American informou que, em 2025, ela e suas contratadas movimentaram mais de R$ 100 milhões em compras junto a empresas matrizes locais na região do Sistema Minas-Rio, contribuindo para a circulação de renda e para o fortalecimento de pequenos negócios no entorno da operação. Apesar de se tratar de uma cadeia distinta da de terras raras, nota-se que a integração de fornecedores locais à cadeia produtiva pode funcionar como vetor relevante de desenvolvimento territorial quando articulada a programas de qualificação empresarial, acesso a oportunidades de compra e acompanhamento continuado.[92]

Para a cadeia de terras raras, esse movimento resulta em implicações estratégicas diretas. Ainda que etapas mais sofisticadas do processamento ou da manufatura não estejam localizadas no município minerador, a ENTR pode induzir benefícios territoriais mais robustos, se incorporar diretrizes explícitas de desenvolvimento de fornecedores locais e regionais, de investimento social estruturado e de preparação para o pós-mineração. Tais iniciativas incluem:

i. mapear categorias de bens e serviços com maior potencial de contratação local;

ii. criar programas de qualificação de fornecedores em parceria com SENAI, SEBRAE, institutos tecnológicos e governos subnacionais;

iii. estimular mecanismos de conteúdo local competitivo e monitoramento de compras locais e regionais;

iv. fortalecer capacidades municipais de planejamento econômico;

[91] https://cbmm.com/pt/sustentabilidade/relatorios-de-sustentabilidade
[92] https://ibram.org.br/noticia/anglo-american-movimenta-r-100-mi-compras/

v. apoiar estratégias territoriais que busquem reduzir a dependência futura da renda mineral.

vi. estimular mecanismos de compartilhamento tecnológico entre empresas âncora e fornecedores locais, incluindo projetos cooperativos de inovação, intercâmbio de equipes técnicas, desenvolvimento conjunto de soluções industriais e apoio à pesquisa aplicada em parceria com ICTs e empresas locais.

Em cadeias emergentes como a de ETR, nas quais o retorno fiscal direto pode ser relativamente modesto nos primeiros estágios, o fortalecimento da base fornecedora local e a construção de alternativas econômicas, para além da mineração, podem ser alguns dos caminhos mais concretos para ampliar o legado socioeconômico da atividade no território. Além da qualificação empresarial e da contratação local, mecanismos de cooperação tecnológica podem contribuir para ampliar capacidades produtivas e tecnológicas locais, favorecendo a inserção mais qualificada de fornecedores nacionais na cadeia de valor. Para monitorar a efetividade do desenvolvimento local, a Tabela 57 apresenta indicadores e objetivos:

Tabela 57: Iniciativas para o fortalecimento da economia local

Dimensão	Objetivo	Indicadores sugeridos	Fontes / referências
Infraestrutura local e serviços públicos	Avaliar pressões e legados sobre infraestrutura urbana e serviços	Demanda por habitação; pressão sobre saúde, educação, segurança e saneamento; investimentos compensatórios; qualidade e cobertura de serviços públicos	Prefeituras; secretarias estaduais e municipais; IBGE; empresas
Receita pública e CFEM	Medir o peso da atividade mineral sobre a arrecadação local	Participação da CFEM na receita municipal; evolução da arrecadação própria; dependência fiscal da mineração; composição da receita pública	ANM; Tesouro Nacional; prefeituras; Tribunais de Contas
Emprego e renda	Captar efeitos diretos e indiretos da atividade sobre trabalho e renda	Empregos diretos e terceirizados; participação no emprego formal local; massa salarial; evolução da renda média; rotatividade; qualificação da mão de obra	RAIS/CAGED; IBGE; empresas; secretarias de Trabalho
Desenvolvimento de fornecedores locais e encadeamentos produtivos	Medir a capacidade da atividade de gerar *spillovers* econômicos e tecnológicos no território	Percentual do valor contratado com fornecedores locais; percentual do valor contratado com fornecedores regionais; número de fornecedores locais habilitados e contratados; valor anual movimentado por compras locais e regionais; número de fornecedores apoiados por programas de qualificação; categorias de bens e serviços com maior potencial de contratação local; número de projetos cooperativos de inovação entre empresas âncora e fornecedores locais; parcerias tecnológicas com ICTs; iniciativas de transferência	Relatórios de sustentabilidade das empresas; secretarias de Desenvolvimento; Sebrae; Senai; associações empresariais; prefeituras; ICTs; universidades; agências de inovação

Dimensão	Objetivo	Indicadores sugeridos	Fontes / referências
		tecnológica; programas de desenvolvimento tecnológico de fornecedores; intercâmbio ou capacitação técnica especializada entre empresas e fornecedores locais	
Diversificação econômica e legado pós-mineração	Avaliar se a mineração fortalece capacidades duradouras no território	Participação de setores não minerários no PIB local; criação de novos negócios; apoio a empreendedorismo; programas de diversificação produtiva; planejamento pós-mineração	Prefeituras; governos estaduais; SEBRAE; IBGE; empresas
Capacitação e capital humano	Verificar se a atividade contribui para formação técnica e inserção produtiva local	Número de cursos ofertados; pessoas capacitadas; parcerias com SENAI, IFs e universidades; inserção de mão de obra local qualificada; programas de aprendizagem	SENAI; IFs; universidades; empresas; secretarias de Educação e Trabalho
Ordenamento territorial e uso do solo	Identificar efeitos da mineração sobre ocupação territorial e conflitos de uso	Expansão urbana desordenada; pressão sobre áreas ambientalmente sensíveis; compatibilização com planos diretores; conflitos fundiários e de uso do solo	Prefeituras; órgãos ambientais; cartórios; Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA); IBGE
Participação social e governança territorial	Medir a qualidade dos mecanismos de diálogo e transparência	Existência de fóruns locais; mecanismos de escuta e consulta; transparência sobre receitas e investimentos; participação comunitária em decisões; canais de reclamação e resolução de conflitos	Empresas; prefeituras; Ministério Público; conselhos locais; organizações da sociedade civil
Direitos humanos e grupos vulneráveis	Avaliar impactos distributivos e riscos sobre populações específicas	Impactos sobre comunidades tradicionais; deslocamentos; acesso à água; segurança alimentar; percepção de risco; salvaguardas e medidas de mitigação	Órgãos públicos; defensorias; MP; empresas; organizações locais
Sustentabilidade socioambiental local	Relacionar desenvolvimento local à qualidade ambiental e à legitimidade territorial	Monitoramento de água, solo e ar; gestão de rejeitos; percepção da população sobre impactos; existência de planos de emergência; mecanismos de reparação	Órgãos ambientais; empresas; universidades; prefeituras; sociedade civil

Fonte: Elaboração própria

A experiência relatada em Minaçu sugere que, para além da geração de emprego e da arrecadação de CFEM, empreendimentos de minerais estratégicos podem desempenhar um papel relevante no fortalecimento do desenvolvimento regional. Isso é essencial para gerar benefícios duradouros mesmo após o encerramento das atividades de mineração. No caso da Serra Verde, evidências obtidas nas visitas de campo indicam iniciativas de apoio ao município para o desenvolvimento socioeconômico local, ampliando alternativas de renda e autonomia no longo prazo, além de políticas de Investimento Social Corporativo

voltadas à capacidade socioeconômica das comunidades próximas, bem como apoio e capacitação ao governo local e às comunidades rurais.

Experiências de outros setores e cadeias reforçam a importância desse tipo de atuação. O caso da CBMM, em Araxá, já foi mencionado acima. Já a Vale informou que seu programa Partilhar mobilizou mais de 370 fornecedores, gerando mais de 31 mil empregos locais e R$960 milhões em gastos locais. Esses exemplos sugerem que o fortalecimento do território depende não apenas da operação mineral em si, mas da capacidade de articular compras locais, qualificação de fornecedores, investimento social e planejamento de longo prazo.

Entre os elementos centrais desse eixo está a necessidade de fortalecer a comunicação pública, a participação social e a gestão qualificada do conflito. Recomenda-se política de comunicação sobre os tipos de impactos e sobre as medidas adotadas para evitá-los, mitigá-los ou compensá-los, bem como debate dessas ações com a população afetada. Nesse contexto, o processo participativo deve ser compreendido, para as empresas, não apenas como instrumento associado à obtenção da Licença Social para Operar (LSO), mas como parte de uma gestão de impactos planejada, contínua e proativa. Para as comunidades, esses mecanismos devem funcionar como canais permanentes de comunicação e escuta, permitindo a expressão de questionamentos, preocupações críticas e sugestões relacionadas aos impactos efetivos ou potenciais da mineração sobre o território. Também se enfatiza a necessidade de consentimento prévio, livre e informado, reassentamento com participação dos afetados e condições melhores do que a moradia original, compensação financeira e apoio socioeconômico e psicossocial quando houver deslocamentos. Esses elementos mostram que a governança territorial não pode ser reduzida a licenciamento formal: ela envolve confiança, previsibilidade, informação e capacidade de negociação social.

Outro componente essencial é o fortalecimento da capacidade local de capturar valor e construir legados econômicos duradouros. Conforme exemplificado acima, o valor econômico gerado por compras locais de bens e serviços, qualificação de fornecedores e dinamização de cadeias locais pode ser tão ou mais relevante do que o impacto direto da folha de salários. Assim, ressalta-se a relevância do planejamento estratégico municipal, programas de inclusão e renda, reforço das políticas públicas locais, desenvolvimento de infraestrutura, comunicação com a população e mecanismos de fortalecimento da economia local. Nesse sentido, a ENTR deve vincular a expansão da cadeia a promoção de compras locais (quando possível), desenvolvimento de fornecedores, qualificação profissional e diversificação econômica dos territórios mineradores.

Em cadeias de alto risco e crescente escrutínio internacional, padrões socioambientais, gestão de riscos, garantias para fechamento de mina, transparência, rastreabilidade e governança participativa passam a ser parte da competitividade do setor. Isso é especialmente relevante para o Brasil, que busca

posicionar-se como fornecedor confiável em um ambiente internacional sensível a segurança de suprimento, critérios de sustentabilidade e *due diligence*.

Por fim, o eixo de governança e desenvolvimento territorial deve ser articulado à coordenação interinstitucional da ENTR. Sustentabilidade territorial não depende apenas de boas práticas empresariais, mas de articulação entre União, estados e municípios, órgãos ambientais, reguladores, instituições de ciência e tecnologia, empresas e sociedade civil. Sem essa coordenação, temas como licenciamento, gestão de rejeitos, radioatividade natural, planejamento urbano, infraestrutura, segurança pública e uso das rendas minerais tendem a ser tratados de forma fragmentada, enfraquecendo a efetividade da estratégia. O fortalecimento da governança pública emerge, portanto, como elemento-chave para transformar iniciativas pontuais em uma política nacional consistente e legitimada.

Diretrizes

- integrar governança, sustentabilidade e desenvolvimento territorial como condições estruturais da ENTR e não como agenda acessória;
- utilizar a Tabela 57 como referência prática para orientar respostas a impactos socioambientais, custo de vida, violência, conflitos territoriais, deslocamentos involuntários e fortalecimento das economias locais;
- fortalecer comunicação pública, participação social, diálogo territorial e mecanismos de consentimento prévio, livre e informado, quando aplicável;
- promover compras locais, desenvolvimento de fornecedores, qualificação profissional e diversificação econômica nos territórios mineradores como vetor estrutural para promover o desenvolvimento econômico local através da integração na cadeia de valor;
- estruturar políticas de garantias financeiras para fechamento de mina, mitigação de impactos e planejamento pós-mineração;
- incorporar padrões ESG, rastreabilidade, transparência e gestão de riscos como parte da competitividade e da legitimidade internacional da cadeia brasileira;
- fortalecer a coordenação entre União, estados, municípios, reguladores, órgãos ambientais, empresas e sociedade civil, de modo a evitar fragmentação e aumentar a efetividade territorial da estratégia.

4.3 Metas nacionais para a cadeia brasileira de terras raras

A ENTR deve traduzir a ambição estratégica do Brasil em metas quantitativas, temporais e verificáveis. Sem metas, a estratégia corre o risco de permanecer no plano declaratório, limitando-se à identificação de oportunidades, gargalos e intenções gerais. Com metas, passa a funcionar como instrumento de coordenação pública e privada: orienta prioridades regulatórias, reduz dispersão de esforços, sinaliza escala potencial para investidores, organiza instrumentos de financiamento, direciona a formação de competências nacionais e permite monitorar a execução da política ao longo do tempo.

No caso das terras raras, essa necessidade é particularmente relevante, porque a cadeia de valor é longa, tecnologicamente complexa e marcada por forte assimetria entre dotação geológica, produção mineral, separação química, metalurgia, manufatura de ímãs e aplicações finais. O Brasil possui base geológica expressiva, matriz elétrica relativamente barata e de baixa intensidade de carbono, experiência mineral acumulada e crescente atenção internacional. Conforme apresentado acima, o Brasil já concentra 23,1% dos recursos globais de ETR, totalizando 21 Mt em reservas, além de registrar avanço relevante em pesquisas geológicas, aumento de alvarás de pesquisa e investimentos anunciados no setor.

Essa posição, contudo, deve ser entendida como uma oportunidade estratégica em formação, não como vantagem consolidada. A cadeia nacional encontra-se em transição: o upstream apresenta sinais mais concretos de avanço; o midstream permanece como o principal gargalo industrial e tecnológico; e o downstream ainda se concentra em iniciativas-piloto, iniciativas demonstrativas ou de baixa escala.

As metas nacionais propostas nesta seção não constituem seleção, recomendação ou priorização de empresas ou projetos específicos. Elas definem parâmetros sistêmicos para orientar a política pública, cabendo a instrumentos futuros estabelecer critérios objetivos, transparentes e isonômicos de elegibilidade, baseados em maturidade técnica, competitividade econômica, desempenho socioambiental, rastreabilidade, aderência tecnológica e contribuição efetiva às metas nacionais da ENTR.

A lógica central é combinar pragmatismo e ambição. O Brasil não deve se limitar ao papel de exportador de produtos minerais pouco processados. Ao mesmo tempo, não deve assumir, no curto prazo, a meta maximalista de internalizar toda a cadeia de valor e se tornar uma plataforma de exportação em poucos anos. A trajetória recomendada deve ser gradual, seletiva e orientada por missão: consolidar escala mineral competitiva, converter parte relevante da produção em capacidade doméstica ou aliada de separação e refino, desenvolver competências

tecnológicas em ligas e magnetos e, progressivamente, criar capacidade industrial em segmentos downstream associados a setores estratégicos.

4.3.1 Racional estratégico das metas

As metas nacionais devem cumprir seis funções principais. Primeiro, definir uma fronteira de ambição para o país, permitindo que o Brasil deixe de ser tratado apenas como detentor de potencial geológico e passe a se posicionar como fornecedor relevante, confiável e tecnologicamente mais denso. Segundo, coordenar decisões públicas e privadas em torno de prioridades comuns. Terceiro, orientar instrumentos de financiamento, garantias, crédito, apoio à inovação e cooperação internacional. Quarto, organizar a formação de capital humano e infraestrutura tecnológica. Quinto, permitir monitoramento periódico e revisão de rota. Sexto, vincular crescimento produtivo à sustentabilidade, rastreabilidade, ao desenvolvimento territorial e à agregação de valor.

Essa abordagem está alinhada à natureza do mercado global de terras raras. A criticidade dos ETR decorre da concentração das capacidades de processamento, refino e manufatura, e da relevância estratégica da sua capacidade de transformar recursos geológicos em produção, processamento, manufatura, inovação e inserção competitiva em cadeias globais de maior valor agregado.

A principal transformação estratégica para o Brasil ocorrerá quando uma parcela crescente da produção mineral for convertida em capacidade de separação, refino, ligas, magnetos e aplicações industriais. A expansão do upstream é condição necessária, mas não suficiente. Sem midstream, o país poderá ampliar volume produzido, mas continuará dependente de terceiros para qualificar produtos, definir especificações, capturar margens e acessar mercados industriais mais sofisticados. Sem downstream seletivo, a cadeia brasileira permanecerá vulnerável à captura externa de valor.

4.3.2 Metas para o upstream: escala, competitividade e segurança de suprimento

A meta de longo prazo que se propõe para o upstream deve ser que o Brasil alcance 20% da produção global de ETR até 2040. Considerando a projeção de produção global de 378,5 quilo/toneladas por ano (ktpa) de TREO em 2040, segundo dados de 2025 da Argus Media, essa ambição implica uma produção brasileira de aproximadamente 75 ktpa de TREO. Dentro desse total, recomenda-se estabelecer uma submeta mínima de 15 ktpa de NdPr + DyTb, refletindo a centralidade dos elementos magnéticos para a cadeia de ímãs permanentes e para o valor econômico do setor.

Essa meta deve ser tratada como estratégica e condicionada, não como projeção automática. Sua realização dependerá da conversão de projetos em operação, da

qualidade do licenciamento, da disponibilidade de financiamento, da competitividade de custos, da estabilidade dos preços e da infraestrutura logística. A meta não significa simplesmente produzir mais ETR, mas produzir melhor: com menor risco socioambiental, maior rastreabilidade, melhor perfil de elementos magnéticos, maior competitividade econômica e maior aderência a rotas de processamento no Brasil ou em cadeias aliadas.

A trajetória indicativa deve distinguir a primeira onda de projetos em estágio mais avançado de desenvolvimento da ambição nacional de longo prazo. Projeções consolidadas com base nos dados fornecidos pelas empresas indicam que a primeira onda poderia levar a produção brasileira para patamar superior a 35 ktpa de TREO no início da década de 2030, com produção associada de aproximadamente 12,5 ktpa de NdPr + DyTb. Essa base é suficiente para demonstrar a plausibilidade da entrada do Brasil em escala relevante no mercado global, mas ainda não basta para alcançar a meta de 75 ktpa em 2040.

Dessa forma, a meta de longo prazo exigirá uma segunda onda de projetos, expansões e novos ativos competitivos, capazes de adicionar cerca de 40 ktpa de TREO à base produtiva projetada para a primeira metade da década de 2030. Essa segunda onda deve ser seletiva. A ENTR não deve estimular indiscriminadamente qualquer projeto de terras raras, mas priorizar, por meio de critérios objetivos, os ativos que apresentem maior competitividade econômica, melhor perfil ESG, maior conteúdo relativo de elementos magnéticos, menor complexidade regulatória, menor intensidade de carbono, maior capacidade de integração com o midstream e contribuição efetiva para a segurança de suprimento. A elaboração de uma matriz de avaliação e priorização de projetos pode contribuir para estabelecer classificações baseadas em critérios transparentes, revisáveis e aplicáveis não somente ao upstream, mas aos diferentes elos da cadeia. A partir dessa classificação, seria possível orientar o acesso a instrumentos públicos de apoio, como financiamento, incentivos fiscais, garantias, apoio diplomático, participação em hubs, encomendas tecnológicas e programas de P,D&I, transformando a condição de "projeto estratégico" em uma classificação objetiva e vinculada a contrapartidas. A governança desse processo pode envolver instâncias interministeriais e técnicas, com revisões periódicas capazes de incorporar mudanças tecnológicas, regulatórias e geopolíticas, preservando também a possibilidade de reavaliação futura de projetos inicialmente não priorizados.

Tabela 58. Metas de produção para o Upstream

Horizonte	Produção indicativa de TREO e mão de obra	Interpretação estratégica
2027–2029	35 ktpa; pelo menos 3.500 empregos	Entrada ou consolidação da primeira onda de projetos em estágio mais avançado

2030–2033	40 ktpa; pelo menos 3.900 empregos	Entrada em operação de novos projetos, hoje ainda em fase de exploração mineral

Fonte: Elaboração própria

A meta de upstream deve produzir três efeitos estratégicos. Primeiro, posicionar o Brasil como uma das principais plataformas de diversificação de oferta fora da Ásia. Segundo, garantir escala suficiente para viabilizar capacidade doméstica ou aliada de separação e refino. Terceiro, permitir que o país atue simultaneamente como exportador confiável, produtor-consumidor de insumos estratégicos e plataforma de desenvolvimento tecnológico e industrial.

4.3.3 Metas para o midstream: separação, refino e agregação de valor

A meta nacional para o midstream deve ser a instalação de 40 kt TREO/ano de capacidade de separação de óxidos até 2040, incluindo pelo menos 10 ktpa de NdPr + DyTb. Essa meta é menor que a meta de produção mineral, porque é razoável esperar que haja limitações técnicas e arranjos comerciais específicos em que parte da produção é direcionada a outro país. A distinção é importante: produção mineral mede a capacidade de extrair, beneficiar e produzir material comercializável; capacidade de separação mede a capacidade industrial de converter correntes mistas em óxidos individuais de maior valor agregado.

A trajetória proposta para o midstream deve ter duas fases. No curto (2027-2029) e médio prazo (2030-2033), recomenda-se buscar 25 ktpa de capacidade de separação, associada à primeira onda de produção mineral e a projetos com maior maturidade técnica, econômica e regulatória. No médio e longo prazo, recomenda-se adicionar 10 a 15 ktpa de capacidade adicional, condicionada à seleção de uma segunda onda de projetos e à existência de *feedstock*, *offtakes*, financiamento e parcerias tecnológicas consistentes.

A meta de 40 ktpa não deve ser interpretada como exigência de uma única planta, nem como obrigação de processar domesticamente todo o material produzido. O Brasil pode estruturar essa capacidade por meio de arranjos modulares, plantas integradas a ativos específicos, instalações centrais de processamento, parcerias com centros tecnológicos e acordos com países aliados. A decisão deve ser econômica, regulatória e estratégica. O objetivo é garantir que o país detenha capacidade suficiente para qualificar produtos, negociar *offtakes* em melhores termos, reduzir vulnerabilidade externa, formar competências tecnológicas e capturar parcela maior do valor da cadeia.

A experiência internacional indica que a viabilização do midstream requer instrumentos de diminuição de risco na cadeia (*de-risking*). No caso brasileiro, a estratégia mais realista é integrar projetos e capacidades brasileiras a arranjos internacionais de demanda, *offtake*, financiamento, garantias e segurança de

suprimento, nos quais mercados consumidores e parceiros estratégicos possam estruturar contratos de longo prazo, mecanismos de compra, garantias comerciais ou apoio financeiro associado à diversificação de cadeias. Como contratos de fornecimento estratégico e offtake costumam exigir longos ciclos de negociação e diligência, a interlocução com potenciais compradores internacionais deve ser iniciada ainda nas etapas iniciais de desenvolvimento dos projetos. Nesse processo, instituições como MRE, MME, ApexBrasil e estruturas de coordenação da ENTR podem contribuir para a promoção internacional dos projetos brasileiros, padronização de informações técnicas e articulação com bancos multilaterais e mecanismos de mitigação de risco associados às cadeias de minerais críticos.

Tabela 59. Metas de produção para o midstream

Horizonte	Capacidade total de separação	NdPr + DyTb	Condição crítica
2027–2029	Meta qualitativa: Plantas-piloto e de demonstração	Meta qualitativa: rotas e produtos qualificados	Meta qualitativa: escalonamento tecnológico e licenciamento
2030–2033	Meta quantitativa: 25 ktpa TREO/ano	Meta quantitativa: 6–7 ktpa	Meta qualitativa: FID de uma ou mais capacidades comerciais
2034–2040	Meta quantitativa: 40 ktpa TREO/ano	Meta quantitativa: 10 ktpa	Meta qualitativa: *feedstock*, *offtake*, financiamento e operação estável

Fonte: Elaboração própria

4.3.4 Metas para o downstream: ímãs permanentes e setores-âncora

A meta nacional para o downstream deve ser a produção de 5 ktpa de ímãs permanentes até 2040, com trajetória de 2 ktpa no médio prazo e 3 ktpa adicionais no longo prazo. Essa meta deve ser apresentada como seletiva, progressiva e orientada a aprendizado industrial. O objetivo deve ser construir capacidades em segmentos nos quais haja conexão plausível entre disponibilidade de insumos, competência tecnológica, demanda doméstica ou regional, setores-âncora e parcerias internacionais. Considera-se um cenário em parte da produção (~60%) deverá atender à demanda doméstica estimada abaixo para setores selecionados, bem como à demanda de outros setores (como o de tecnologia), considerando o crescimento projetado nesses segmentos, além de suprir a demanda internacional, em particular levando em conta a oportunidade estratégica de atender mercados regionais com pouca produção local, especialmente na América Latina.

A produção de ímãs permanentes é relevante porque os ímãs NdFeB concentram parte importante do valor estratégico das terras raras. Neodímio, praseodímio, disprósio e térbio são essenciais para aplicações de alta eficiência em veículos elétricos, turbinas eólicas, automação, defesa, saúde, sensores e equipamentos industriais. Ao mesmo tempo, a construção de capacidade downstream fora da Ásia é mais lenta e exigente do que a expansão do upstream, pois depende de domínio técnico, controle de qualidade, estabilidade de suprimento de óxidos ou ligas, acesso a tecnologia, qualificação junto a compradores e integração com cadeias industriais específicas.

Estimativas preliminares[93] elaboradas no âmbito deste trabalho indicam que a demanda doméstica inicial mapeada para ETR magnéticos em setores selecionados é da ordem de 1,1 kt/ano de NdPr + DyTb. Esse número é relevante por duas razões. Primeiro, demonstra que existe uma base potencial de demanda local associada a produtos finais, como turbinas eólicas, veículos elétricos e híbridos, eletrônicos e equipamentos industriais. Segundo, evidencia que a meta de 5 ktpa de ímãs permanentes não deve ser justificada apenas por substituição de importações. Ela deve ser entendida como estratégia de aprendizado industrial, atendimento seletivo a setores-âncora e inserção exportadora em cadeias aliadas.

Por isso, a meta de downstream deve começar por etapas intermediárias: ligas, pós magnéticos, magnetos semiacabados, protótipos, linhas-piloto e componentes para aplicações específicas. O avanço para ímãs permanentes acabados deve ocorrer progressivamente, conforme o país desenvolva competências, atraia parceiros tecnológicos e estabeleça demanda-âncora.

Os setores prioritários devem incluir energia eólica, mobilidade elétrica, automação industrial, defesa, saúde, eletrônica avançada, semicondutores, sensores e equipamentos industriais de alta eficiência. A demanda doméstica brasileira, isoladamente, provavelmente não será suficiente para absorver toda a escala necessária de uma indústria competitiva de ímãs. Portanto, o downstream deve ser concebido como plataforma de integração internacional e regional, não apenas como política de substituição de importações.

[93] As estimativas levaram em consideração um exercício cauteloso para contabilização dos itens setoriais considerados mais relevantes atualmente na indústria, isto é, focados na produção de motores de energia eólica (considerando um mix mediano de motores off-shore e on-shore), carros elétricos e híbridos (produção e substituição gradual da frota atual) e produtos relacionados a consumo varejista, preponderantemente celulares, computadores, tablets, motores de ar-condicionado, televisores e telas em geral. Ou seja, há uma gama de diversos outros itens que não foram contabilizados neste cálculo preliminar, bem como itens destinados à exportação que podem aumentar consideravelmente a produção.

Tabela 60. Metas de produção para o Downstream

Horizonte	Meta de produção de ímãs permanentes	Etapa industrial predominante
2027–2029	Meta qualitativa: linhas-piloto, protótipos e qualificação	Meta qualitativa: ligas, pós magnéticos e magnetos semiacabados
2030–2033	Meta quantitativa: 2 ktpa	Meta qualitativa: magnetos semiacabados e ímãs para nichos industriais
2034–2040	Meta quantitativa: 5 ktpa	Meta qualitativa: ímãs permanentes e componentes em setores-âncora

Fonte: Elaboração própria

4.3.5 Metas transversais: tecnologia, capital humano, sustentabilidade, financiamento e governança

As metas por elo da cadeia só serão viáveis se acompanhadas de metas transversais. Essas metas devem criar as condições sistêmicas para que o Brasil converta potencial geológico em capacidade produtiva, tecnológica e industrial.

A primeira meta transversal deve ser a internalização das capacidades críticas de ensaio, teste e definição de rotas de processo. Até 2030, o Brasil deve ser capaz de realizar, em território nacional, todos os testes de bancada e piloto necessários à definição de rotas de processamento de ETR, incluindo caracterização mineralógica, lixiviação, dessorção, precipitação, purificação, separação, controle de impurezas, balanço de massa, gestão de efluentes e rejeitos, testes de reagentes e avaliação de produtos intermediários. Até 2033, essa capacidade deve incluir rotas envolvendo minerais com presença de NORM (como tório e urânio), sob protocolos regulatórios definidos e em infraestrutura laboratorial autorizada. Essa meta é central para reduzir a dependência externa em uma etapa crítica de desenvolvimento de projetos, para reduzir o tempo de espera para resultados – o que leva a maiores prazos de desenvolvimento de projetos e para acelerar a curva de aprendizado tecnológico nacional.

Considerando o exercício realizado na seção 3.6.2.1, que tratou de estimar a necessidade de mão de obra operacional para cadeia de terras raras das empresas que estão na iminência de produção atual, foi possível observar que até o ano de de 2040, cerca de 10.000 posições são necessárias para suprimento da oferta. Este número, contudo, pode ser visto como um valor conservador, uma vez que mercados de trabalho equilibrados tendem a ter uma oferta de posições igual ou superior às necessidades da demanda industrial. Ademais, ao se considerar a possibilidade de exploração de outras novas empresas que ainda estão em etapas

de estudos incipientes, este número de posições para indústria deve ser ainda maior.

Neste sentido, a segunda meta transversal deve ser a formação de capital humano especializado. Recomenda-se estabelecer como meta inicial a criação de, pelo menos, 10 mil novas vagas acumuladas até 2040 em cursos técnicos, tecnológicos, superiores e de formação continuada vinculados à cadeia de terras raras. Essa meta deve incluir engenharia química, engenharia metalúrgica, engenharia de minas, engenharia de materiais, geologia, técnicos em química, técnicos em mineração, operadores de plantas hidrometalúrgicas, especialistas em radioproteção, controle ambiental, automação industrial, instrumentação, manutenção, qualidade analítica e gestão de processos industriais. O número deve ser calibrado com Ministério da Educação (MEC), Senai, Institutos Federais, universidades, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), MCTI, MDIC, MME e setor privado, mas sua inclusão é essencial para evitar que a falta de mão de obra se torne um gargalo tão relevante quanto financiamento ou tecnologia.

A terceira meta transversal deve ser sustentabilidade, rastreabilidade e aceitação social. Até 2030, todos os projetos enquadráveis como relevantes para a ENTR deveriam, ao menos, possuir diagnóstico socioambiental e de governança, incluindo mecanismos básicos de rastreabilidade de origem, indicadores de intensidade de emissões, plano de gestão de água, plano de relacionamento territorial e gestão de rejeitos. Para projetos de maior porte ou em estágio mais avançado de operação, recomenda-se que, até esse horizonte, esses instrumentos já estejam estruturados em padrões ESG auditáveis e compatíveis com mercados internacionais. Até 2040, a meta deve ser que 100% da produção brasileira relevante para as cadeias estratégicas de ETR estejam cobertos por mecanismos de rastreabilidade e reporte socioambiental compatíveis com mercados internacionais, com incorporação progressiva de projetos de menor porte e em estágios menos avançados de maturidade operacional.

A quarta meta transversal deve ser previsibilidade regulatória, especialmente em relação a NORM (tório e urânio associados principalmente), licenciamento ambiental e processamento químico. O Brasil deve estabelecer, com urgência e prioridade, uma trilha regulatória simples, previsível, padronizada, coordenada e tecnicamente consistente para projetos de ETR, contemplando mineração, lixiviação, precipitação, separação química, radioatividade natural, gestão de resíduos e destinação de coprodutos. Esse fluxo regulatório deve promover maior clareza procedimental, coordenação institucional e segurança jurídica, contribuindo para reduzir incertezas regulatórias, conferir maior previsibilidade aos processos de análise e licenciamento e favorecer maior eficiência e celeridade compatíveis com a complexidade técnica e socioambiental dos projetos. Até 2029,

o país deveria dispor de diretrizes claras para NORM aplicáveis à cadeia de terras raras, com coordenação entre MME, ANM, CNEN/ANSN, IBAMA, órgãos ambientais estaduais, MCTI, MDIC e BNDES.

A quinta meta transversal deve ser financiamento e bancabilidade. No máximo até 2028, o Brasil deveria estruturar uma arquitetura de financiamento para projetos e capacidades da cadeia de ETR, com acesso coordenado a BNDES, Finep, Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT), fundos climáticos, BID, Banco Mundial, agências de crédito à exportação, bancos de desenvolvimento e capital privado. Essa arquitetura deve priorizar crédito de longo prazo, garantias, apoio à inovação, debêntures incentivadas, subvenção para plantas-piloto e demonstradores, incentivo a estruturação de *offtakes* e integração a mecanismos internacionais de demanda.

Quadro 1. Síntese das metas nacionais por elo da cadeia

Elo ou dimensão	Situação atual	Meta 2027–2029	Meta 2030–2033	Meta 2034–2040	Indicadores
Upstream	Produção retomada e primeira onda de projetos em desenvolvimento	~35 ktpa TREO	~40–45 ktpa TREO	75,7 ktpa TREO	ktpa TREO; número de operações; produção exportável
Elementos magnéticos	Produção ainda concentrada em produtos mistos	~12,5 ktpa NdPr + DyTb	~14–15 ktpa NdPr + DyTb	≥15 ktpa NdPr + DyTb	ktpa NdPr + DyTb; teor MREO/TREO; *basket value*
Midstream	Sem separação comercial consolidada em escala	Pilotos, demonstração e qualificação	25 ktpa separação	40 ktpa separação	ktpa de capacidade instalada; taxa de utilização; produtos qualificados
Óxidos magnéticos separados	Capacidade inexistente ou incipiente	Qualificação de rotas e produtos	6–7 ktpa NdPr + DyTb	10 ktpa NdPr + DyTb	ktpa de óxidos separados; contratos de *offtake*
Downstream	Linhas-piloto e iniciativas tecnológicas	Mapeamento aprofundado da demanda nacional; protótipos, ligas, pós e magnetos semiacabados	2 ktpa ímãs	5 ktpa ímãs	ktpa ímãs; setores atendidos; compradores qualificados

Testes tecnológicos	Capacidade dispersa e incompleta	Nacionalizar testes críticos de bancada e piloto	Incluir rotas com NORM/tório/urânio associado	Operar infraestrutura tecnológica contínua	Número de rotas testáveis no Brasil; laboratórios autorizados
Capital humano	Oferta limitada de mão de obra especializada	Plano nacional de formação	5 mil vagas acumuladas	10 mil vagas acumuladas	Vagas criadas; profissionais certificados; cursos ativos
Sustentabilidade	Padrões em consolidação	Rastreabilidade em projetos relevantes	Certificação e reporte padronizados	100% da produção estratégica rastreável	% produção rastreada; intensidade de carbono; indicadores hídricos
Sustentabilidade	Monitoramento socioeconômico disperso	Elaboração de quadro de indicadores socioeconômicos a serem monitorados	Monitoramento dos indicadores socioeconômico; criação de micro indicadores específicos dos territórios	Monitoramento dos indicadores socioeconômicos e micro indicadores territoriais	Cesta de indicadores e micro indicadores socioeconômicos sob monitoramento; medição do impacto social
Circularidade	[Incipiente] Logística reversa de REEE em desenvolvimento e reciclagem de ímãs/ETR ainda restrita a projetos-piloto, sem capacidade industrial relevante	Mapear fontes secundárias; expandir a logística reversa; incentivar e ampliar projetos-piloto de reciclagem de ETR	Expandir projetos-piloto e pré-comerciais de recuperação secundária de ETR	Escalar operações comerciais de recuperação secundária de ETR, limitar exportação de resíduos	Volume de REEE coletado (t/ano); taxa de recuperação (%); capacidade instalada (t/ano); ETR recuperados (t/ano); % de conteúdo reciclado na oferta

Fonte: Elaboração própria

4.3.6 Indicadores de monitoramento e revisão periódica das metas

As metas propostas devem ser monitoradas pelo MME, em um Grupo de Trabalho específico para tanto, que deverá contar com a contribuição de outros órgãos públicos e instituições de pesquisa, para monitoramento e acompanhamento das metas. A revisão deve ocorrer a cada dois anos, com avaliação intermediária em 2030 e revisão estratégica em 2033. Essa revisão deve considerar evolução de preços, entrada efetiva de projetos, demanda global, demanda doméstica, restrições de exportação, avanços tecnológicos, desempenho ambiental, disponibilidade de financiamento, cronogramas regulatórios e execução das políticas públicas.

Quadro 2. Indicadores de acompanhamento da ENTR

Dimensão	Indicador	Unidade	Frequência	Responsável sugerido
Produção mineral	TREO produzido	ktpa	Anual	MME/ANM
Elementos magnéticos	NdPr + DyTb produzido	ktpa	Anual	MME/ANM
1ª fase de expansão produtiva primária	Produção efetiva dos projetos em estágio mais avançado	ktpa	Anual	MME/ANM
2ª fase de expansão produtiva primária	Projetos adicionais com maturidade técnica e regulatória	número/ ktpa	Anual	MME/ANM
Separação de óxidos	Capacidade instalada de separação	ktpa TREO	Anual	MME/MDIC
Agregação de valor	Produção nacional processada domesticamente	%	Anual	MME/MDIC
Óxidos magnéticos	Produção de NdPr + DyTb separados	ktpa	Anual	MME/MDIC
Downstream	Produção de ligas, magnetos e ímãs permanentes	ktpa	Anual	MDIC/MCTI
Demanda doméstica	Consumo estimado de NdPr + DyTb por setores-âncora	tpa	Anual	MDIC/EPE/MME
Capital humano	Vagas criadas em cursos técnicos, tecnológicos e superiores	número	Anual	MEC/SENAI/MCTI
Testes tecnológicos	Rotas de processamento integralmente testáveis no Brasil	número	Anual	MCTI/MME
Radioproteção	Laboratórios e plantas-piloto autorizados para testes com NORM	número	Anual	ANSN/MCTI
Financiamento	Investimento mobilizado	R$/US$	Semestral	BNDES/Finep/ MME
Comercialização	Produção com *offtake* ou contrato de longo prazo	ktpa/%	Semestral	MME/Empresas

Integração internacional	Projetos conectados a cadeias de suprimento aliadas	número	Anual	MME/MRE/MDIC
ESG	Produção com rastreabilidade e certificação	%	Anual	MME/MMA
Energia	Energia renovável no consumo operacional	%	Anual	Empresas/EPE
Carbono	Intensidade de emissões e compensações realizadas	tCO_2e/t produto	Anual	Empresas/MME
Território	Empregos qualificados gerados	número	Anual	Empresas/MTE
Fornecedores	Participação de fornecedores locais	% compras	Anual	Empresas/ governos estaduais
Circularidade	ETR recuperado de fontes secundárias	tpa	Anual	MCTI/MDIC
Governança	Tempo médio de licenciamento de projetos relevantes	meses	Anual	MME/órgãos licenciadores

Fonte: Elaboração própria

A adoção desses indicadores permitirá que a ENTR seja monitorada de forma objetiva e adaptativa. As metas devem ser vistas como instrumento de coordenação e orientação, não como promessa incondicional de produção. Se os preços internacionais caírem abaixo dos custos sustentáveis, se projetos não alcançarem decisão final de investimento, se a tecnologia de separação não for escalada, se a demanda por ímãs evoluir de forma diferente da esperada ou se instrumentos internacionais de financiamento não se materializarem, as metas deverão ser recalibradas.

O ponto fundamental é que o Brasil possui uma janela estratégica real, mas temporalmente limitada. A demanda por cadeias alternativas às chinesas está crescendo, governos e compradores internacionais vêm utilizando instrumentos públicos e privados para reduzir risco de projetos críticos, e empresas consumidoras buscam fontes rastreáveis, sustentáveis e geopoliticamente confiáveis. A ENTR deve aproveitar essa janela para posicionar o país em três frentes complementares: como produtor mineral relevante, como plataforma emergente de separação e refino e como participante seletivo em ligas, magnetos e aplicações industriais. A meta de 20% da produção global em 2040 só terá pleno valor estratégico se estiver vinculada à capacidade de transformar parte dessa

produção em óxidos separados, materiais magnéticos, competências tecnológicas, capital humano qualificado e capacidades industriais permanentes. Esse é o salto que diferencia uma estratégia mineral de uma estratégia nacional de desenvolvimento.

4.3.7 Integração e harmonização com os instrumentos de planejamento existentes

Para que a ENTR se institucionalize e se converta em política de Estado, suas metas devem ser progressivamente incorporadas aos instrumentos formais de planejamento, orçamento, coordenação setorial e monitoramento do Estado brasileiro. A ENTR deve dialogar com o Plano Plurianual (PPA), a Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO) e a Lei Orçamentária Anual (LOA), de modo que suas prioridades sejam traduzidas em programas, metas, indicadores, ações orçamentárias e entregas verificáveis. No ciclo 2028–2031 do PPA, recomenda-se que as metas de produção, separação, capacitação tecnológica, formação de recursos humanos, rastreabilidade e desenvolvimento territorial associadas às terras raras sejam incorporadas em agenda transversal de minerais críticos, cadeias industriais estratégicas e segurança de suprimento.

No plano setorial, a ENTR deve ser articulada ao Plano Nacional de Mineração 2050 e acompanhada pelo Conselho Nacional de Política Mineral, sob liderança do MME. Essa articulação permitirá que as metas nacionais de produção primária de terras raras sejam monitoradas em horizonte de longo prazo, alinhadas à política mineral brasileira e revisadas periodicamente. A mesma lógica pode orientar futuros mecanismos de coordenação e priorização de projetos estratégicos relacionados a Minerais Críticos e Estratégicos (MCE), inclusive considerando os instrumentos previstos no PL 2780.

A estratégia também pode contribuir para objetivos associados ao Plano Clima e aos compromissos climáticos brasileiros no âmbito da NDC, considerando o papel das terras raras como insumos estratégicos para tecnologias da transição energética, como turbinas eólicas, veículos elétricos, motores de alta eficiência e sistemas de armazenamento e eletrificação. O potencial brasileiro ganha relevância adicional diante da predominância de fontes renováveis na matriz elétrica nacional, especialmente em comparação a matrizes mais intensivas em carbono (como na China), o que pode representar vantagens competitivas para atividades de processamento, separação e fabricação de ímãs permanentes com menor intensidade de emissões. Somam-se a isso potenciais emissões evitadas associadas ao *nearshoring* e à redução de longas rotas logísticas internacionais. Nesse contexto, estimativas quantitativas sobre emissões evitadas e potenciais contribuições climáticas da cadeia brasileira de terras raras podem constituir objeto relevante para estudos futuros.

A institucionalização da ENTR também deve ocorrer em instrumentos de política industrial, ciência e tecnologia e defesa. Na Nova Indústria Brasil, as terras raras devem ser tratadas como insumos críticos para a transição energética, a transformação digital, para materiais avançados e a inserção internacional qualificada da indústria brasileira. Na política nacional de ciência, tecnologia e inovação, devem ser priorizadas capacidades laboratoriais e piloto para definição de rotas de processamento, inclusive rotas envolvendo NORM associado (especialmente tório e urânio). Nos instrumentos de planejamento de defesa – Política Nacional de Defesa (PND), Estratégia Nacional de Defesa (END) e Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN) –, as terras raras devem ser reconhecidas como insumos estratégicos para autonomia tecnológica, resiliência industrial e segurança de suprimento da Base Industrial de Defesa.

Considerando a importância das terras raras para a transição energética, especialmente em tecnologias como turbinas eólicas, veículos elétricos, motores de alta eficiência e sistemas avançados de eletrificação, a ENTR também deve estar articulada ao Plano Clima e às metas brasileiras estabelecidas na Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil (NDC).

Essa arquitetura institucional evitará que a ENTR permaneça como documento setorial isolado. Ao contrário, permitirá que suas metas sejam absorvidas por instrumentos de planejamento de médio e longo prazo, conectando política mineral, política industrial, ciência e tecnologia, defesa, orçamento público e desenvolvimento regional. O MME deve atuar como órgão líder da ENTR, com coordenação interministerial e monitoramento periódico pelo CNPM e, conforme o caso, pelo CIMCE considerando a tramitação da Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos.

Tabela 61. Instrumentos de coordenação a serem estabelecidos pelo CNPM

Instrumento	Função	Metodologia
Estruturar mecanismo executivo interministerial de coordenação da ENTR, articulado à futura governança nacional de minerais críticos e estratégicos.	Monitorar as metas, articular medidas, coordenar ações e garantir o avanço da ENTR de forma integrada às políticas nacionais de minerais críticos e estratégicos	Instância executiva interministerial e interdisciplinar, liderada pelo MME e integrada à estrutura nacional de governança prevista para minerais críticos e estratégicos
Estruturar mecanismo técnico de acompanhamento estratégico de minerais críticos e estratégicos no âmbito da governança nacional prevista para o setor, com articulação junto ao GSI/CREDEN	Apoiar o acompanhamento estratégico da política de minerais críticos e estratégicos sob as perspectivas de segurança nacional, resiliência industrial e interesse geopolítico	Instância técnica de apoio e assessoramento articulada à futura estrutura nacional de governança de minerais críticos e estratégicos

Plano Plurianual (PPA)	Planejamento de médio prazo e metas governamentais	Inserir as metas da ENTR em programas finalísticos, agendas transversais e indicadores no ciclo 2028–2031
Lei de Diretrizes Orçamentárias (LDO)/Lei Orçamentária Anual (LOA)	Priorização e orçamento anual	Criar ações orçamentárias para P&D, testes tecnológicos, capacitação e governança
PNM 2050	Planejamento mineral de longo prazo	Incorporar a ENTR como agenda temática de minerais críticos e terras raras
CNPM	Coordenação estratégica de política mineral	Aprovar resolução de acompanhamento das metas da ENTR
CTAPME / Pró-Minerais	Articulação governamental para minerais estratégicos	Atualizar critérios isonômicos de enquadramento de projetos relevantes
Nova Indústria Brasil	Política industrial até 2033	Conectar ETR à transição energética, digitalização, a materiais avançados e defesa
Estratégia Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (ENCTI)	Política nacional de ciência, tecnologia e inovação	Priorizar infraestrutura laboratorial, plantas piloto, rotas de processo e formação técnica
PND / END / LBDN	Planejamento de defesa e autonomia estratégica	Reconhecer ETR como insumo crítico para segurança de suprimento e Base Industrial de Defesa

Fonte: Elaboração própria

4.4 Condições habilitadoras

As oportunidades estratégicas identificadas no diagnóstico e os t ENTR não se materializam automaticamente a partir da existência de reservas ou do avanço da mineração. Sua viabilização depende de um conjunto de condições habilitadoras que atravessam toda a cadeia e que, no caso brasileiro, são tão importantes quanto os ativos geológicos, industriais e institucionais já existentes. Em outras palavras, a transformação da base mineral em capacidade produtiva, tecnológica e territorial dependerá menos da simples disponibilidade de recurso e mais da capacidade de criar um ambiente regulatório, financeiro, industrial e socioambiental compatível com os elos de maior valor agregado da cadeia. O desafio é construir as condições para que essas prioridades avancem com previsibilidade, bancabilidade e legitimidade.

4.4.1 Condições regulatórias e institucionais

A primeira condição habilitadora é a construção de um ambiente regulatório e institucional mais previsível, coordenado e aderente à lógica específica da cadeia de terras raras. O diagnóstico do relatório mostra que uma parte importante dos entraves percebidos pelos atores não decorre apenas do risco tecnológico ou econômico dos projetos, mas da fragmentação entre licenciamento mineral, ambiental e radiológico, da incerteza sobre competências entre União e estados e da ausência de uma solução clara para temas regulatórios críticos, especialmente NORM. Sem resposta institucional mais robusta para esses pontos, a tendência é a elevação do risco regulatório, da judicialização e do custo de capital dos projetos.

Nesse contexto, a previsibilidade e simplificação regulatória deve ser tratada como ativo estratégico da ENTR. Isso envolve definir com mais clareza procedimentos, responsabilidades institucionais e critérios técnicos para projetos com presença de radionuclídeos naturais, reduzindo o atual desencaixe entre classificação preliminar, licenciamento ambiental e reavaliação posterior pela autoridade nuclear. Atualmente a classificação de NORM depende inicialmente de dados autodeclaratórios fornecidos pelas próprias empresas, podendo ser revista apenas em etapas posteriores pela autoridade competente. Quando isso ocorre, há risco de conflito com licenciamento já conduzido por outra esfera, o que amplia insegurança jurídica e favorece judicialização. Por essa razão, uma diretriz central da ENTR deve ser a antecipação da análise de riscos críticos, em especial radioatividade, água e presença de comunidades afetadas, para fases anteriores ao licenciamento ambiental propriamente dito.

Assim, a ENTR deve apoiar a criação de protocolo integrado de tramitação para projetos com potencial presença de NORM, envolvendo ANM, órgãos ambientais e autoridade nuclear desde as etapas iniciais. Isso permitiria reduzir a lógica sequencial e reativa hoje predominante e substituí-la por arranjo mais coordenado. Também é recomendável que a estratégia preveja avaliação antecipada de riscos críticos, análise integrada de impactos socioambientais e incorporação de impactos cumulativos e de empreendimentos preexistentes, especialmente em territórios mais sensíveis. Essa orientação já aparece no próprio conjunto de ações do relatório, que propõe acelerar os processos (*fast-track*) com critérios objetivos, padrões nacionais de exigência ambiental e avaliação prévia de riscos críticos como instrumentos de redução de incerteza e sobrecarga territorial.

A questão do NORM exige tratamento específico. No caso dos depósitos monazíticos, a ausência de solução para o tório coproduto funciona como barreira estrutural à viabilidade de parte dos projetos. Não basta compensar custos radiológicos, se não houver definição clara para destinação, armazenamento ou aproveitamento estratégico do tório. Por isso, a ENTR deve prever, já no curto prazo, a constituição de um grupo de trabalho para endereçar o tratamento do

tório com participação de MME, CNEN/ANSN, MRE e Ministério da Fazenda, com mandato para apresentar solução operacional em prazo definido.

Entre as alternativas, destacam-se: depósito centralizado gerido ou credenciado pela autoridade nuclear, com o tório tratado como reserva estratégica da União; armazenamento *in situ* regulado, em instalações auditadas; integração futura ao programa nuclear brasileiro; ou negociação de exportação para parceiros nucleares, mediante salvaguardas específicas. Entre essas opções, o depósito centralizado aparece como a via mais rápida para reduzir o bloqueio regulatório atual.

Além da agenda radiológica, a ENTR deve tratar a governança regulatória de forma mais ampla. Esse é o caso das fusões e aquisições de ativos minerais de ETR que não raramente têm sido objeto de questionamentos e judicialização[94]. Isso inclui criar instância interministerial de coordenação da estratégia, instituir cronograma nacional com metas e marcos obrigatórios, definir critérios mais claros para priorização de investimentos com base em inteligência de mercado e avançar na construção de marco legal integrado para minerais críticos e terras raras. Também é necessário reforçar capacidades institucionais de ANM, órgãos ambientais e autoridade nuclear, pois a previsibilidade regulatória depende não apenas de norma, mas de capacidade operacional para implementá-la.

4.4.2 Condições tributárias e financeiras

A segunda condição habilitadora é a construção de ambiente tributário e financeiro compatível com a verticalização da cadeia. Projetos de separação, refino, metalização, ligas, magnetos e reciclagem demandam capital intensivo, maturação tecnológica longa e maior previsibilidade de demanda do que a mineração convencional. Nesse contexto, a estrutura econômica aplicável à cadeia de terras raras não pode ser idêntica àquela típica de projetos puramente extrativos. A ENTR deve, portanto, combinar instrumentos de desoneração, apoio ao investimento produtivo, mitigação de risco, apoio a plantas-piloto e demonstradores, e mecanismos de *funding* híbrido voltados ao salto entre mineração e transformação industrial.

Em primeiro lugar, recomenda-se a desoneração da fase de investimento, com suspensão de Contribuição sobre Bens e Serviços (CBS) e Imposto sobre Bens e Serviços (IBS) na aquisição de máquinas, equipamentos, materiais e serviços destinados à implantação ou ampliação de plantas de beneficiamento, separação química, refino e metalização, com conversão em alíquota zero após a comprovação de início de operação. Em paralelo, recomenda-se redução do

94 https://cksonline.com.br/nunes-marques-vai-relatar-no-stf-acao-que-tenta-barrar-venda-de-mineradora-de-terras-raras/

Imposto de Importação (II) e Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) sobre equipamentos e insumos importados sem similar nacional. Esses instrumentos atacam diretamente o custo de implantação das etapas intermediárias e avançadas da cadeia e reduzem a desvantagem inicial de projetos brasileiros frente a cadeias já maduras no exterior.

Em segundo lugar, a ENTR deve prever desoneração operacional para reagentes químicos e insumos críticos de processo utilizados em beneficiamento refinado, separação de óxidos individuais, transformação em metais e ligas, fabricação de magnetos e componentes. Acredita-se que essa lista pode ser atualizada periodicamente por portaria interministerial MME/MCTI/MDIC, evitando rigidez excessiva e permitindo acompanhar a evolução tecnológica e industrial da cadeia. Esse tipo de instrumento é particularmente importante porque o custo operacional do midstream e do downstream no Brasil tende a ser impactado por baixa escala inicial, dependência tecnológica externa e competição com fornecedores já consolidados.

Em terceiro lugar, recomenda-se a criação de crédito financeiro-fiscal para P&D, compensável com tributos federais, voltado ao domínio de rotas críticas de processamento, metalização, formulação de ligas, magnetos e gestão radiológica. Sugere-se o uso de multiplicadores diferenciados conforme a criticidade tecnológica: separação individual Nd/Pr e Tb/Dy com multiplicador mais elevado; gestão radiológica e tratamento de NORM também com multiplicador ampliado; e contrapartidas obrigatórias de dispêndio mínimo em P&D, convênios com ICTs, alocação regional e formação de recursos humanos. A incorporação desse mecanismo à ENTR é importante porque torna o apoio à inovação mais aderente aos desafios reais da cadeia e mais potente do que deduções genéricas.

Em quarto lugar, a estratégia deve reduzir o custo de aquisição e internalização de tecnologia crítica estrangeira. Assim, propõe-se a isenção de Imposto de Renda Retido na Fonte (IRRF) sobre *royalties*, licenças e assistência técnica vinculados à internalização tecnológica, especialmente em separação e metalização, justamente porque parte da tecnologia disponível fora da China ainda é controlada por poucos detentores e acessada por meio de instrumentos onerosos de licenciamento. Adicionalmente, sugere-se apoio à aquisição e internalização tecnológica por meio de *joint ventures,* licenciamento e instrumentos financeiros específicos. A ENTR deve estimular que os incentivos públicos destinados à atração de investimento estrangeiro estejam, sempre que possível, associados a mecanismos de absorção e desenvolvimento tecnológico no Brasil, incluindo cooperação com ICTs brasileiras, formação de recursos humanos, realização de atividades de PD&I, capacitação operacional e desenvolvimento gradual de fornecedores locais. A proposta não é estabelecer exigências compulsórias de transferência tecnológica, mas estruturar instrumentos capazes de estimular a internalização gradual de conhecimento, o

aprendizado produtivo e o fortalecimento de capacidades nacionais ao longo da cadeia.

Em quinto lugar, a ENTR deve incorporar instrumentos clássicos de estímulo ao investimento produtivo, como redução de 75% de Imposto de Renda da Pessoa Jurídica (IRPJ) sobre lucro da exploração nas atividades de transformação industrial de ETR por prazo determinado, nos moldes Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM)/Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE), e depreciação super acelerada para equipamentos de separação, metalização e controle radiológico. Esses mecanismos são particularmente úteis para encurtar o *payback* (tempo necessário para recuperar o capital investido em um projeto ou negócio), melhorar a bancabilidade e compensar o risco adicional dos investimentos em verticalização. Também devem ser considerados debêntures incentivadas para mineração e beneficiamento e fundo setorial/fundo de fomento ao downstream administrado com possibilidade de participação estrangeira e multilateral, voltado ao financiamento de CAPEX, *equity*, demonstradores e custos radiológicos.

Em sexto lugar, a estratégia deve prever instrumentos explícitos de diminuição do risco da cadeia (*de-risking*) e financiamento híbrido. O financiamento híbrido representa um diferencial relevante, além de mecanismos de garantia de preço e demanda, contratos públicos e fundos com participação estrangeira e multilateral. Acredita-se que o desenho ideal combina crédito reembolsável, subvenção, participação societária temporária, apoio à demonstração e instrumentos de garantia de mercado. Isso é especialmente importante para o midstream e o downstream, nos quais a incerteza não está apenas na tecnologia, mas também na escala e na formação de compradores.

Por fim, deve ser incorporado o tratamento específico para os custos associados a NORM. Propõe-se crédito financeiro de 50% sobre custos documentados de conformidade radiológica, incluindo licenciamento, equipamentos de contenção e monitoramento, gestão de rejeitos, treinamento e descomissionamento.

A verticalização da cadeia brasileira de terras raras exige um conjunto coordenado de instrumentos tributários e financeiros capazes de reduzir o custo de capital, mitigar riscos tecnológicos e de mercado e criar condições econômicas compatíveis com a implantação de plantas de separação, refino, metalização, ligas, magnetos e reciclagem. O Quadro 3 sintetiza os principais instrumentos habilitadores identificados no relatório, organizados segundo sua função estratégica no adensamento da cadeia.

Quadro 3. Instrumentos tributários e financeiros habilitadores da verticalização da cadeia de ETR

Instrumento	Descrição proposta	Finalidade estratégica	Horizonte	Órgãos/ atores-chave
Desoneração da fase de investimento (CBS/IBS)	Reduzir alíquota de CBS e IBS sobre aquisição de máquinas, equipamentos, materiais e serviços destinados à implantação ou ampliação de plantas de beneficiamento avançado, separação química, refino e metalização, com conversão em alíquota zero após comprovação de início de operação	Reduzir CAPEX inicial e viabilizar a implantação de plantas nos elos de maior valor agregado	Curto	Fazenda/ MDIC
Desoneração operacional (CBS/IBS)	Reduzir a alíquota de CBS e IBS sobre reagentes químicos e insumos de processo utilizados em beneficiamento refinado, separação de óxidos individuais, transformação em metais e ligas, fabricação de magnetos e componentes, com lista dinâmica atualizada por portaria interministerial	Reduzir OPEX das etapas de midstream e downstream e aumentar competitividade da produção nacional	Curto	Fazenda/ MME/ MDIC
Diferimento tributário até *pós-ramp-up*	Diferir tributos federais incidentes na implantação de plantas de separação, refino e transformação mineral até a fase *pós-ramp-up* operacional	Reduzir risco de entrada e aliviar a pressão financeira nos primeiros anos de operação	Curto	Fazenda/ MDIC
Crédito financeiro-fiscal para P&D	Criar crédito financeiro calculado sobre dispêndios em P&D voltados ao domínio de rotas críticas de processamento, separação, metalização, ligas, magnetos e gestão radiológica, compensável com tributos federais, com multiplicadores	Acelerar domínio tecnológico nacional e reduzir dependência externa em elos críticos	Curto	Fazenda/ MCTI

	diferenciados conforme criticidade tecnológica			
Isenção de IRRF sobre tecnologia estrangeira	Isentar IRRF sobre royalties, licenças e assistência técnica vinculados à internalização tecnológica em separação, metalização e demais rotas críticas da cadeia	Reduzir o custo efetivo de aquisição de tecnologia crítica disponível fora da China	Curto	Fazenda
Incentivos sobre tributação da renda (IRPJ/CSLL)	Reduzir IRPJ de empresas que fazem separação de óxidos de ETR, produção de ligas e ímãs por prazo determinado, em moldes semelhantes ao modelo SUDAM/SUDENE	Melhorar bancabilidade, encurtar *payback* e estimular verticalização no território nacional	Curto	Fazenda
Depreciação superacelerada	Permitir depreciação de 100% no primeiro ano para equipamentos críticos de separação, metalização e controle radiológico vinculados à verticalização da cadeia	Aumentar atratividade do investimento produtivo e reduzir custo de capital	Curto	Fazenda
Compensação de custos radiológicos (NORM)	Discutir validade da criação de algum mecanismo de compensação financeira ou crédito fiscal sobre custos documentados de conformidade radiológica, incluindo licenciamento, monitoramento, equipamentos de contenção, gestão de rejeitos, treinamento e descomissionamento	Reduzir o ônus adicional imposto a projetos com presença de NORM, sobretudo em depósitos monazíticos	Médio	CNEN/ Fazenda
Linhas de crédito subsidiadas para CAPEX/OPEX	Expandir linhas de crédito de longo prazo e custo favorecido para implantação e operação de plantas de separação, refino, ligas, magnetos e reciclagem	Viabilizar escalonamento industrial e reduzir barreiras financeiras no midstream e downstream	Curto	BNDES

Apoio a plantas-piloto e demonstradores	Financiar plantas-piloto, unidades de demonstração e lotes pré-comerciais, inclusive por meio de *equity* estatal e instrumentos não reembolsáveis	Reduzir risco tecnológico e apoiar a transição entre bancada, piloto e escala industrial	Curto	BNDES/ Finep/ Embrapii
Funding híbrido e participação multilateral/ estrangeira	Permitir participação de capital estrangeiro e multilateral em estruturas de *funding* para midstream e downstream, combinando crédito, *equity*, subvenção e garantias	Aumentar capacidade de financiamento, compartilhar risco e acelerar a verticalização	Médio	MME/ BNDES
Fundo de Fomento ao Downstream de Terras Raras (FFDTR)	Criar fundo setorial voltado ao financiamento de CAPEX, *equity*, demonstradores e custos radiológicos de projetos de transformação industrial	Sustentar financeiramente o adensamento da cadeia além do upstream	Curto	MME/ BNDES
Debêntures incentivadas para mineração e beneficiamento	Regulamentar o uso de debêntures incentivadas para projetos de mineração, beneficiamento e transformação mineral ligados à cadeia de ETR	Ampliar o universo de financiamento privado e reduzir custos de captação de longo prazo	Curto	Fazenda/ CVM
Garantias de preço, demanda e *offtake*	Estruturar pisos de preço, contratos de *offtake* e mecanismos de garantia de demanda, inclusive com uso de compras públicas e contratos de longo prazo	Mitigar volatilidade de mercado e aumentar previsibilidade econômica dos projetos	Médio	MDIC/ BNDES/ Defesa/ MME
Isenção temporária sobre produtos verticalizados	Prever isenção temporária de tributos sobre produtos transformados ao longo da cadeia, com foco em downstream e produtos de maior valor agregado	Aumentar competitividade inicial da produção verticalizada nacional	Curto	Fazenda

Apoio à aquisição e internalização tecnológica	Criar instrumentos financeiros para *joint ventures*, licenciamento tecnológico e internalização de *know-how* crítico	Fortalecer a absorção tecnológica e acelerar o aprendizado industrial nacional	Médio	BNDES/ Finep

Fonte: Elaboração própria

Em conjunto, esses instrumentos mostram que a verticalização da cadeia de ETR no Brasil não dependerá de um único incentivo isolado, mas de uma arquitetura combinada de desoneração, crédito, mitigação de risco, apoio à inovação, financiamento híbrido e previsibilidade econômica.

4.4.3 Condições tecnológicas e industriais

A terceira condição habilitadora é a capacidade de transformar conhecimento acumulado em capacidade industrial efetiva. O país já dispõe de competências científicas e laboratoriais relevantes, mas ainda enfrenta grande dificuldade de transição entre prova de conceito, planta-piloto, demonstração industrial e escala comercial. Em terras raras, esse hiato é particularmente crítico, porque a cadeia depende de rotas químicas complexas, equipamentos específicos, metrologia, controle de qualidade, segurança radiológica e integração fina entre pesquisa aplicada e operação industrial. Por isso, o avanço da ENTR exigirá política ativa de escalonamento tecnológico, formação de recursos humanos e fortalecimento do ecossistema fornecedor.

Escalonamento tecnológico: O apoio à pesquisa deve ser explicitamente articulado a plantas-piloto, unidades de demonstração, lotes pré-comerciais e qualificação industrial de processos e produtos. Sem isso, o país tende a permanecer com boa capacidade científica, mas com baixa capacidade de industrialização. Em outras palavras, o desafio brasileiro não é apenas desenvolver rotas, mas testá-las, validá-las, padronizá-las e provar sua viabilidade sob condições próximas da operação real.

Integração entre ICTs e empresas: Articular SENAI, IPT, CETEM, universidades, institutos e empresas em consórcios orientados a resultados. Essa integração deve ser institucionalizada por meio de chamadas orientadas por missão, consórcios com metas tecnológicas explícitas, infraestrutura compartilhada e mecanismos de absorção empresarial das soluções desenvolvidas. O objetivo é reduzir a distância entre ciência e produção, evitando que o esforço tecnológico fique confinado ao ambiente acadêmico.

Formação e retenção de recursos humanos especializados: Em um setor que combina química de separação, metalurgia extrativa, engenharia de processo,

automação, caracterização mineral e segurança radiológica, o gargalo de pessoas não pode ser tratado como tema acessório. A ENTR deve combinar pós-graduação, formação técnica, especialização profissional e experiências práticas em ambientes-piloto e industriais. Isso é particularmente importante para criar massa crítica nacional e reduzir a dependência de pacotes tecnológicos fechados importados.

Desenvolvimento da base de equipamentos, insumos, reagentes e *know-how*: A ENTR deve incorporar política de desenvolvimento de fornecedores críticos e de apoio à internalização progressiva de capacidades técnicas e de processo.

4.4.4 Condições territoriais, sociais e socioambientais

A quarta condição habilitadora é a construção de legitimidade territorial, social e socioambiental para a cadeia. A competitividade não depende apenas de geologia, tecnologia e financiamento; depende também de capacidade de operar com legitimidade social, prevenir conflitos, distribuir benefícios de forma mais robusta e reduzir assimetrias territoriais associadas à mineração.

Legitimidade social: A expansão da cadeia exige comunicação pública qualificada, consulta, mecanismos de participação e capacidade de responder a preocupações locais com água, rejeitos, possível radioatividade, infraestrutura e qualidade dos serviços públicos.

Desenvolvimento local: Além da geração de emprego e da arrecadação de CFEM, empreendimentos de minerais estratégicos podem desempenhar papel relevante no fortalecimento do desenvolvimento regional. O caso de Minaçu é particularmente útil nesse ponto: a própria experiência relatada mostra iniciativas da Serra Verde voltadas para o apoio ao desenvolvimento socioeconômico local, buscando ampliar alternativas de renda e autonomia no longo prazo. A mensagem estratégica é clara: a ENTR deve vincular a implantação da cadeia a planejamento territorial de médio e longo prazo, e não apenas aos efeitos imediatos da operação mineral.

Compras locais e qualificação de fornecedores: O fortalecimento do território depende não apenas da operação mineral em si, mas da capacidade de articular compras locais, qualificação de fornecedores, investimento social e planejamento de longo prazo.

Uso estratégico da CFEM e de outros instrumentos de renda mineral: A ENTR deve estimular estados e municípios a tratar a CFEM não apenas como receita corrente, mas como base para diversificação econômica, planejamento pós-mineração e fortalecimento de capacidades locais. Sugere-se o uso do CFEM para diversificação econômica e capacitação para elaboração de planos locais de

desenvolvimento, buscando-se reduzir a dependência excessiva da atividade extrativa e a construir legados mais duradouros.

Planejamento pós-mineração: A sustentabilidade territorial exige pensar benefícios duradouros mesmo após o encerramento das atividades, o que envolve garantias financeiras, recuperação ambiental, qualificação econômica do território e preparação institucional dos municípios. Em outras palavras, desenvolvimento local não pode ser sinônimo de dependência mineral temporária. Ele deve ser tratado como estratégia de transição territorial ao longo do ciclo de vida do projeto.

Monitoramento ambiental e as salvaguardas socioambientais: Monitoramento de água, solo e ar, gestão de rejeitos, planos de emergência, mecanismos de reparação e integração entre empresas, órgãos ambientais, universidades, prefeituras e sociedade civil (vide Anexo IV – cartilha de práticas para impacto positivo).

4.5 Parcerias estratégicas

A agenda de terras raras deve ser também uma agenda de cooperação. A comparação entre China, Estados Unidos, União Europeia, Austrália, Canadá, Índia, Indonésia e Malásia mostra que a competitividade em terras raras não se constrói apenas com base em reservas ou produção mineral, mas por meio da combinação entre instrumentos públicos, domínio tecnológico, financiamento, coordenação institucional e parcerias internacionais orientadas à redução de vulnerabilidades e ao fortalecimento de capacidades domésticas. No caso brasileiro, isso implica tratar as parcerias estratégicas não como eixo lateral da ENTR, mas como mecanismo funcional para acelerar o adensamento da cadeia e reduzir gargalos estruturais nos segmentos em que o país ainda apresenta maior fragilidade.

A principal lição é que a cooperação internacional mais efetiva não é aquela voltada apenas à exportação de concentrados ou à abertura de mercados para a produção mineral, mas a que contribui para desenvolver capacidades em processamento, refino, manufatura, inovação e circularidade. Assim, a estratégia brasileira deve priorizar a construção de parcerias internacionais voltadas ao desenvolvimento conjunto de capacidades tecnológicas e industriais.

Nesse contexto, as parcerias estratégicas da ENTR podem ser estruturadas a partir de uma lógica funcional, de modo a organizar um portfólio de cooperação alinhado às necessidades prioritárias da cadeia brasileira de terras raras. Esse portfólio pode abranger, entre outras dimensões, instrumentos de financiamento e mitigação de risco, cooperação em processamento e refino, apoio à inovação

tecnológica e ao escalonamento industrial, articulação com mercados usuários e manufatura, iniciativas em circularidade e suprimento secundário, bem como mecanismos de governança, rastreabilidade e segurança de suprimento. Sob essa abordagem, as parcerias deixam de ser compreendidas apenas como vetores de inserção internacional e passam a desempenhar função estruturante no fortalecimento progressivo dos segmentos ainda em consolidação na cadeia nacional, com especial relevância para o avanço do midstream seletivo e do downstream gradual.

A partir do *benchmarking,* constata-se que a China permanece como único ator plenamente integrado do upstream ao downstream, com escala mineral, domínio tecnológico, refino, manufatura de ímãs e coordenação industrial. Austrália e Canadá têm forte vocação minerária e avançam na construção de capacidades, mas ainda enfrentam gargalos de financiamento e infraestrutura. Estados Unidos e União Europeia concentram esforços em reindustrialização, refino, manufatura, reciclagem e instrumentos públicos de mitigação de risco. A Malásia, por sua vez, consolidou-se como *hub* internacional de processamento, inclusive em articulação com a mineração australiana. Essas experiências sugerem que a estratégia brasileira deve buscar cooperação com diferentes parceiros, de forma seletiva, conforme o elo da cadeia, o tipo de capacidade desejada e o instrumento a ser mobilizado.

No campo do **financiamento e *de-risking***, as parcerias mais relevantes são aquelas capazes de apoiar CAPEX, plantas-piloto, demonstradores, *ramp-up* operacional e contratos de longo prazo. Este estudo aponta que países como Estados Unidos e Austrália vêm combinando instrumentos públicos de mitigação de risco, crédito, contratos de *offtake* e apoio estatal para reconstruir ou ampliar elos da cadeia. Para o Brasil, isso sugere a importância de aprofundar cooperação com agências de crédito à exportação, bancos de desenvolvimento, fundos multilaterais e parceiros governamentais dispostos a estruturar financiamento híbrido e compartilhar risco nos segmentos mais intensivos em capital e tecnologia.

No campo do **processamento e refino**, as parcerias devem ser orientadas à formação de capacidades em separação, purificação, metalização e ligas. O diagnóstico do relatório é claro ao indicar que o gargalo brasileiro está menos no recurso mineral e mais nas etapas intermediárias e industriais da cadeia. Por isso, as parcerias mais relevantes não são necessariamente aquelas que asseguram apenas compra de produção mineral, mas as que contribuem para desenvolver plantas, rotas, qualificação de produto, engenharia e aprendizado operacional. Isso inclui cooperação com atores públicos e privados capazes de aportar tecnologia, treinamento, engenharia de processo e integração industrial para projetos seletivos de NdPr, metais e ligas, e, em momento oportuno, Dy/Tb e produtos mais sofisticados.

No campo da **inovação tecnológica**, as parcerias estratégicas devem apoiar a conversão de ciência em capacidade industrial. O *benchmarking* mostra que Estados Unidos, União Europeia, Reino Unido e Canadá vêm investindo em modelos que articulam pesquisa aplicada, demonstradores, P&D orientado por missão, reciclagem e inovação em materiais e magnetos. Para o Brasil, isso sugere cooperação com universidades, institutos tecnológicos, laboratórios e empresas estrangeiras em áreas como separação, metalização, ligas, magnetos, circularidade, metrologia, certificação e gestão radiológica, sempre com foco em absorção local de conhecimento e formação de recursos humanos.

No campo do **mercado usuário e manufatura**, as parcerias devem aproximar a cadeia de terras raras dos setores industriais mais dinâmicos. O relatório já identifica como setores-âncora mobilidade elétrica: energia renovável, robótica e automação, saúde, defesa, semicondutores e eletrônica avançada. A ENTR deve, portanto, buscar parceiros que não apenas adquiram materiais processados, mas que também possam integrar a produção brasileira a cadeias de maior valor agregado, criar demanda-âncora e apoiar a qualificação de produtos e componentes. Isso significa que as parcerias estratégicas devem ser desenhadas também com foco em integração industrial e manufatureira, e não apenas em comércio exterior.

No campo da **circularidade**, as parcerias internacionais podem acelerar o desenvolvimento de rotas de reciclagem, reaproveitamento de resíduos, recuperação de ímãs permanentes e uso de fontes secundárias. O *benchmarking* mostra que União Europeia, Reino Unido e Estados Unidos vêm tratando a circularidade como componente estratégico da segurança de suprimento e da política industrial. Para o Brasil, essa agenda é particularmente relevante, porque permite conectar sustentabilidade, inovação, redução de passivos e criação de capacidades industriais em nichos ainda em formação.

Por fim, as parcerias estratégicas devem contribuir para a **governança e a segurança de suprimento**. Isso inclui cooperação em rastreabilidade, padrões, certificação, gestão de riscos, segurança regulatória e convergência de metodologias. Em cadeias crescentemente sensíveis à geopolítica e à *due diligence*, acordos e arranjos de cooperação que reforcem a previsibilidade, a rastreabilidade e a confiabilidade da cadeia brasileira podem se converter em diferencial competitivo importante. Isso é particularmente relevante em um contexto em que países e blocos vêm buscando reduzir vulnerabilidades sem abrir mão de exigências de sustentabilidade e governança.

Em síntese, a ENTR deve orientar as parcerias estratégicas por três critérios centrais. O primeiro é a **aderência funcional**: cada parceria deve responder a um gargalo concreto da cadeia brasileira. O segundo é a **seletividade estratégica**: a cooperação deve estar alinhada às prioridades da ENTR, especialmente

midstream, metais, ligas, ímãs, reciclagem e segurança regulatória. O terceiro é a **criação de capacidades domésticas**: a parceria ideal não é a que apenas extrai e exporta, mas a que compartilha risco, transfere conhecimento, forma pessoas, qualifica produtos, amplia mercado e fortalece a presença brasileira nos elos de maior valor agregado. Um exemplo concreto desse tipo de arranjo é a parceria entre a Brazilian Rare Earths (BRE) e a empresa francesa Carester, que combina fornecimento de concentrados no Brasil, implantação de capacidade de separação no país e contratos de *offtake* de longo prazo, articulando acesso a mercado com desenvolvimento industrial local. Assim, as parcerias deixam de ser complemento diplomático e passam a ser instrumento direto de política industrial, tecnológica e territorial da ENTR.

Nesse contexto, é fundamental que a estratégia brasileira se paute em uma lógica aberta e diversificada de cooperação. A construção de parcerias com múltiplos países e blocos amplia a capacidade de negociação do Brasil, reduz vulnerabilidades geopolíticas e favorece a diversificação de mercados de exportação, além de possibilitar múltiplos caminhos para o desenvolvimento pleno das capacidades nacionais. Essa abordagem permite ao país acessar diferentes tecnologias, fontes de financiamento e arranjos industriais, ao mesmo tempo em que evita a concentração de riscos e reforça a autonomia estratégica na condução da política mineral e industrial.

Com base no *benchmarking* internacional, sugere-se que as parcerias estratégicas da ENTR devem ser orientadas menos por uma lógica genérica de aproximação bilateral e mais por uma leitura funcional das capacidades que diferentes países e blocos já consolidaram ao longo da cadeia de terras raras. Vale destacar que a tradição diplomática do Brasil de equidistância pragmática, permite ao país manter uma posição neutra em disputas geopolíticas e, ao mesmo tempo, firmar parcerias estratégicas com múltiplos atores. Essa postura amplia sua capacidade de priorizar interesses nacionais, especialmente no campo tecnológico, viabilizando cooperação e transferência de tecnologia. O Quadro 4 identifica, entre os casos analisados no relatório, aqueles com maior aderência a cada um dos eixos prioritários da estratégia brasileira, de modo a apoiar a seleção mais criteriosa de referências e arranjos de cooperação.

Quadro 4. Países/blocos com maior aderência aos eixos prioritários da ENTR

País / bloco	Onde a experiência é mais útil para o Brasil	Observação estratégica para a ENTR

China	Separação, refino, integração industrial, domínio tecnológico e verticalização	É a principal referência de escala e integração da cadeia, sobretudo no midstream. A lição central não é replicar o modelo chinês integralmente, mas reconhecer que liderança exige coordenação industrial, P&D contínuo e domínio das etapas intermediárias e finais
Estados Unidos	*De-risking*, compras estratégicas, financiamento público, reconstrução de magnetos e política industrial	A experiência americana é especialmente aderente à ENTR no uso de instrumentos de mitigação de risco, *funding* e política industrial para reconstituir elos perdidos, especialmente midstream e magnetos
União Europeia	Refino, reciclagem, integração entre política industrial, sustentabilidade e segurança de suprimento	A UE tem alta aderência à ENTR nos temas de circularidade, regulação, metas e integração entre transição industrial e sustentabilidade. É referência importante para o eixo de circularidade e para as condições habilitadoras regulatórias
Reino Unido	Inovação, reciclagem, desenvolvimento de nichos tecnológicos e rotas especializadas	O caso britânico é mais útil para nichos de inovação, reciclagem e aplicações tecnológicas específicas do que para escala mineral ou industrial ampla
Austrália	Base mineral robusta, contratos de longo prazo, apoio público ao refino e transição gradual para verticalização	É provavelmente o caso mais aderente ao Brasil para a combinação entre base geológica forte e avanço progressivo para refino, apoiado por contratos, política pública e inserção internacional
Canadá	Coordenação institucional, infraestrutura habilitadora, financiamento e ecossistemas de minerais críticos	O Canadá é especialmente aderente à ENTR nos temas de governança, coordenação, *funding* e construção de ecossistema, ainda que sua cadeia de ETR permaneça em consolidação
Índia	Política industrial, proteção de abastecimento doméstico, estímulo à manufatura e uso estratégico de acordos internacionais	A aderência maior está no uso de política industrial para conectar minerais críticos à manufatura doméstica e segurança de suprimento, com valor para a agenda de setores-âncora da ENTR
Indonésia	Instrumentos de agregação de valor e foco em industrialização doméstica	É um caso útil mais como referência seletiva e de cautela: mostra o potencial de instrumentos nacionalistas de agregação de valor, mas também os

		riscos de coordenação regulatória frágil e insuficiência tecnológica
Malásia	*Hub* de processamento, logística, regulação específica e integração com cadeias externas	A principal aderência está no aprendizado sobre como construir um diretrizes da*hub* de processamento, mesmo sem grande base mineral própria, o que interessa diretamente ao desenho brasileiro de midstream seletivo

Fonte: Elaboração própria com base na Tabela 2 do *benchmarking* internacional e nos eixos/diretrizes da ENTR.

Essa leitura reforça que a política de parcerias da ENTR deve combinar pragmatismo e seletividade. O Brasil não precisa reproduzir integralmente a trajetória de nenhum país isoladamente. O mais promissor é construir um portfólio de cooperação que combine, conforme o eixo e o horizonte temporal, referências em financiamento e *de-risking*, processamento e refino, inovação e escalonamento, manufatura e mercado usuário, circularidade e governança. Sob essa abordagem, as parcerias passam a operar como instrumentos de fortalecimento progressivo das capacidades nacionais, e não apenas como canais de exportação mineral.

5. Plano de ação, governança e implementação

A efetividade da Estratégia Nacional de Terras Raras dependerá da capacidade de traduzir suas diretrizes em prioridades temporais, ações coordenadas, instrumentos concretos e mecanismos de implementação. O diagnóstico consolidado ao longo deste relatório mostra que o Brasil já dispõe de ativos relevantes – base geológica expressiva, pipeline crescente de projetos, competências técnico-científicas, interesse internacional e sinais iniciais de adensamento industrial –, mas também enfrenta lacunas estruturais em regulação, financiamento, escalonamento tecnológico, coordenação institucional e legitimidade territorial. Nesse contexto, a ENTR só poderá produzir efeitos concretos se for acompanhada de um plano de ação capaz de organizar a transição entre o potencial identificado e a construção progressiva de capacidades nacionais ao longo da cadeia.

O plano de ação objetiva converter as prioridades estratégicas da ENTR em um roteiro de implementação, articulando horizonte temporal, instrumentos habilitadores, governança e acompanhamento. Para isso, parte-se do reconhecimento de que a cadeia de terras raras não avançará de forma homogênea em todos os elos e que o país dificilmente internalizará, no curto prazo, todos os segmentos com competitividade internacional.

A implementação da estratégia deve, portanto, seguir lógica seletiva, escalonada e orientada por missão, distinguindo o que pode e deve ser priorizado no curto prazo, o que exige maturação no médio prazo e o que se projeta como horizonte de consolidação no longo prazo. Essa abordagem é coerente com o diagnóstico do relatório, segundo o qual o maior potencial imediato está na consolidação do upstream e na estruturação de um midstream seletivo, enquanto o downstream mais sofisticado e a circularidade avançada devem ser construídos de forma gradual e cumulativa.

A organização temporal proposta neste capítulo não deve ser lida como sequência rígida, mas como forma de ordenar prioridades, reduzir dispersão e aumentar coerência na mobilização dos instrumentos públicos. Em todos os horizontes, a implementação da ENTR exigirá coordenação entre política mineral, política industrial, ciência e tecnologia, financiamento, regulação e desenvolvimento territorial. Também exigirá forte articulação entre União, estados, municípios, setor privado, instituições de ciência e tecnologia, financiadores e sociedade civil. Por essa razão, o plano de ação aqui apresentado é acompanhado por proposições de governança, agendas regulatória e tributária/financeira e mecanismos de monitoramento, de modo a assegurar que a estratégia seja acompanhada, revisada e ajustada ao longo do tempo.

5.1 Curto, médio e longo prazo

A implementação da ENTR deve observar uma lógica de escalonamento temporal compatível com a maturidade atual da cadeia brasileira de terras raras, com os riscos associados a cada elo e com a capacidade de mobilização dos instrumentos públicos e privados. Em vez de buscar internalização simultânea de toda a cadeia, a estratégia deve combinar pragmatismo e ambição, priorizando ações capazes de gerar efeitos cumulativos.

Isso significa consolidar, no curto prazo, a base mineral e os instrumentos habilitadores do avanço industrial; ampliar, no médio prazo, a capacidade nacional de processamento, transformação e integração com setores usuários; e, no longo prazo, consolidar uma cadeia mais integrada, resiliente e tecnologicamente sofisticada, com maior presença em ímãs, componentes e circularidade avançada.

Curto prazo

No curto prazo, a prioridade central da ENTR deve ser consolidar as bases materiais, institucionais e regulatórias da estratégia. Isso significa, em primeiro lugar, apoiar a consolidação do upstream competitivo, confiável e sustentável, acelerando a maturação dos projetos viáveis, ampliando a previsibilidade regulatória e aprofundando a inteligência geológica e setorial. O objetivo, nesse

horizonte, é transformar o atual *pipeline* em base efetiva de produção, reduzindo a distância entre potencial mineral e capacidade de oferta confiável. Em paralelo, o curto prazo deve ser dedicado à organização das condições habilitadoras da cadeia: coordenação institucional, arranjo regulatório para NORM, fortalecimento do ambiente de financiamento e mitigação de risco, apoio a rotas seletivas de processamento, operacionalizar os instrumentos tributários e financeiros necessários à verticalização e articulação entre mineração, inovação e política industrial.

Nesse horizonte, a prioridade industrial mais realista é o início do midstream seletivo, com foco em produtos intermediários e em rotas de menor complexidade relativa, especialmente carbonatos e óxidos de maior pureza, e, progressivamente, separação seletiva com prioridade a NdPr. O curto prazo também deve concentrar esforços na criação de instrumentos de *de-risking*, no apoio a plantas-piloto e unidades de demonstração, na estruturação do arranjo interinstitucional para radioatividade natural e tório coproduto, e na harmonização das iniciativas regulatórias entre mineração, meio ambiente e segurança radiológica. Ao mesmo tempo, é recomendável iniciar programas de reciclagem de sucata industrial, resíduos minerais e outras fontes concentradas de suprimento secundário, criando as bases da circularidade sem depender imediatamente de cadeias complexas de logística reversa de pós-consumo. Em síntese, o curto prazo deve ser dedicado à remoção dos principais gargalos de entrada e à formação das bases sobre as quais o restante da estratégia poderá avançar.

Médio prazo

No médio prazo, a ENTR deve deslocar progressivamente seu foco da consolidação do elo mineral para a ampliação da capacidade nacional nos elos intermediários e na conexão com setores industriais usuários. Se o curto prazo é marcado por preparação, coordenação e destravamento, o médio prazo deve ser o momento de consolidação do midstream seletivo e de adensamento industrial inicial. Isso inclui ampliar a separação e o refino, avançar em metais, ligas e magnetos semiacabados e consolidar *hubs* regionais de processamento e inovação. A lógica nesse horizonte é permitir que o Brasil deixe de operar apenas como potencial fornecedor de insumo mineral e passe a construir presença mais robusta em produtos intermediários de maior valor agregado.

Esse período também deve ser marcado pelo fortalecimento da demanda-âncora e pela integração da cadeia de terras raras a setores prioritários, como mobilidade elétrica, energia renovável, automação, saúde e defesa. O avanço no médio prazo dependerá da articulação entre projetos de processamento, instrumentos de apoio, setores compradores e infraestrutura de demonstração e qualificação industrial. Ao mesmo tempo, a consolidação de *hubs* regionais em territórios com

maior densidade de projetos, infraestrutura e capacidades tecnológicas tende a ser decisiva para evitar dispersão e ampliar economias de escala. O médio prazo deve ser o momento de transformar o esforço setorial em densidade produtiva e aprendizado industrial acumulado.

Longo prazo

No longo prazo, a ENTR deve buscar a consolidação de uma cadeia mais integrada, articulando mina, separação, refino, metalurgia, magnetos, reciclagem e aplicações industriais de maior valor agregado. Esse horizonte inclui o avanço em ímãs permanentes, componentes magnéticos, materiais funcionais e circularidade avançada, bem como maior inserção do Brasil em cadeias globais menos dependentes de processamento externo. Trata-se do estágio em que a estratégia deixa de ser apenas agenda de fortalecimento do upstream e do midstream seletivo e passa a se projetar como política de posicionamento industrial e tecnológico mais completo. Ainda assim, este horizonte deve ser construído de forma progressiva, a partir das capacidades efetivamente acumuladas nos períodos anteriores.

Além disso, a circularidade deve deixar de ser frente complementar e passar a compor, de forma estrutural, a segurança de suprimento do país, por meio da reciclagem de ímãs permanentes, reaproveitamento de resíduos industriais e urbanos, integração entre manufatura e logística reversa e maior uso de fontes secundárias. Também nesse horizonte, o Brasil poderá buscar posição mais robusta como parceiro confiável em cadeias de maior valor agregado, combinando base mineral, capacidades de processamento, produção intermediária, aplicações industriais e padrões de sustentabilidade e governança compatíveis com os mercados mais exigentes. O longo prazo, portanto, não deve ser entendido como simples etapa posterior, mas como horizonte de consolidação de uma trajetória de adensamento produtivo, tecnológico e territorial, construída de forma seletiva e coordenada.

Assim, a organização das prioridades em curto, médio e longo prazo permite compatibilizar realismo e ambição estratégica. Ela reconhece, de um lado, que o Brasil não parte do zero e já dispõe de ativos importantes; de outro, que a passagem da dotação geológica para uma cadeia de maior valor agregado exigirá coordenação contínua, instrumentos adequados e aprendizado cumulativo. Nessa perspectiva, a temporalidade da ENTR não expressa apenas uma sequência cronológica, mas uma lógica de construção progressiva de capacidades nacionais. É essa lógica que orienta, nas seções seguintes, a matriz de ações prioritárias, a agenda regulatória e tributária/financeira, a governança e os mecanismos de monitoramento da estratégia.

O Quadro 5 sintetiza as prioridades da ENTR segundo horizonte temporal, organizando a implementação da estratégia de forma escalonada e compatível com a maturidade atual da cadeia brasileira de terras raras.

Quadro 5. Prioridades da ENTR por horizonte temporal

Horizonte temporal	Prioridades centrais	Objetivo estratégico associado
Curto prazo	Consolidação do upstream competitivo; aprofundamento da inteligência geológica e setorial; estruturação de arranjo interinstitucional para NORM; criação de instrumentos de *de-risking*; apoio a rotas seletivas com prioridade a NdPr; operacionalização dos instrumentos tributários e financeiros; fortalecimento da coordenação institucional; início de programas de reciclagem de sucata industrial e resíduos minerais; harmonização das iniciativas regulatórias	Remover gargalos de entrada, transformar potencial mineral em base confiável de produção e criar as condições habilitadoras para o avanço industrial da cadeia
Médio prazo	Ampliação da capacidade nacional de separação e refino; avanço em metais, ligas e magnetos semiacabados; consolidação de *hubs* regionais de processamento e inovação; fortalecimento de demanda-âncora; integração da cadeia com setores prioritários como mobilidade elétrica, energia renovável, automação, saúde e defesa	Adensar a cadeia nos elos intermediários, ampliar a captura de valor e conectar a produção mineral à transformação industrial e aos mercados usuários
Longo prazo	Consolidação de cadeia integrada entre mina, refino, metalurgia, magnetos e reciclagem; avanço em ímãs permanentes, componentes e materiais funcionais; incorporação da circularidade como elemento estrutural da estratégia; maior inserção do Brasil em cadeias globais de maior valor agregado e segurança de suprimento	Reposicionar o Brasil como parceiro confiável, competitivo e tecnologicamente mais denso nas cadeias globais de terras raras

Fonte: Elaboração própria

Essa leitura reforça que a ENTR deve combinar pragmatismo no curto prazo com construção progressiva de capacidades industriais, tecnológicas e territoriais no médio e no longo prazo, evitando tanto a dispersão de esforços quanto a adoção de metas incompatíveis com a base atual do país.

Os impactos potenciais resultantes da implementação das metas e prioridades da ENTR transcendem a dimensão estritamente mineral ou industrial, alcançando efeitos econômicos, sociais, ambientais e geopolíticos associados à inserção do Brasil nas cadeias globais de minerais críticos e estratégicos. O quadro 6 consolida, de forma sintética, a relação entre algumas das principais metas

nacionais propostas e os impactos esperados da estratégia em diferentes dimensões.

Quadro 6. Impactos esperados da ENTR

Dimensão	Metas relacionadas	Impactos esperados
Econômica	Atingir 20% da produção global de ETR (aprox. 75,7 ktpa TREO) até 2040, incluindo meta de 15 ktpa de NdPr + DyTb; desenvolver capacidade industrial de separação de 25 ktpa até 2033, ampliada para 40 ktpa até 2040; atingir produção de 5 ktpa de ímãs permanentes até 2040.	Ampliação da produção mineral e da agregação de valor doméstica; atração de investimentos; fortalecimento de fornecedores locais e regionais; desenvolvimento gradual de capacidades industriais em separação, metalurgia e magnetos; aumento da arrecadação pública e da CFEM; estímulo à internalização tecnológica e à diversificação produtiva em territórios mineradores.
Social	Formação acumulada de 10 mil profissionais especializados até 2040; fortalecimento de capacidades locais e territoriais associadas à cadeia de ETR.	Geração de empregos qualificados diretos e indiretos, inclusive em regiões remotas; fortalecimento do desenvolvimento econômico local por meio da integração de fornecedores e serviços à cadeia mineral; melhoria da infraestrutura e dos serviços públicos locais; apoio ao ordenamento territorial e à diversificação econômica; aumento da probabilidade de obtenção e manutenção da Licença Social para Operar (LSO) a partir da percepção de benefícios líquidos à sociedade; implementação contínua de mecanismos de diálogo territorial, CPLI e mitigação de impactos sociais associados à implantação dos empreendimentos.
Ambiental	Garantir que 100% da produção estratégica esteja coberta por mecanismos de rastreabilidade, monitoramento socioambiental e padrões ESG auditáveis até 2040; ampliar iniciativas de circularidade e recuperação secundária de minerais críticos.	Redução relativa da intensidade de carbono da cadeia brasileira em comparação com cadeias apoiadas em matrizes mais fósseis; estímulo ao uso de energia renovável, rastreabilidade e gestão ambiental; fortalecimento da economia circular e da recuperação de minerais críticos a partir de resíduos; adoção de padrões robustos de gestão de rejeitos, monitoramento radiológico e controle de NORM; mitigação de riscos associados à contaminação de solo e água e redução de emissões de CO_2 e outros gases de efeito estufa.

Geopolítica e Estratégica	Consolidar o Brasil como fornecedor competitivo e parceiro confiável em cadeias globais estratégicas ligadas à transição energética, indústria de defesa e tecnologias avançadas; ampliar a inserção internacional da cadeia brasileira de ETR.	Redução da dependência externa de insumos críticos em mercados consumidores; diversificação geográfica das cadeias globais de suprimento; fortalecimento da segurança de suprimento e da capacidade de negociação internacional do Brasil; ampliação da cooperação tecnológica, industrial e diplomática; posicionamento do país como ator estratégico em um contexto de crescente competição geopolítica e "armamentização" dos minerais críticos.

Fonte: Elaboração própria

5.2 Matriz de ações prioritárias

A implementação da ENTR requer uma matriz de ações prioritárias capaz de traduzir os eixos estratégicos em iniciativas concretas, com horizonte temporal, definição de liderança institucional, articulação de parceiros e escolha de instrumentos compatíveis com o perfil de risco e maturidade da cadeia. A matriz a seguir consolida o plano de ação atualmente disperso no relatório, preservando as recomendações já formuladas e organizando-as de modo a facilitar sua execução, monitoramento e coordenação interinstitucional. Em linha com o diagnóstico e com as contribuições incorporadas ao relatório, as ações priorizadas concentram-se na consolidação do upstream, no fortalecimento do midstream seletivo, no avanço progressivo do downstream, na estruturação de condições regulatórias e financeiras para a verticalização, no escalonamento tecnológico e na construção de legitimidade territorial e socioambiental.

Quadro 7. Matriz de ações prioritárias para implementação da ENTR

Ação	Horizonte	Eixo estratégico	Órgão líder	Parceiros	Instrumento	Resultado esperado
Promover o aumento da pesquisa pública geológica com foco em ETR nas áreas de maior vocação	Curto	Eixo 1	SGB	ANM, estados, ICTs	Institucional/ informação	Melhorar qualidade da informação e orientar decisão pública e privada
Instituir Carteira de Projetos Estratégicos de ETR no upstream, midstream e downstream	Curto	Eixo 1	MME	SGB, ANM	Institucional/ inteligência setorial	Facilitar a sinalização com relação a projetos promissores para as

						diversas políticas a serem implantadas
Realizar levantamento em detalhe da produção de concentrados de columbita e tantalita no Brasil para investigar possível produção de ETR	Curto	Eixo 2	ANM	CPRM	Institucional	Finalizar levantamento e estimativa de produção de ETR que pode estar acontecendo sem controle
Realizar levantamento da indústria nacional que demanda direta ou indiretamente ETR, em especial ETRL	Curto	Eixo 5	MDIC	CNI	Institucional	Mapeamento da demanda implícita na indústria de refratários, catalisadores, entre outros.
Constituir GT-Tório com mandato para apresentar estratégia de destinação em até seis meses	Curto	Eixo 6	MME	CNEN, MRE, Fazenda	Institucional	Definir solução operacional para tório coproduto
Criar linhas de financiamento subsidiado e de subvenção econômica para desenvolvimento de rotas de processo para separação e refino de ETR, com foco em Nd, Pr, Dy e Tb	Curto	Eixo 3	MDIC/ MME	BNDES, Finep, empresas	Financeiro/ industrial	Reduzir custo de capital para empresas que aceitem o desafio de desenvolvi-mento de rota de processo de separação e refino
Promover integração e intercâmbio técnico entre centros de pesquisa com capacidade de realização de P&D e testes	Curto	Eixo 4	MCTI	Senai, IPT, CETEM, universid ades	Institucional	Aproximar ecossistema de inovação da demanda industrial

Promover intercâmbio técnico entre centros de pesquisa brasileiros e estrangeiros para nacionalizar a capacidade de realização de testes de rota de processo, tratamento de U/Th, etc	Médio	Eixo 4	MCTI	CETEM, IPT, universi-dades	Institucional	Reduzir dependência externa para realização de testes e redução do tempo para obtenção de resultados e definição de rotas de processo
Criar crédito financeiro-fiscal para P&D compensável com tributos federais	Curto	Eixo 4	Fazenda/ MCTI	ICTs, empresas	Fiscal	Acelerar domínio tecnológico nacional em rotas críticas
Redução de alíquota de CBS/IBS sobre CAPEX destinado à implantação/ ampliação de plantas de separação, refino e metalização	Curto	Eixo 3	Fazenda/ MDIC	MME	Fiscal	Reduzir custo de implantação e viabilizar verticalização
Reduzir II e IPI sobre equipamentos e insumos importados sem similar nacional	Curto	Eixo 3	Fazenda/ MDIC	MME	Fiscal	Reduzir CAPEX de elos de maior valor agregado
Estruturar mecanismo de acompanhamento estratégico de minerais críticos e estratégicos articulado à governança nacional prevista no PL 2780/2024	Curto	Eixo 6	GSI	MD	Institucional	Realizar acompanha-mento do tema sob o prisma de segurança nacional e interesse geopolítico, em articulação com a governança nacional de minerais críticos e estratégicos

Reduzir a alíquota de CBS/IBS sobre reagentes e insumos críticos de processamento e fabricação de magnetos	Curto	Eixos 3 e 5	Fazenda/ MME/ MDIC	—	Fiscal	Reduzir OPEX do midstream e do downstream
Implementar sistema integrado de compartilhamento de informações entre ANM, órgãos ambientais e demais entidades públicas, com aproveitamento de dados já disponíveis em bases oficiais	Curto	Eixo 6	ANM	MMA, Ibama, órgãos estaduais	Institucional	Reduzir retrabalho regulatório, evitar solicitações redundantes de informações aos empreendedores e acelerar a tramitação dos processos
Realizar levantamento de indústrias da Base Industrial de Defesa que demandem componentes que usem materiais derivados de ETR	Médio	Eixo 5	Seprod/ MD	Abimde	Financeiro/industrial	Realizar levantamento quantitativo de potencial demanda industrial ancorada pelas necessidades de defesa nacionais
Realizar levantamento de fornecedores nacionais com potencial de inserção na cadeia de terras raras, por categoria, capacidade produtiva e região	Médio	Eixo 4	MDIC	SEBRAE, SENAI, ABDI, associações industriais	Industrial/ desenvolvimento regional	Mapear capacidades produtivas e oportunidades de integração de fornecedores locais e regionais à cadeia de valor de ETR
Realizar levantamento de profissionais qualificados, cursos, infraestrutura laboratorial e	Médio	Eixo 4	MCTI/ MEC	SENAI, IFs, universidades, CNEN/ANSN	Capacitação científico-tecnológico	Identificar lacunas e capacidades existentes em áreas estratégicas como química,

capacidades de formação técnica relacionadas à cadeia de ETR						hidrometalurgia, geologia, metalurgia e proteção radiológica
Criar sistema de registro e averbação de *royalties*, acordos de *streaming* e acordos de *offtake* no direito minerário	Curto	Eixo 1	Fazenda	Receita Federal	Regulatório	Incentivar a utilização dos acordos de *royalties* e *streaming* como forma de financiamento à pesquisa mineral
Reduzir alíquota de IRRF sobre *royalties* pagos que foram contraídos em fase de pesquisa mineral	Curto	Eixo 1	Fazenda	Receita Federal	Fiscal	Fomentar a utilização do mecanismo como forma de financiamento privado de pesquisa mineral
Direcionar R$ 200 milhões via fundos de investimento em exploração mineral (Modelo BNDESPar) para o desenvolvimento de projetos de ETR	Médio	Eixo 2	BNDES	MME, mercado de capitais	Financeiro	Aumentar *funding* para projetos *early-stage*
Promover veículos de investimento para aquisição de cotas subordinadas de debêntures incentivadas (Portaria MME nº 120/2025 e Decreto nº 11.964/2024)	Curto	Eixo 2	BNDES/ Finep	MME, mercado de capitais	Financeiro	Ampliar *funding* privado de longo prazo
Implementar depreciação acelerada para projetos de separação e refino de óxidos, produção de ligas metálicas e ímãs	Curto	Eixo 3	Fazenda	—	Fiscal	Melhorar a competitividade dos projetos e atração de investimentos

Implantar redução de alíquota de IRPJ/CSLL em 75% para projetos de separação de óxidos, produção de ligas metálicas e imãs	Médio	Eixos 3 e 5	Fazenda	—	Fiscal	Melhorar a competitividade dos projetos e atração de investimentos
Fortalecer a coordenação entre MME, MDIC, MCTI, BNDES/Finep, ANM e órgãos ambientais	Curto	Eixo 6	MME	MDIC, MCTI, BNDES, Finep, ANM, MMA	Institucional	Integrar política mineral, industrial, tecnológica e regulatória
Iniciar programas de reciclagem de sucata industrial e fontes secundárias	Curto	Eixo 5.	MMA/ MDIC	empresas, ICTs	Fiscal/P&D	Criar base inicial de circularidade e suprimento secundário
Consolidar *hubs* regionais de processamento e inovação	Médio	Eixos 3 e 4	MME/ MDIC	estados, ICTs, empresas	Institucional/ territorial	Concentrar capacidades, reduzir dispersão e ampliar economias de escala
Regulamentar PPB escalonado por categoria de produto (óxidos → metais → ligas → magnetos)	Médio	Eixo 5	MDIC	MME, Fazenda	Regulatória/ industrial	Evitar salto incompleto de etapas e orientar verticalização
Estruturar mecanismos de garantia de preço e demanda	Médio	Eixo 5	MDIC/ BNDES	Governo Federal	Mercado	Reduzir risco de mercado e apoiar offtake
Criar condições especiais de linhas de crédito de longo prazo para projetos de separação de óxidos e produção de ligas metálicas e ímãs ancorados em contratos de *offtake*.	Médio	Eixo 5	MDIC	Defesa, energia, mobilidade, saúde	Mercado	Sustentar economicamente o downstream gradual

Integrar a cadeia a setores estratégicos prioritários	Médio	Eixo 5	MDIC	setores usuários	Institucional/ industrial	Conectar ETR à política industrial e setorial
Criar programas integrados com o MEC para formação técnica e científica	Médio	Eixo 4	MEC/ MCTI	universi-dades, institutos	Institucional/ financeiro	Formar massa crítica de recursos humanos para a cadeia
Instituir estratégia nacional de desenvolvimento tecnológico de longo prazo para ETR	Médio	Eixo 4	MCTI/ MDIC	ICTs, empresas	Institucional	Dar previsibilidade ao esforço tecnológico nacional
Avançar com a agenda de reestruturação da ANM	Curto	Eixo 6	MME	ANM, MMA, estados	Institucional	Aumentar capacidade regulatória e segurança jurídica
Instituir um programa nacional de capacitação e intercâmbio para servidores dos órgãos estaduais de licenciamento ambiental voltado à harmonização de entendimentos, à troca de experiências e ao fortalecimento de capacidades sobre a cadeia produtiva de terras raras	Médio	Eixo 6	Governo Federal	ANM, MMA, estados	Institucional	Aumentar capacidade regulatória e operacional
Criar Fundo de Fomento a Cadeia de Terras Raras (FFDTR)	Médio	4.3.2 Condições tributárias e financeiras Eixo 5	MME/ BNDES	multilate-rais, capital estrangei-ro	Financeiro	Sustentar CAPEX, *equity* e subvenções em midstream e downstream
Apoiar aquisição e internalização tecnológica por *joint ventures* e licenciamento	Médio	Eixo 4 / 4.3.2 Condições tributárias e financeiras	BNDES/ Finep	empresas, parceiros interna-cionais	Financeiro	Acelerar absorção de *know-how* crítico

Consolidar cadeia integrada mina–refino–metalurgia–magnetos–reciclagem	Longo	Integração dos Eixos 2 a 5	MME/ MDIC	MCTI, BNDES, empresas	Integrado	Construir presença nacional mais robusta em toda a cadeia prioritária
Avançar em ímãs permanentes, componentes e materiais funcionais	Longo	Eixo 5	MDIC	empresas, ICTs, setores usuários	Industrial/ tecnológico	Ampliar presença nos segmentos de maior valor agregado
Incorporar circularidade de forma estrutural	Longo	Eixo 5	MMA/ MDIC	empresas, municí-pios	Institucional/ industrial	Transformar reciclagem e fontes secundárias em componente estável do suprimento
Firmar acordos internacionais para posicionar o Brasil como parceiro confiável e competitivo em cadeias globais de maior valor agregado	Médio	Integração dos Eixos 2 a 6	MME/ MRE/ MDIC	parceiros interna-cionais, setor privado	Estratégico/ diplomático	Elevar a relevância internacional do Brasil para além do elo extrativo

Fonte: Elaboração própria

A matriz acima mostra que a implementação da ENTR não depende de uma única medida isolada, mas da coordenação entre ações regulatórias, fiscais, financeiras, industriais, tecnológicas, territoriais e de mercado. Ela também reforça que a efetividade da estratégia exigirá forte articulação entre MME, MDIC, MCTI, Fazenda, BNDES/Finep, ANM, órgãos ambientais, autoridade competente em radioatividade, estados, municípios, empresas e instituições tecnológicas, em linha com a governança já indicada no relatório. Por essa razão, as seções seguintes detalham justamente os três suportes institucionais da matriz de ações: a agenda regulatória e institucional, a agenda tributária e financeira, e os mecanismos de governança e monitoramento necessários para acompanhar sua execução.

5.3 Agenda regulatória e institucional

A implementação da ENTR exige uma agenda regulatória e institucional capaz de reduzir incertezas, coordenar competências e tornar o ambiente decisório mais previsível para projetos de mineração, processamento e transformação industrial em terras raras. O diagnóstico consolidado ao longo do relatório mostra que parte importante dos gargalos brasileiros não decorre apenas de limitações tecnológicas ou financeiras, mas da fragmentação entre licenciamento mineral, ambiental e radiológico, da coexistência de iniciativas federais e estaduais nem sempre articuladas, da ausência de solução específica para NORM e da baixa clareza sobre responsabilidades institucionais em etapas críticas da cadeia. Nesse contexto, a agenda regulatória da ENTR deve ser tratada como dimensão estruturante da política pública, tendo como prioridades:

1) **Solução regulatória específica para NORM**. O relatório identifica esse tema como uma das principais fontes de insegurança para projetos com presença de radionuclídeos naturais, especialmente em depósitos monazíticos, e já prevê, no curto prazo, a criação de um arranjo interinstitucional para seu tratamento. Também reconhece a necessidade de uma definição específica para a regulação nuclear nesse ponto, ainda pendente. Sem essa solução, parte relevante dos projetos continuará enfrentando entraves regulatórios e econômicos que reduzem sua bancabilidade e desestimulam o investimento.

2) **Coordenação entre ANM, órgãos ambientais e autoridade radiológica**, com o objetivo de superar a lógica sequencial e reativa hoje predominante. O diagnóstico do relatório é bastante claro ao apontar que, no setor mineral, a avaliação de NORM é etapa prevista nos projetos e que a classificação do nível de atividade radiológica é feita pela Autoridade Nacional de Segurança Nuclear com base na Norma CNEN NN 4.01. O problema identificado é que essa classificação preliminar utiliza informações fornecidas pelas próprias empresas, de natureza autodeclaratória, e pode levar a licenciamentos distintos entre Ibama e órgãos estaduais. Como as análises mais detalhadas pela autoridade competente tendem a ocorrer apenas em etapas posteriores, caso haja reclassificação do empreendimento para categoria mais sensível, pode surgir conflito com licenciamento já conduzido em outra esfera, gerando insegurança jurídica e favorecendo judicialização. A agenda regulatória da ENTR deve, portanto, priorizar mecanismos de coordenação precoce entre ANM, órgãos ambientais e demais stakeholders relevantes para o processo de licenciamento ambiental, além da autoridade radiológica, idealmente ainda antes do início do licenciamento ambiental propriamente dito.

3) **Harmonização entre União e estados**. O relatório registra que estados como Minas Gerais e Goiás vêm avançando rapidamente na criação de regramentos próprios e na condução do licenciamento ambiental de

projetos de ETR. Esse protagonismo subnacional é relevante, mas, quando não acompanhado por critérios claros de articulação com competências federais, pode gerar dúvidas sobre a autoridade adequada, sobre a suficiência dos procedimentos adotados e sobre a própria estabilidade jurídica dos projetos. A agenda institucional da ENTR deve enfrentar esse ponto por meio de protocolos nacionais de coordenação, definição mais clara de competências e criação de arranjos de descentralização qualificada, capazes de compatibilizar atuação federativa com segurança regulatória.

4) **Redução de conflitos e da insegurança jurídica** associados ao licenciamento e à implantação dos projetos. O conjunto de ações já presente no relatório oferece uma base importante para isso. Entre as medidas propostas estão: criar procedimento de aceleração de processos (*fast-track*) para projetos estratégicos, com critérios objetivos; definir padrões nacionais de exigências ambientais e certificação; instituir avaliação antecipada de riscos críticos – radioatividade, água e comunidades – antes do licenciamento; exigir avaliação integrada de impactos socioambientais e de serviços públicos; incorporar análise de impactos cumulativos e de empreendimentos preexistentes; e integrar bacias hidrográficas como unidade de planejamento. Essas medidas são importantes porque deslocam a regulação de uma lógica exclusivamente procedimental para uma lógica mais substantiva de qualidade regulatória, com maior capacidade de antecipar risco, harmonizar critérios e reduzir contencioso futuro. Adicionalmente, considerando os potenciais conflitos de competência entre entes federativos, a ENTR pode prever mecanismos formais de coordenação e resolução administrativa de controvérsias antes da judicialização, especialmente em temas como NORM, classificação de materiais radioativos, licenciamento de empreendimentos com impactos interestaduais, uso compartilhado de recursos hídricos e repartição de receitas associadas à atividade mineral. Nesse contexto, instâncias técnicas interinstitucionais, com participação de órgãos federais e estaduais competentes, poderiam atuar na emissão de pareceres técnicos coordenados, na harmonização de entendimentos regulatórios e na mediação de divergências administrativas, reduzindo insegurança jurídica, sobreposição de exigências e riscos de judicialização prolongada.

5) **Fortalecimento de mecanismos de consulta territorial e participação social**. O relatório já prevê mecanismos formais de consulta livre, prévia e informada. Também aparece a recomendação de incluir a sociedade civil nos planos de fechamento de minas e de criar sistemas de monitoramento contínuo de indicadores socioambientais e de saúde. A incorporação desses instrumentos à agenda regulatória e institucional é fundamental para reduzir conflitos, ampliar legitimidade e evitar que a expansão da

cadeia de ETR avance dissociada das condições territoriais e sociais dos locais onde os projetos se materializam.

6) **Fortalecimento institucional da ANM e dos órgãos ambientais**, bem como, por coerência com o diagnóstico do próprio relatório, da autoridade competente em radioatividade. O atual bloco de ações já identifica como prioridade de médio prazo o reforço institucional da ANM e dos órgãos ambientais, ao lado do fortalecimento das capacidades de estados e municípios no licenciamento. Essa frente é decisiva porque a previsibilidade regulatória não depende apenas de normas, mas da capacidade administrativa e técnica de implementá-las. No caso das terras raras, isso inclui capacidade de avaliação de projetos com presença de NORM, análise de impactos cumulativos, articulação com planejamento hídrico e territorial, fiscalização qualificada, acompanhamento do ciclo de vida das operações e gestão de processos complexos de licenciamento e fechamento de mina. Sem esse fortalecimento institucional, a estratégia corre o risco de produzir novas obrigações sem ampliar a capacidade do Estado de executá-las, causando morosidade na implantação de novos projetos.

Além dessas frentes, a agenda regulatória e institucional deve incorporar medidas mais amplas de coordenação da implementação da ENTR. O relatório propõe a criação de uma instância permanente de coordenação interministerial, liderada pelo MME, com participação de MDIC, MCTI, Fazenda, BNDES/Finep, ANM, órgãos ambientais e autoridade competente para radioatividade. Também sugere instituir cronograma nacional com metas e marcos obrigatórios, criar mecanismo de priorização de investimentos baseado em inteligência de mercado, intensificar a atração de investimentos e avançar, no médio prazo, na construção de um marco legal integrado para minerais críticos e terras raras. Esses elementos devem ser tratados como parte da agenda institucional da ENTR, pois são eles que permitem transformar recomendações setoriais em política pública coordenada.

Em síntese, a agenda regulatória e institucional da ENTR deve combinar quatro movimentos simultâneos: i) solução específica para NORM; ii) coordenação mais robusta entre ANM, órgãos ambientais e autoridade radiológica; iii) harmonização federativa e redução de zonas cinzentas de competência; e iv) fortalecimento de participação social e da capacidade institucional do Estado. Sob essa abordagem, a regulação deixa de ser percebida apenas como fonte de custo ou demora e passa a operar como infraestrutura de previsibilidade, confiança e qualidade da implementação. **É justamente essa mudança que permitirá reduzir a insegurança jurídica, melhorar a bancabilidade dos projetos e dar base institucional mais sólida ao avanço da cadeia brasileira de terras raras.**

5.4 Agenda tributária e financeira

A agenda tributária e financeira da ENTR deve ser orientada por um objetivo central: criar ambiente econômico compatível com a verticalização gradual da cadeia brasileira de terras raras. O diagnóstico do relatório mostra que a mineração, por si só, não será suficiente para reposicionar o Brasil nas cadeias globais de valor. O avanço para separação, refino, metalização, ligas, magnetos e reciclagem exige instrumentos mais sofisticados do que aqueles normalmente aplicados à mineração convencional, em razão do maior conteúdo tecnológico, da volatilidade de preços, da baixa escala inicial, da dependência de tecnologia crítica e do hiato entre prova de conceito e operação industrial. Nesse contexto, a agenda tributária e financeira deve ser desenhada para reduzir custo de capital, mitigar risco, apoiar o escalonamento tecnológico e tornar economicamente viável a transição do upstream para os elos de maior valor agregado.

A primeira frente dessa agenda é a criação de **instrumentos tributários voltados a incentivar a verticalização**. O relatório já prevê medidas como isenção temporária de tributos sobre produtos verticalizados, condicionamento de incentivos a um **Processo Produtivo Básico (PPB) escalonado por categoria de produto** – óxidos, metais, ligas e magnetos – e redução de IRPJ sobre lucro da exploração na transformação de ETR por prazo determinado, em modelo inspirado no arranjo SUDAM/SUDENE. Em conjunto, esses instrumentos têm a função de tornar mais atraente a transformação mineral doméstica do que a simples exportação de produtos menos elaborados.

A segunda frente é a **desoneração da fase de investimento** por meio da suspensão de CBS (Contribuição sobre Bens e Serviços)/IBS (Imposto sobre Bens e Serviços) sobre CAPEX – máquinas, equipamentos e serviços – destinados à implantação ou ampliação de plantas de separação, refino e metalização, com conversão em alíquota zero após o início de operação. Também se sugere a isenção de imposto de importação para máquinas e insumos e, em versão mais ampla, a redução a zero de II e IPI sobre equipamentos e insumos importados sem similar nacional, além do diferimento de tributos federais até a fase *pós-ramp-up* da planta. Esses instrumentos convergem para a mesma finalidade: reduzir a barreira de entrada nos elos intermediários e avançados da cadeia, encurtar o *payback* dos investimentos e aumentar a bancabilidade de projetos ainda em fase de implantação.

A terceira frente é a construção de **linhas de apoio específicas para midstream, metalização, ligas, magnetos e reciclagem**. O relatório já propõe expandir linhas de crédito subsidiadas para CAPEX e OPEX do downstream, com foco inicial em separação e refino, bem como apoiar financeiramente a produção de ligas e magnetos e incentivar a reciclagem de ímãs permanentes. Também se sugere a criação de um **Fundo de Fomento ao Downstream de Terras Raras (FFDTR)**,

com capacidade de financiar CAPEX, *equity* e custos radiológicos, além da possibilidade de participação estrangeira e multilateral no financiamento do downstream. Esses elementos devem compor o núcleo financeiro da ENTR, na medida em que permitem combinar crédito, participação societária, subvenção e outros instrumentos de *funding* híbrido para projetos em fases distintas de maturação.

A quarta frente é a **mitigação de risco**, sem a qual a verticalização dificilmente avançará. O relatório é explícito ao recomendar mecanismos de garantia de preço e demanda, contratos de *offtake* com setores estratégicos e possível apoio estatal em *equity* para plantas-piloto, além de linhas para empresas juniores no *early-stage* e de instrumentos voltados ao compartilhamento de risco. Sugere-se avaliar pisos de preço e contratos de *offtake* de longo prazo para setores estratégicos visando enfrentar a volatilidade característica dos minerais críticos. Também se propõe expansão de recursos não reembolsáveis e linhas de crédito para fase pré-produção, revisão das regras de garantias minerárias e criação de fundo de risco compartilhado com participação de grandes mineradoras. Em conjunto, essas medidas reconhecem que o principal problema não é apenas a falta de capital, mas a assimetria entre o perfil de risco da cadeia e os instrumentos financeiros tradicionalmente disponíveis no país.

A quinta frente é o **apoio a plantas-piloto, unidades de demonstração e lotes pré-comerciais**. O relatório trata essa agenda como condição-chave do avanço industrial, propondo financiamento de plantas-piloto e demonstradores por Finep, Embrapii e BNDES, inclusive com investimento estatal em *equity* em projetos mais críticos para o escalonamento tecnológico. Essa diretriz deve ser mantida na agenda tributária e financeira, porque o hiato entre laboratório e escala comercial é um dos principais gargalos da cadeia brasileira. Nesse ponto, a política pública precisa combinar instrumentos reembolsáveis e não reembolsáveis, além de *funding* híbrido, para permitir que rotas de separação, metalização, ligas, magnetos e reciclagem superem a etapa de demonstração e avancem para a industrialização.

A sexta frente é o desenvolvimento de **instrumentos específicos para aquisição de tecnologia estrangeira e licenciamento de patentes**. O relatório sugere isenção de IRRF sobre *royalties*, licenças e assistência técnica vinculados à internalização tecnológica, bem como apoio financeiro a *joint ventures* e à aquisição e internalização tecnológica. Propõe-se isenção do imposto de renda retido na fonte sobre remessas ao exterior relacionadas ao uso de patentes, licenças de tecnologia e assistência técnica empregadas na transformação de terras raras no Brasil, observando-se a compatibilidade com regras da Organização Mundial do Comércio (OMC) e a necessidade de análise prévia pela Câmara de Comércio Exterior, especialmente para evitar condicionamento indevido a metas de exportação. A lógica desse instrumento é clara: reduzir o

custo efetivo de acesso a tecnologias críticas de separação, metalização e transformação ainda controladas por poucos fornecedores fora da China.

Além dessas seis frentes, a agenda tributária e financeira deve incorporar medidas complementares como **depreciação superacelerada** para equipamentos críticos de separação, metalização e controle radiológico, **crédito financeiro-fiscal sobre dispêndios em P&D** compensável com tributos federais, **dedução de investimentos socioambientais acima do mínimo legal da base de cálculo da CFEM e do IRPJ**, e **debêntures incentivadas para mineração e beneficiamento**, com escopo ampliado em relação à regulamentação atual. No caso do crédito financeiro-fiscal para P&D, sugere-se a instituição de multiplicadores diferenciados para processos, produtos, separação individual Nd/Pr e Tb/Dy e gestão radiológica/NORM, além de contrapartidas obrigatórias em P&D, convênios com ICTs, alocação regional e capacitação. Esses elementos podem ser plenamente absorvidos na ENTR como parte da arquitetura de estímulo à inovação industrial.

Por fim, a agenda tributária e financeira deve ser articulada à agenda regulatória e institucional, sobretudo no que diz respeito aos custos associados a **NORM**. O relatório propõe mecanismos de compensação financeira para custos associados a NORM (como tório e urânio). Entende-se ser pertinente a oferta de crédito ou fundo específico para conformidade radiológica, como forma de reduzir o ônus regulatório sobre projetos aderentes. No entanto, reforça-se que esse instrumento só será plenamente eficaz se vier acompanhado de solução institucional clara para o tório coproduto. Isso significa que a agenda financeira não pode ser dissociada da agenda regulatória: financiamento, tributação e previsibilidade institucional precisam avançar de forma coordenada.

Em síntese, a agenda tributária e financeira da ENTR deve combinar **desoneração do investimento, apoio ao escalonamento, *funding* híbrido, mitigação de risco, estímulos à inovação e instrumentos para internalização tecnológica**, sempre com foco em tornar economicamente viável a verticalização gradual da cadeia. Mais do que um conjunto de incentivos isolados, trata-se de estruturar uma arquitetura econômica coerente com os desafios específicos das terras raras no Brasil. É essa arquitetura que permitirá reduzir a distância entre base mineral, transformação industrial e inserção estratégica em cadeias globais de maior valor agregado.

5.5 Governança e coordenação

Embora com pouco tempo de existência, a efetiva criação do CNPM, por meio do Decreto nº 11.108, de 29 de junho de 2022,[95] veio ao encontro de uma antiga

[95] http://legislacao.planalto.gov.br/legisla/legislacao.nsf/Viw_Identificacao/DEC%2011.108-2022?OpenDocument

reivindicação do setor mineral – ter uma instância decisória interministerial que pudesse estabelecer diretrizes e objetivos alinhados com toda a cúpula de governo.

O CNPM é constituído por 18 ministros de Estado, de autoridade de órgão vinculado à mineração (SGB-CPRM), além de quatro convidados (representante do governo dos estados, dos municípios, da sociedade civil e da academia), cujas representações estão vagas. Por ser composto pela alta cúpula do governo, o CNPM apenas se reúne uma vez por ano. Ele começou a funcionar em outubro de 2025, quando determinou seis resoluções (Quadro 7).

Quadro 7: Resoluções do Conselho Nacional de Política Mineral, CNPM

Resolução CNPM	Objetivo
Resolução nº 1, de 17/10/2025	Aprova o Regimento Interno do Conselho Nacional de Política Mineral – CNPM e dá outras providências.
Resolução nº 2, de 17/10/2025	Institui Grupo de Trabalho para realizar estudo sobre as taxas de fiscalização e encargos setoriais incidentes no setor mineral e sobre instrumentos de incentivo ao aproveitamento de recursos minerais.
Resolução nº 3, de 17/10/2025	Institui Grupo de Trabalho com a finalidade de analisar e elaborar propostas de políticas públicas e legislativas para o desenvolvimento da cadeia produtiva de minerais críticos e estratégicos no país.
Resolução nº 4, de 17/10/2025	Institui Grupo de Trabalho para Desenvolvimento Sustentável na Mineração.
Resolução nº 5, de 17/10/2025	Estabelece as prioridades da Política Mineral Brasileira e define as diretrizes para a elaboração dos instrumentos de planejamento de que trata o art. 3º do Decreto nº 11.108, de 29 de junho de 2022.
Resolução nº 6, de 17/10/2025	Institui Grupo de Trabalho para realizar estudo diagnóstico sobre a fiscalização das atividades de mineração no Brasil.

Fonte: MME-CNPM[96]

Destaca-se a Resolução nº 3, que cria um grupo de trabalho (GT) especialmente voltado para minerais críticos e estratégicos no Brasil. O GT é coordenado pelo MME, com a participação dos Ministérios de Ciência e Tecnologia, Fazenda, Meio Ambiente, Relações Exteriores, Casa Civil, Gabinete de Segurança, além do Ministério da Agricultura. O artigo 3 da Resolução determina a competência do GT para elaborar e implementar agenda de trabalho voltada à proposição de políticas públicas.

Assim, o CNPM tem exercido sua função executiva e delegado aos GTs a missão de realizar estudos, análises e propostas de políticas a serem referendadas, ou não, pelo Conselho. Nesses GTs, de natureza mais técnica, participam

[96] https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/conselhos-e-comites/cnpm/resolucoes-do-cnpm/2025

representantes de todos os ministérios envolvidos, o que assegura legitimidade governamental e coordenação técnica. Nesse sentido, os GTs representam uma instância relevante para debate, alinhamento institucional e formulação de propostas, embora não tenham mandato permanente para coordenar a implementação, o monitoramento e a execução continuada das políticas associadas à ENTR. O CNPM, por ser uma instância de alto nível muito mais voltada à definição de diretrizes estratégicas, dificilmente exercerá esse papel operacional de acompanhamento contínuo. O Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME), que, em tese, poderia assumir esse papel, foi criado especificamente para apoiar processos relacionados ao licenciamento ambiental de projetos minerários considerados estratégicos, com escopo mais restrito e foco setorial específico. Além disso, desde 2023, não mais se reúne; com a nova política do licenciamento ambiental, esse Cômite ficou defasado. O Projeto de Lei nº 2780/2024, em tramitação, prevê a criação do Conselho Nacional para Industrialização de Minerais Críticos e Estratégicos (CIMCE), com competências relacionadas à priorização, acompanhamento e articulação institucional de projetos considerados estratégicos.

Tem sido praticamente unânime, entre os mais de 40 diferentes representantes de grupos de interesse entrevistados, que o sucesso da ENTR vai depender de um sistema de governança efetivo, com uma coordenação eficiente e capacidade de acompanhar metas, articular instituições e promover alinhamento entre diferentes instrumentos e parceiros envolvidos na implementação da estratégia. Nesse contexto, o presente estudo não propõe necessariamente a criação de uma nova estrutura deliberativa autônoma, mas sim o fortalecimento de uma instância técnica e executiva de coordenação permanente, capaz de apoiar a operacionalização da ENTR de forma integrada e contínua, em articulação com as estruturas já existentes e com os instrumentos previstos no PL 2780/2024.

O CNPM terá um papel decisivo na ENTR, porém é preciso que as ações e metas propostas sejam implementadas e monitoradas na prática. A proposta de uma Câmara Técnica, ou instância equivalente, capaz de se apropriar da experiência acumulada pelos GTs já existentes, cumpre esse papel ao exercer funções permanentes de coordenação, monitoramento e articulação interinstitucional. Essa instância também poderá contribuir para institucionalizar mecanismos contínuos de participação e acompanhamento da estratégia, incorporando representantes da sociedade civil, empresas, comunidade científica, governos subnacionais e setores usuários, ampliando a capilaridade das ações, a legitimidade territorial e a previsibilidade da implementação.

Assim, a implementação da ENTR exigirá uma arquitetura de governança capaz de articular, de forma contínua, os diferentes instrumentos, instituições e escalas de decisão envolvidos no desenvolvimento da cadeia brasileira de terras raras. O diagnóstico consolidado no relatório mostra que a efetividade da estratégia dependerá menos da existência de iniciativas isoladas e mais da capacidade de

coordenar, em torno de objetivos comuns, os seis eixos estratégicos da ENTR: conhecimento geológico e inteligência setorial; upstream competitivo, confiável e sustentável; midstream seletivo como núcleo da estratégia; tecnologias críticas, inovação e escalonamento industrial; downstream gradual, setores-âncora e circularidade; e governança, sustentabilidade e desenvolvimento territorial. Nesse contexto, a governança deve ser concebida como mecanismo permanente de coordenação política, articulação executiva, acompanhamento da implementação e ajuste da estratégia ao longo do tempo.

O relatório recomenda que a ENTR seja implementada por meio de uma **instância permanente de coordenação interministerial**, liderada pelo Ministério de Minas e Energia. Essa instância deve se apropriar da base já criada pelos GTs ao reunir MDIC, MCTI, Ministério da Fazenda, BNDES/Finep, ANM, órgãos ambientais e incluir a autoridade competente para radioatividade, com a atribuição de coordenar os eixos da estratégia, monitorar indicadores, acompanhar o plano de ação e propor ajustes periódicos. Recomenda-se ainda que essa estrutura incorpore mecanismos permanentes de participação multissetorial, incluindo consultas temáticas, oficinas territoriais e processos periódicos de revisão e acompanhamento da estratégia, assegurando transparência, legitimidade e capacidade adaptativa ao longo do tempo. Trata-se da plataforma responsável por alinhar prioridades, reduzir fragmentação, acompanhar a execução das ações e assegurar coerência entre política mineral, política industrial, inovação, financiamento, licenciamento e desenvolvimento territorial.

Para acompanhar se a coordenação está evoluindo positivamente ao longo do tempo, é importante que, desde o seu início, sejam considerados indicadores de coordenação específicos, como, por exemplo: monitorar a frequência com que os ministérios relevantes se reúnem para discutir questões relacionadas a ENTR e temas afins, como eletrificação de veículos, energias renováveis, digitalização da indústria, defesa etc.; acompanhar se as decisões conjuntas estão sendo tomadas; acompanhar o estágio de execução das ações propostas (painel de bordo); e monitorar a existência de gargalos que estão impedindo o avanço das metas da ETN, entre outras.

Nesse arranjo, o **MME** deve exercer a coordenação política da estratégia. Essa função decorre de sua posição na condução da política mineral e da centralidade do ministério na agenda de minerais estratégicos. Cabe ao MME assegurar a coerência geral da ENTR, liderar a articulação entre os órgãos federais, acompanhar a evolução dos projetos prioritários e garantir que a estratégia permaneça orientada pela combinação entre segurança de suprimento, agregação de valor, sustentabilidade e interesse nacional. Na prática, o MME deve atuar como eixo político-organizador da ENTR, responsável por manter integrados os diferentes instrumentos mobilizados pela estratégia.

O **MDIC** deve liderar a interface da ENTR com a política industrial e com os setores usuários. A estratégia precisa conectar a cadeia de ETR à mobilidade elétrica, energia renovável, automação, saúde e defesa, além de utilizar a demanda industrial e compras estratégicas como mecanismos de formação de mercado. Nesse contexto, cabe ao MDIC assegurar que os instrumentos de neoindustrialização, de apoio à transformação mineral e de estímulo a setores-âncora sejam articulados às prioridades da ENTR, especialmente no avanço do midstream seletivo, do downstream gradual e da circularidade. O papel do MDIC é, portanto, transformar a estratégia de terras raras em agenda efetiva de política industrial.

O **MCTI**, a **Finep**, o **CNPq** e os **institutos de ciência e tecnologia** devem responder pelo eixo de inovação, pesquisa aplicada e escalonamento tecnológico. Esse conjunto institucional é responsável por apoiar a formação de capacidades tecnológicas críticas, a implantação de plantas-piloto e demonstradores, o desenvolvimento de rotas de separação, metalização, ligas, magnetos e reciclagem, bem como atuar no apoio à formação de recursos humanos especializados. Na governança da ENTR, isso significa que esses atores devem operar como núcleo técnico-científico da estratégia, articulando prioridades de P&D, chamadas orientadas por missão, infraestrutura de teste e demonstração e mecanismos de aproximação entre ICTs e empresas.

O **BNDES** e os demais financiadores públicos devem ocupar posição central na estruturação do financiamento da ENTR e dos instrumentos de mitigação de risco. Os agentes financeiros têm papel importante na criação de instrumentos de *de-risking*, no apoio a plantas-piloto e unidades de demonstração, no financiamento de CAPEX e OPEX para midstream e downstream e na construção de *funding* híbrido para verticalização. Na governança da estratégia, isso significa que BNDES, Finep e demais financiadores devem operar em coordenação com MME, MDIC e Ministério da Fazenda, de modo a estruturar instrumentos compatíveis com os diferentes estágios da cadeia, reduzindo o hiato entre mineração, transformação industrial e consolidação de novos segmentos produtivos.

A **ANM**, os **órgãos ambientais** e a **autoridade competente em radioatividade** devem compor o núcleo regulatório da ENTR. A atual fragmentação entre licenciamento mineral, ambiental e radiológico é uma das principais fontes de insegurança institucional para a cadeia, especialmente em projetos com presença de NORM. Por isso, a governança da estratégia deve prever coordenação estreita entre essas instituições, de forma a reduzir conflitos de competência, e ineficiências procedimentais, bem como harmonizar e simplificar procedimentos e apoiar a implementação da agenda regulatória e institucional já detalhada na seção anterior. O reforço institucional da ANM e dos órgãos ambientais, previsto

entre as ações e diretrizes do relatório, deve ser entendido como parte integrante dessa governança.

Os **estados e municípios** com projetos relevantes devem integrar a governança federativa da cadeia. Entende-se ser relevante a criação de mecanismos específicos de articulação federativa e territorial, sobretudo em territórios com maior concentração de projetos. Essa participação é essencial porque os efeitos concretos da ENTR se materializam no território: licenciamento, infraestrutura, uso da água, relação com comunidades, desenvolvimento de fornecedores, uso da CFEM e planejamento de diversificação econômica local. A governança da ENTR, portanto, não pode ser exclusivamente federal. Ela deve criar canais estáveis de articulação com governos subnacionais, de forma a alinhar prioridades nacionais com capacidades e desafios territoriais.

Em apoio à instância interministerial, o relatório recomenda ainda a criação de uma **Câmara Técnica especializada de caráter consultivo**, com participação de setor produtivo, centros de pesquisa, financiadores, sociedade civil e entes subnacionais. Essa câmara deve funcionar como espaço de diálogo qualificado, produção de subsídios técnicos e acompanhamento dos desafios emergentes da cadeia. Ela funcionará também como mecanismo complementar da governança, permitindo incorporar conhecimento técnico, visão territorial e diálogo ampliado sem substituir a coordenação decisória do núcleo interministerial. Trata-se de instrumento importante para reduzir assimetrias de informação, ampliar legitimidade e apoiar revisões periódicas da estratégia.

Em termos operacionais, a governança da ENTR deve cumprir pelo menos cinco funções. A primeira é a **coordenação estratégica**, assegurando alinhamento entre os seis eixos da estratégia. A segunda é a **coordenação executiva**, acompanhando o plano de ação, os cronogramas e a mobilização dos instrumentos regulatórios, financeiros e industriais. A terceira é a **coordenação regulatória**, articulando ANM, órgãos ambientais e autoridade competente em radioatividade. A quarta é a **coordenação federativa e territorial**, integrando estados e municípios relevantes à implementação da estratégia. A quinta é a **coordenação consultiva e técnico-social**, por meio da Câmara Técnica, garantindo produção de subsídios, diálogo com atores relevantes e monitoramento de desafios emergentes. Essa divisão funcional ajuda a evitar sobreposição entre instâncias e torna mais clara a arquitetura de implementação da ENTR.

Em síntese, a governança da ENTR deve combinar liderança política centralizada, coordenação interministerial permanente, núcleo regulatório integrado, eixo tecnológico estruturado, financiamento, coordenação e governança federativa e territorial ativa. Essa arquitetura é necessária para transformar a ENTR em política de Estado orientada à construção progressiva de capacidades ao longo da cadeia.

Sem esse arranjo, a estratégia tende a reproduzir a fragmentação já identificada no diagnóstico. Com ele, aumenta-se a capacidade do Brasil de articular mineração, processamento, inovação, financiamento e desenvolvimento territorial em uma trajetória mais coerente, gradual e sustentável.

Quadro 8. Arquitetura de governança e coordenação da ENTR

Núcleo de governança	Papel principal
MME	Coordenação política da ENTR e articulação geral da estratégia
MDIC	Conexão com política industrial, setores usuários e formação de mercado
MCTI/Finep/CNPq/ICTs	Inovação, P&D aplicada, escalonamento tecnológico e formação de recursos humanos
BNDES e financiadores públicos	*Funding*, *de-risking*, demonstradores e apoio à verticalização
ANM/órgãos ambientais/ autoridade competente em radioatividade	Coordenação regulatória, licenciamento, fiscalização e segurança institucional
Estados e municípios	Governança federativa, territorial, desenvolvimento local e articulação com uso da CFEM
Câmara Técnica consultiva	Subsídios técnicos, diálogo ampliado e acompanhamento de desafios emergentes

Fonte: Elaboração própria com base no relatório final.

5.6 Monitoramento e indicadores

A implementação da ENTR deve ser acompanhada por um sistema de monitoramento capaz de medir, de forma periódica e comparável, não apenas a evolução da produção mineral, mas também o avanço industrial, tecnológico, territorial e socioambiental da cadeia brasileira de terras raras. O próprio relatório já estabelece que a estratégia deve ser monitorada por meio de indicadores claros e revisados periodicamente, o que é coerente com a natureza gradual, seletiva e coordenada da ENTR. Em vez de acompanhar apenas a expansão do upstream, o monitoramento precisa captar se a base mineral está sendo efetivamente convertida em capacidade produtiva, tecnológica e institucional ao longo dos elos prioritários da cadeia.

Nessa perspectiva, o primeiro conjunto de indicadores deve acompanhar a evolução da base produtiva mineral e industrial. Isso inclui o **número de projetos em operação e em desenvolvimento**, a **capacidade instalada de separação e refino** e a **produção de metais, ligas e magnetos**. Esses indicadores são importantes porque permitem avaliar se a ENTR está conseguindo transformar *pipeline* mineral em capacidade operacional e, sobretudo, se o país está avançando dos elos extrativos para os segmentos intermediários e industriais da cadeia.

Um segundo conjunto de indicadores deve captar o progresso no eixo de inovação, escalonamento tecnológico e financiamento. Sugerem-se indicadores de acompanhamento de **dispêndios em P&D** e do **número de demonstradores tecnológicos**, bem como do **volume de investimentos atraídos** e do **número de projetos apoiados por instrumentos de mitigação de risco**. Esses indicadores são especialmente relevantes porque permitem medir se a estratégia está conseguindo reduzir o hiato entre pesquisa, piloto, demonstração e escala industrial, ao mesmo tempo em que verifica a efetividade da agenda tributária e financeira na atração de capital e no apoio ao adensamento da cadeia.

Um terceiro conjunto de indicadores deve acompanhar os avanços na agenda regulatória e institucional. O relatório já destaca, entre os indicadores recomendados, os **projetos com solução regulatória para NORM**, o que é plenamente consistente com a centralidade desse tema para a implementação da estratégia. O acompanhamento desse indicador permitirá verificar se a ENTR está conseguindo enfrentar um dos principais gargalos regulatórios da cadeia, reduzindo insegurança jurídica, aumentando previsibilidade e criando condições mais favoráveis para projetos com presença de radionuclídeos naturais.

Um quarto conjunto de indicadores deve acompanhar a incorporação progressiva da circularidade e do suprimento secundário. Recomenda-se monitorar a **participação de fontes secundárias e reciclagem**, o que permite verificar se a estratégia está conseguindo integrar sucata industrial, resíduos minerais, reaproveitamento de materiais e reciclagem de forma crescente à arquitetura da cadeia nacional. Esse acompanhamento é importante porque a circularidade, no desenho da ENTR, não aparece como frente acessória, mas como componente progressivamente estruturante da competitividade, da segurança de suprimento e da sustentabilidade da cadeia.

Por fim, o sistema de monitoramento da ENTR deve incluir indicadores **socioambientais e territoriais**, bem como indicadores associados ao **uso da CFEM** e às **estratégias de diversificação econômica local**. Essa base é particularmente importante porque reforça que o sucesso da ENTR não deve ser medido apenas por toneladas produzidas ou investimentos atraídos, mas

também pela capacidade de a cadeia gerar benefícios territoriais mais robustos, reduzir conflitos e ampliar sua legitimidade social ao longo do tempo.

Em termos de governança do monitoramento, recomenda-se que a instância permanente de coordenação interministerial da ENTR seja responsável por acompanhar indicadores, o que reforça a necessidade de tratar o sistema de monitoramento como parte da implementação e não como etapa posterior ou acessória. Sob essa lógica, os indicadores devem servir não apenas à prestação de contas, mas ao ajuste periódico da estratégia, permitindo identificar gargalos persistentes, recalibrar instrumentos e priorizar ações conforme a evolução da cadeia. O monitoramento deve funcionar como mecanismo de aprendizado estratégico da ENTR.

Quadro 9. Indicadores prioritários de monitoramento da ENTR

Dimensão	Indicadores prioritários
Produção mineral e *pipeline*	Número de projetos em operação e em desenvolvimento
Midstream e capacidade industrial	Capacidade instalada de separação/refino; produção de metais, ligas e magnetos
Inovação e escalonamento	Dispêndios em P&D; número de demonstradores tecnológicos
Financiamento e atração de capital	Volume de investimentos atraídos; número de projetos apoiados por instrumentos de mitigação de risco
Regulação e previsibilidade	Projetos com solução regulatória para NORM
Circularidade	Participação de fontes secundárias e reciclagem
Território e socioambiental	Indicadores socioambientais e territoriais
Desenvolvimento local	Uso da CFEM e estratégias de diversificação econômica local

Fonte: Elaboração própria

5.7 Conclusão executiva

A Estratégia Nacional de Terras Raras deve partir de um diagnóstico realista. O Brasil possui **base geológica expressiva**, ***pipeline* crescente de projetos**, **capacidades científicas relevantes** e uma **janela internacional favorável** em um contexto de reconfiguração das cadeias globais de valor. Esses atributos colocam o país em posição singular para ampliar sua relevância estratégica no setor e atuar como fornecedor competitivo e parceiro confiável em cadeias em transformação.

Ao mesmo tempo, o ponto central do relatório é que a questão decisiva para o Brasil não está apenas em ampliar a produção mineral, mas em **converter potencial mineral em capacidade nacional**. O diagnóstico mostra que a cadeia brasileira ainda apresenta baixa densidade industrial e forte dependência externa nos elos mais sofisticados, especialmente no midstream e no downstream. Por isso, a ENTR não deve se limitar à expansão do upstream, nem tampouco se apoiar em promessas de industrialização completa e imediata. O caminho apontado pelo próprio relatório é outro: construir, de forma progressiva, capacidades em processamento, transformação mineral, inovação, circularidade, coordenação institucional e desenvolvimento territorial.

Nessa perspectiva, a ENTR deve ser implementada como estratégia **gradual, seletiva, coordenada e territorialmente legítima**. Gradual, porque a cadeia brasileira não avançará de forma homogênea em todos os elos e exige escalonamento compatível com a maturidade atual do setor. Seletiva, porque o país precisará concentrar recursos e esforços nos segmentos de maior aderência à sua base mineral, às suas competências e aos seus mercados potenciais. Coordenada, porque a efetividade da estratégia dependerá da articulação entre mineração, indústria, ciência e tecnologia, financiamento, regulação e desenvolvimento territorial. E territorialmente legítima, porque a expansão da cadeia só será sustentável se vier acompanhada de governança adequada, previsibilidade regulatória, monitoramento socioambiental e distribuição mais robusta de benefícios nos territórios mineradores.

A transformação da vantagem geológica em capacidade nacional exigirá não apenas projetos, mas uma arquitetura coerente de regulação, financiamento, mitigação de risco, internalização tecnológica e previsibilidade institucional. Em última instância, o sucesso da ENTR dependerá da capacidade do Brasil de usar sua base mineral como plataforma para construir, ao longo do tempo, maior densidade produtiva, tecnológica e territorial na cadeia de terras raras.

Em síntese, o relatório aponta uma direção estratégica clara: o Brasil não deve escolher entre ser apenas exportador de recursos minerais ou buscar, de forma pouco realista, replicar integralmente as cadeias hoje dominadas por outros atores. A trajetória mais robusta é aquela que combina seletividade, gradualismo, coordenação institucional, apoio ao adensamento produtivo e compromisso com a legitimidade territorial. É essa trajetória que dá sentido à ENTR e que pode permitir ao país transformar sua dotação geológica em capacidade nacional efetiva, com maior relevância econômica, tecnológica e estratégica ao longo da cadeia de valor das terras raras.

5.8 Temas para aprofundamento e futuras etapas de implementação

Embora o presente estudo tenha buscado estruturar diretrizes abrangentes para a Estratégia Nacional de Terras Raras (ENTR), alguns temas demandam aprofundamentos adicionais em estudos complementares e futuras etapas de implementação. Entre eles, destacam-se:

- detalhamento do funcionamento das instâncias e estimativas dos custos operacionais e institucionais associados à governança da ENTR – incluindo estruturas de coordenação, sistemas de monitoramento, capacitação técnica, produção de estudos estratégicos e fortalecimento institucional de órgãos públicos – bem como possíveis fontes de financiamento para sustentar essas capacidades;
- estudos quantitativos sobre a contribuição potencial da cadeia brasileira de terras raras para metas climáticas e industriais, incluindo estimativas de emissões evitadas associadas ao processamento e à fabricação de materiais magnéticos no Brasil, considerando a matriz elétrica brasileira majoritariamente renovável;
- análises territoriais em escala regional e municipal e avaliação de modelos de hubs industriais compartilhados para processamento e separação de ETR, considerando capacidades logísticas, industriais, energéticas, tecnológicas e socioambientais;
- análises em escala regional (começando por América Latina) da demanda por ETR e por ímãs permanentes, da oferta possível de sucata e produtos para reciclagem em escala, bem como análises comparativas sobre mercado de trabalho e vantagens competitivas do Brasil;
- realização de estudos técnico-econômicos específicos para projetos representativos do segmento de separação de terras raras no Brasil, incluindo análises de sensibilidade sobre variáveis críticas;
- elaboração de uma matriz nacional de avaliação e priorização de projetos e capacidades da cadeia de ETR, com critérios transparentes e revisáveis aplicáveis aos diferentes elos da cadeia.

ANEXOS

Anexo I: Lista de *stakeholders* consultados

Ator	Setor	Modalidade de consulta		
		Entrevista	*Workshops*	Visita de campo
ATORES NACIONAIS				
Câmara dos Deputados (Gabinete do Deputado Arnaldo Jardim)	Governo/regulador	x		
Senado Federal	Governo/regulador			x
Ministério de Minas e Energia	Governo/regulador	x	x	
Ministério da Defesa	Governo/regulador		x	
Agência Nacional de Mineração	Governo/regulador	x	x	
Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)			x	
Gabinete de Segurança Institucional	Governo/regulador	x		
Ministério da Defesa/Secretaria de Produtos de Defesa	Governo/regulador	x		
Autoridade Nacional de Segurança Nuclear	Governo/regulador	x	x	
Governo de Minas Gerais Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE/MG)	Governo/regulador	x	x	
Governo de Goiás Secretaria de Indústria Comércio e Serviços (SIC/GO)	Governo/regulador	x	x	
Prefeitura de Minaçu (GO)	Governo/regulador	x		x
Poços de Caldas (MG) – Secretaria Municipal de Meio Ambiente	Governo/regulador	x		x
Ibama	Governo/regulador	x		
Empresa de Pesquisa Energética	Governo/regulador	x	x	
Aliança em prol da APA da Pedra Branca	Associações/sociedade civil	x	x	
Instituto Clima e Sociedade	Associações/sociedade civil		x	
Instituto de Estudos Socioeconômicos	Associações/sociedade civil		x	
Terra Viva Água Rara	Associações/sociedade civil		x	
Centro Brasil no Clima	Associações/sociedade civil		x	

Instituto E+ Transição Energética	Associações/sociedade civil		X	
Instituto Socioambiental	Associações/sociedade civil		X	
Invest Minas	Investidores/financiadores	X		X
Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM)	Associações/sociedade civil	X	X	
Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)	Associações/sociedade civil		X	
Sindicato da Indústria da Mineração do Estado de Goiás e Distrito Federal	Associações/sociedade civil	X	X	
Associação de Minerais Críticos (AMC)	Associações/sociedade civil	x	X	
Agência Infra	Associações/sociedade civil		X	
Observatório da Mineração	Associações/sociedade civil		X	
MAM – Movimento pela Soberania popular na Mineração	Associações/sociedade civil	X	X	
Instituto Nacional de Terras Raras,	Associações/sociedade civil		X	
ADIMB	Associações/sociedade civil	X	X	
Universidade de São Paulo (USP)	Academia/centros tecnológicos		X	
SGB - Serviço Geológico do Brasil	Academia/centros tecnológicos	X	X	
Centro Universitário Alves Faria	Academia/centros tecnológicos		X	
Fundação Getúlio Vargas (FGV)	Academia/centros tecnológicos		X	
CETEM	Academia/centros tecnológicos	X	X	
SENAI – Lagoa Santa (MG)	Academia/centros tecnológicos	X	X	X
Universidade Federal de Juiz de Fora	Academia/centros tecnológicos		X	
Universidade Federal do Rio de Janeiro	Academia/centros tecnológicos		X	
IPT-SP	Academia/centros tecnológicos	X	X	
Universidade Federal de Minas Gerais	Academia/centros tecnológicos	X	X	X
FINEP	Academia/centros tecnológicos	X		
AMAZUL	Indústria usuária	X	X	

New wave	Indústria usuária	X		
Bamburra Planejamento Estratégico e Economia Mineral	Setor privado		X	
BMJ Consultores	Setor privado		X	
BMA Advogados	Setor privado		X	
Teiú Energia	Setor privado			
Aclara	Mineradoras e processadoras	X		
Viridis	Mineradoras e processadoras			X
Brazilian Rare Earths	Mineradoras e processadoras	X		
Rare Earths Americas	Mineradoras e processadoras		X	
Serra Verde	Mineradoras e processadoras	X	X	X
St. George Mining	Mineradoras e processadoras	X		
CBMM	Mineradoras e processadoras	X	X	
Meteoric Resources NL (MG)	Mineradoras e processadoras	X		X
ATORES INTERNACIONAIS				
Australian Embassy in Brazil	Governo/regulador	X		
Embassy of Brazil in Kuala Lumpur	Governo/regulador	X		
Embassy of Brazil to China	Governo/regulador	X		
British Consulate-General	Governo/regulador	X	X	
Delegation of the European Union to Brazil – EEAS	Governo/regulador	X		
International Council on Mining and Metals (ICMM)	Associações/sociedade civil	X		
Mining Association of Canada	Associações/sociedade civil	X		
Columbia University	Academia/centros tecnológicos	X		
Carester	Mineradoras e processadoras	X		
International Energy Agency (IEA)	Multilateral	X		
World Economic Forum (WEF)	Multilateral	X		
OCDE	Multilateral	X		

Anexo II: Metodologia

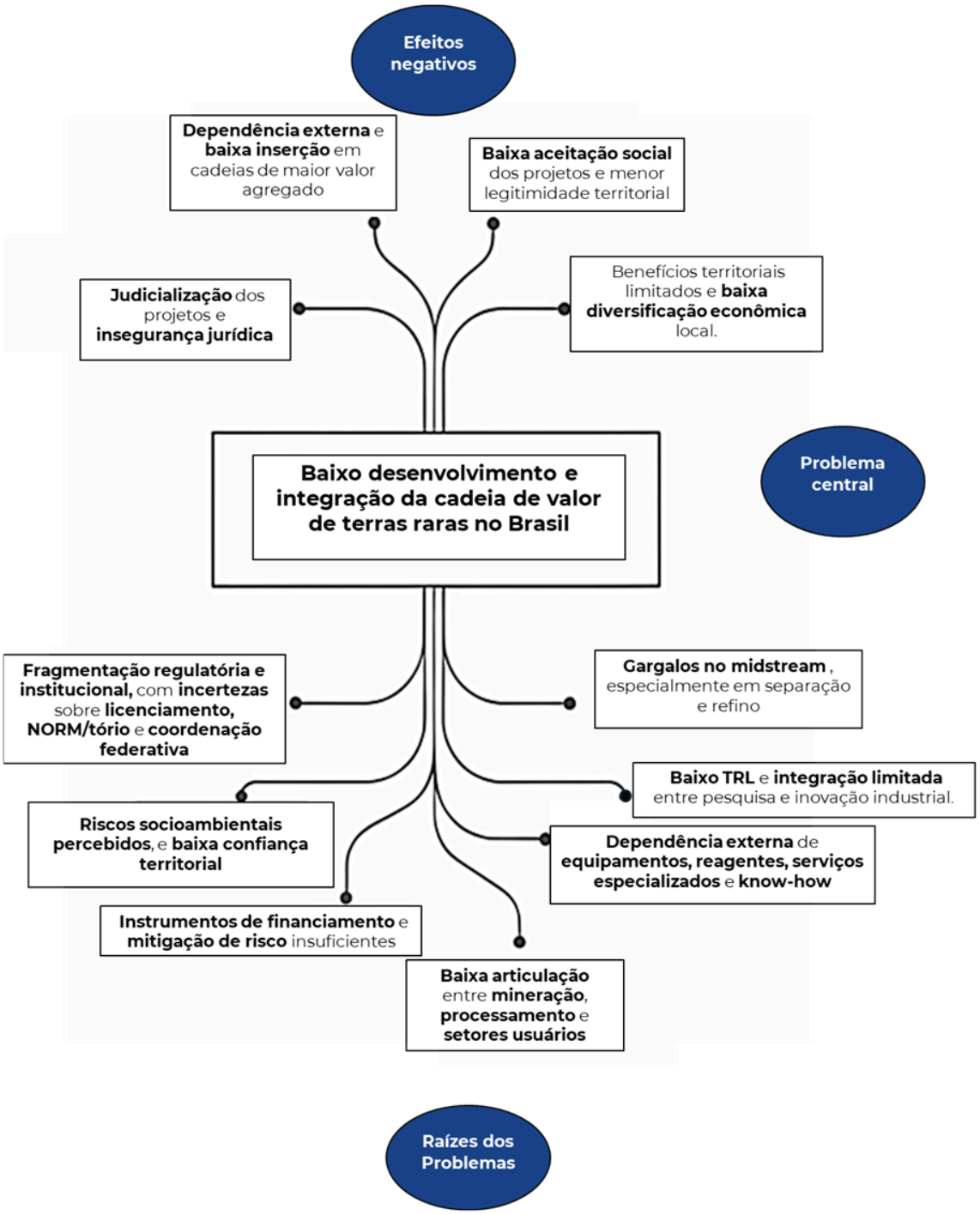
A análise da árvore de problemas contribui para a formulação de soluções para problemas complexos. Tal diagrama apresenta uma hierarquia lógica, facilitando a análise de cenários, na qual é possível: (i) identificar o problema central (simbolizado pelo tronco da árvore); (ii) avaliar as causas ou raízes do problema; (iii) avaliar os efeitos provocados por esses problemas (representados pelos galhos)[97] e, por fim, (iii) desenvolver soluções, estratégias e objetivos direcionados a solucioná-lo, estruturando uma árvore de soluções.[98]

A primeira etapa da elaboração de uma árvore de problemas consiste na definição de um problema central específico (AusAID, 2003). O problema central definido para a análise deste projeto é o **baixo desenvolvimento e integração da cadeia de valor de terras raras no Brasil**.

A partir disso, foram identificadas, na literatura, nas entrevistas e nas visitas de campo, as principais causas do problema central, representadas como raízes e seus efeitos ou impactos representados como galhos na árvore de problemas. A árvore de problemas inteira é representada através de um sistema de caixas interligadas por linhas ou setas, conforme ilustrado na Figura abaixo:

[97] https://www.ircwash.org/sites/default/files/Mahanty-2004-Collaborating.pdf
[98] Também pode ser conhecida como árvore de objetivos.

Figura 19. Árvore de problemas

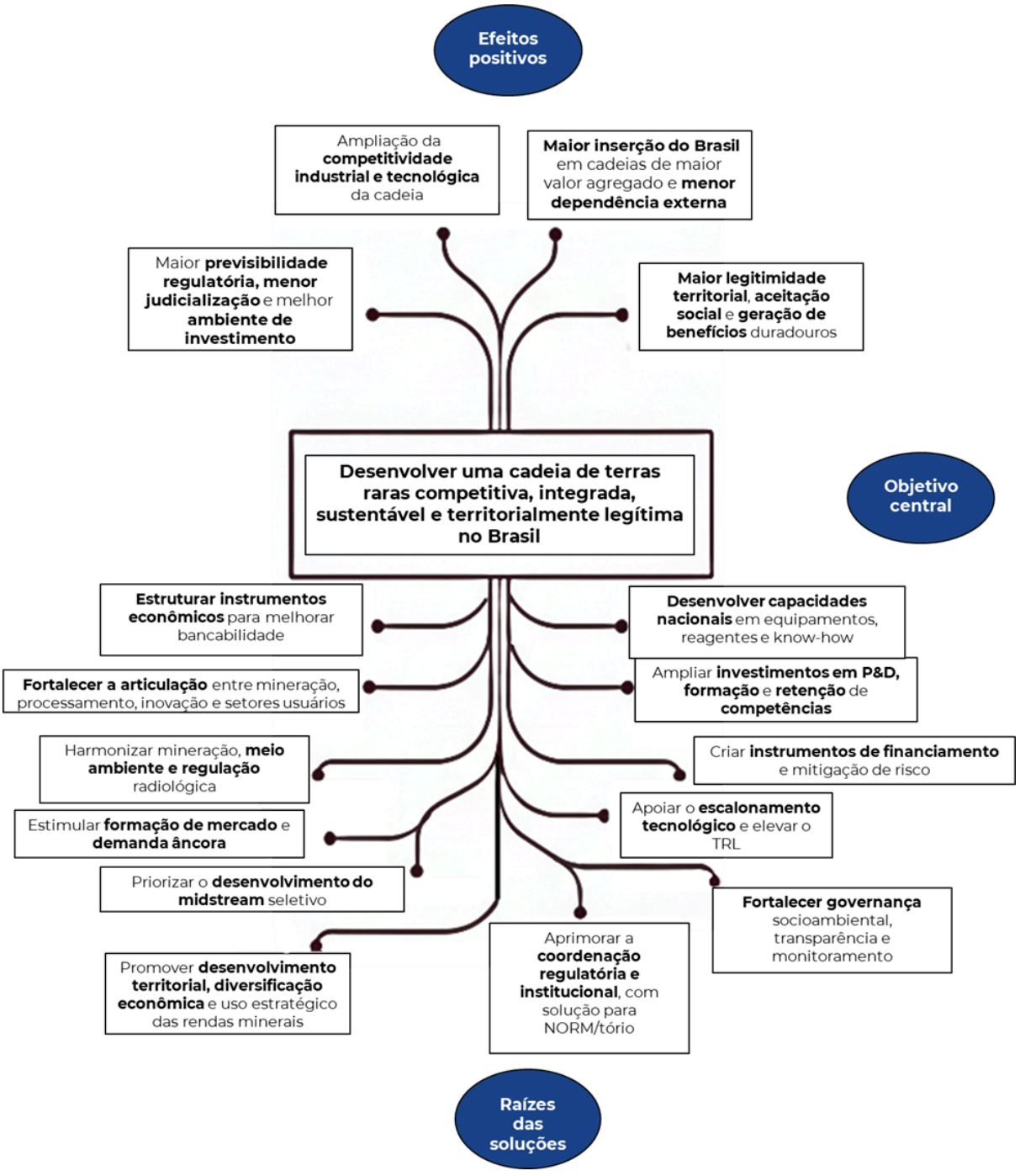


Fonte: elaboração própria

A etapa de elaboração da árvore de problemas e soluções também incluiu a consulta aos planos estratégicos e políticas nacionais de mineração dos países analisados, além de dados corporativos extraídos de sites institucionais e relatórios empresariais. Paralelamente, os objetivos e eixos para o setor de ETR são

detalhados através de uma árvore voltada apenas para as soluções. A Figura abaixo representa a síntese desses resultados: a base da árvore consiste nas "raízes das soluções", enquanto o tronco significa o objetivo central a ser alcançado e os galhos ilustram os impactos positivos da resolução dos problemas identificados:

Figura 20. Árvore de soluções

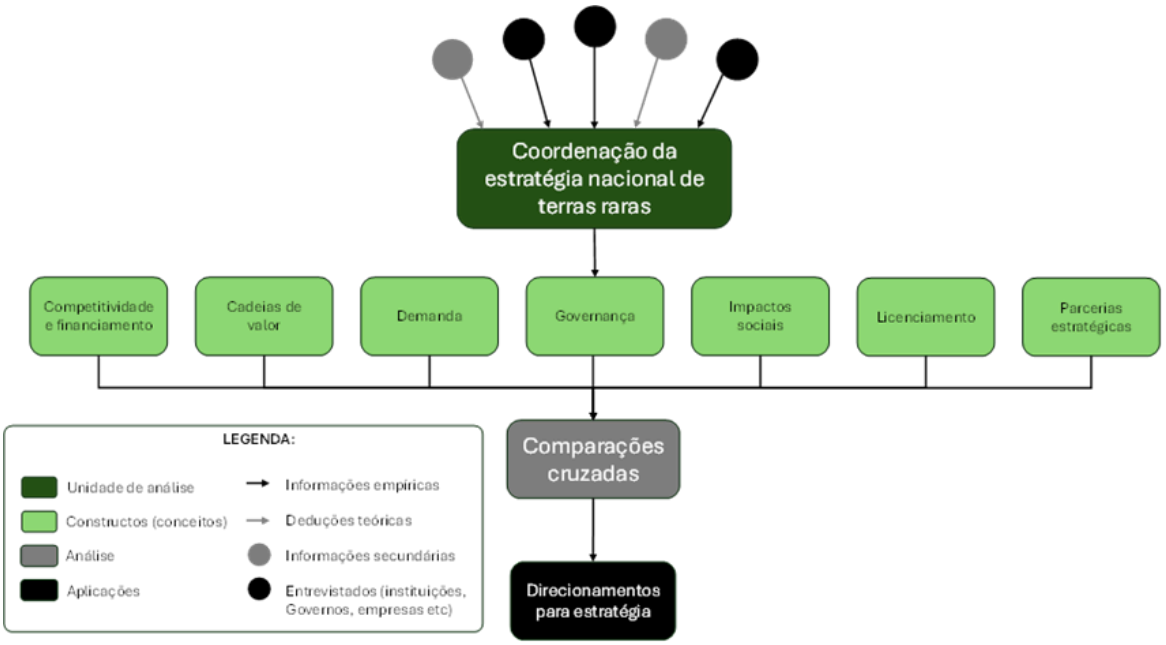


Fonte: elaboração própria

Após discussões internas, *workshops*, entrevistas e trocas realizadas entre os *stakeholders*, a análise objetivou apresentar soluções na forma de recomendações para a ENTR.

A figura abaixo sintetiza o percurso metodológico para identificação do tipo de pesquisa[99] da unidade de análise,[100] obtenção de material primário e secundário de análise e seus critérios de seleção[101] dos entrevistados, conceitos abordados e formas de comparação dos achados (Anexo III):

Figura 21. Esquema para amarração do percurso metodológico e seleção de entrevistados



Fonte: elaboração própria

A consulta aos *stakeholders*, de modo geral, permitiu validar os resultados identificados na literatura. Ao longo do estudo, essa etapa foi dividida em modalidades diferentes, incluindo entrevistas individuais, visitas de campo e a realização de *workshops*. Entrevistas foram realizadas com todos os atores listados acima a partir de roteiros personalizados e semiestruturados. As visitas de campo aconteceram na segunda semana de março (09 a 12/03), nos seguintes

[99] Yin, R. K. (2001). Estudo de Caso: Planejamento e casos. In Bookman. Le Livro.
[100] Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. Journal of Business Research, 104(July), 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039
[101] Luna Filho, B. (1998). Sequência Básica na Elaboração de Protocolos de Pesquisa. Arquivos Brasileiros de Cardiologia, 71(6), 735–740.

municípios: Minaçu (GO), Belo Horizonte (MG) e Poços de Caldas (MG). Além disso, ocorreram visitas aos seguintes atores: InvestMinas, Meteoric, Prefeitura de Minaçu (GO), Secretaria de Desenvolvimento Econômico de Poços de Caldas (MG), SENAI, Serra Verde, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Viridis.

Um *workshop* online de 2h com as principais organizações da sociedade civil envolvidas nos temas de mineração, realizado no dia 07/04, funcionou como uma consulta pública para consolidar as impressões do terceiro setor e garantir que as suas preocupações sejam levadas em consideração. As discussões foram guiadas sobre 3 temas principais: preocupações com riscos socioambientais, condições habilitadoras para uma mineração responsável e participação social ao longo da cadeia.

Um *workshop* multissetorial virtual de 2h foi organizado com todas as partes interessadas mapeadas para o Brasil, totalizando cerca de 60 *stakeholders*, realizado na segunda quinzena de abril. No evento, foram apresentados o diagnóstico, as hipóteses levantadas para a árvore de soluções, as principais recomendações e a estrutura preliminar da ENTR. O objetivo foi coletar *feedbacks* de forma organizada e colaborativa, usando metodologias participativas como o World Café e Miro. Os participantes foram divididos em 3 grupos por afinidade com os seguintes temas: mapeamento geológico, upstream e licenciamento; processamento, P&D e cadeia industrial; governança e responsabilidade socioambiental.

Anexo III - Recomendações com práticas para impacto positivo

As recomendações a seguir foram desenvolvidas com base no diagrama de Ishigawa, que ilustra e sintetiza o que já foi apresentado em termos das lacunas e das melhores práticas de políticas para dar maior robustez à ENTR. O diagrama busca estabelecer uma relação de causalidade entre a variável dependente – a Estratégia Nacional de Terras Raras – e as dimensões e variáveis que são determinantes para o sucesso, ou não, dessa estratégia. Como dimensões relevantes destacam-se: meio ambiente, sociedade, governo, empresas, território, sistema de ciência e tecnologia, geopolítica global e mercado; essas dimensões, por seu turno, se desdobram em dezenas de variáveis críticas.

A dimensão **Meio Ambiente** se desdobra em indicadores que dialogam com outros tópicos tratados neste estudo, em que a principal preocupação recai sobre o risco de radiação e a consequente contaminação dos solos e das águas, o que pode afetar severamente a vida das pessoas. Nesse sentido, é imprescindível considerar os níveis de referência e as melhores práticas para neutralizar a radiação. Há também a preocupação da geração de rejeitos e redução das emissões de CO_2 e outros gases na atmosfera (Tabela 62). Parte-se do princípio que a estratégia nacional de ETR somente será exitosa se as salvaguardas ambientais forem respeitadas, pois serão essas que darão sustentabilidade ao empreendimento mineral ao longo de sua vida útil, evitando judicializações que possam paralisar os projetos.

Tabela 62. Indicadores e referências da dimensão Meio Ambiente

Variável	Indicador	Referência
Contaminação por radionuclídeos	Tipo de mineral radioativo Qtd/ ton	CNEN, ANSN
Contaminação por metais pesados	Tipo de mineral pesado, por exemplo: bário, berílio, cobre, chumbo, manganês, zinco, minerais sulfetados, minerais carbonáticos, flúor, asbesto etc. Qtd/ ton	Ibama
Emissão de CO_2 e outros gases e particulados	X ppm	SEEG
Geração de Rejeitos	X qtq/t	
Qualidade das águas	% eutrofização % acidificação	ANA

Fonte: Elaboração própria (2026).

Dimensão **Sociedade:** Embora não seja mandatória, a sociedade estará mais propensa a conceder a Licença Social para Operar (LSO) na medida em que perceber que a mineração está gerando benefícios líquidos à sociedade, expressos pelo aumento do emprego e renda, redução da pobreza e controle da violência, entre outros. Além disso, é importante que os condicionantes socioambientais do licenciamento ambiental dialoguem com as políticas públicas para a melhoria do sistema de educação e de saúde, uma vez que esses serviços são bastante sobrecarregados quando um novo empreendimento é implantado, particularmente em territórios remotos (Tabela 63). Por fim, é indispensável realizar a consulta prévia, livre e informada (CPLI), ou a aceitação social, no intuito de evitar futuras judicializações que poderão paralisar mais adiante o projeto.

Para que os processos participativos sejam efetivos, a ENTR deve considerar desafios recorrentes associados à assimetria de informações, desigualdades de capacidade técnica e política entre os atores, exclusão de grupos vulnerabilizados e limitações de transparência e financiamento das instâncias participativas. Nesse contexto, recomenda-se o fortalecimento de mecanismos permanentes de diálogo territorial, acompanhados de iniciativas de capacitação e letramento socioambiental, suporte técnico independente e inclusão ativa de jovens, mulheres, povos indígenas, quilombolas, populações tradicionais e comunidades rurais potencialmente afetadas. Recomenda-se ainda que os processos participativos contem com apoio de observatórios técnicos independentes – vinculados, por exemplo, a universidades, centros de pesquisa ou entidades neutras – capazes de qualificar o debate público com base em evidências, reduzir assimetrias de informação e fortalecer o monitoramento socioambiental e territorial dos empreendimentos. A título de exemplo, o Lagem/UFPA criou o Observatório do Desenvolvimento Sustentável de Barcarena que atem esse propósito e pode servir como modelo.

Adicionalmente, mecanismos participativos territorializados podem contribuir para reduzir assimetrias de informação e fortalecer a transparência e a legitimidade social dos empreendimentos, especialmente quando associados a respostas claras e tempestivas das empresas aos questionamentos e resultados produzidos pelas instâncias de acompanhamento social. Tanto a Entidade Participativa quanto o Observatório podem ser originalmente financiados pela mineradora, por meio de um fundo para tal finalidade. Todavia, na medida em que o processo amadurecer ele pode buscar outras fontes de captação, por exemplo uma parcela da CFEM da própria prefeitura. Isso fortalece um dos pilares do tripé da boa governança, que é a participação social.

A Figura abaixo esquematiza o desenho de um processo participativo elaborado a partir de Aledo e Gomes (2018), do relatório do PNUD (Pareja et al 2019) e da prática de pesquisa desenvolvida pelo Laboratório de Estudos em Governança de Município Mineradores (LAGEM) da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Figura 22: Desenho para um processo participativo da ENTR



Fonte: Elaboração própria

Tabela 63. Indicadores e referências da dimensão Sociedade

Variável	Indicador	Referência
Emprego	% de mão de obra local empregada	RAIS/CAGED/MTE
Renda	% de aumento da renda familiar	IBGE
Pobreza	% de redução da pobreza	Observatório do CadUnico
Violência	nº homicídios/10 mil hab	Atlas da Violência
Educação	nº de matrículas por escola	INEP
Saúde	nº médicos por 10 mil hab	DataSUS
Condicionantes socioambientais	Condicionantes alinhados às políticas	Órgãos Ambientais (Ibama, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente)
CPLI	Consulta realizada	Idem
Participação social	Existência de mecanismos permanentes de diálogo e monitoramento participativo	Órgãos ambientais / acordos territoriais / observatórios locais

Inclusão social	Participação de grupos vulnerabilizados em processos participativos	Relatórios de participação / instâncias territoriais

Fonte: Elaboração própria.

O **Governo**, enquanto gestor do patrimônio mineral pertencente à União, exerce um papel central para o bom êxito da ENTR, estabelecendo regramentos, outorgando leis e decretos, influenciando os órgãos de controle (Tabela 64). Todavia, seu sucesso depende de liderança e de coordenação para definir prioridades e fazer cumprir as metas.

Tabela 64. Indicadores e referências da dimensão Governo

Variável	Indicador	Referência
Políticas de Licenciamento Ambiental	Políticas implementadas	IBAMA
Órgãos de controle	Alocação de recursos Pessoal qualificado	ANM, IBAMA, ANMN, CPRM etc.
Elaboração e implementação da legislação	ENTR lançada	MME
Definição de Prioridades	Prioridade definida	Soberania, competitividade, sustentabilidade, liderança, agregação de valor etc.
Definição das metas	Metas definidas	Produção, processamento, inserção no mercado, preços mínimos, subsídios e incentivos fiscais e financeiros, avanço no sistema de PD&I
Participação do Governo na atividade	% aquisição de ações	BNDES

Fonte: Elaboração própria.

As **empresas** são as beneficiárias da concessão de bens públicos. No caso dos recursos minerais, embora sejam explorados em um mercado privado altamente regulado e sujeito a diversos riscos externos, sua dinâmica é fortemente influenciada por barreiras tecnológicas e pela concentração de mercado, que se aproxima de um cenário quase monopolista dominado por um único país (Tabela 65).

Tabela 65. Indicadores e referências da dimensão Empresas

Variável	Indicador	Referência
RSC em cooperação com instituições governamentais e não governamentais.	nº de projetos RSC	Órgãos Ambientais (Ibama, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente)

Circularidade	% conteúdo reciclado; % reaproveitamento de resíduos; intensidade material (kg/t); % água reutilizada; resíduos gerados (kg/t); índice de circularidade (MCI)[102]	Órgãos Ambientais (Ibama, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente)
Competitividade	% de participação no mercado nacional % de participação no mercado internacional	MDIC
Compliance	% metas cumpridas	
Acesso às áreas de pesquisa e desenvolvimento da mina	% sucesso na pesquisa	CPRM-SGB ANM
Licença Social	% de ações realizadas,	Órgãos Ambientais (Ibama, Secretarias Estaduais de Meio Ambiente)
Investimentos	$$ de captação interna e externa	
Inovação	% de inovação/ano	MCTI

Fonte: Elaboração própria.

Território: uma estratégia nacional deve considerar que a mineração de ETR precisa deixar um legado socioeconômico positivo na região que a abriga. Por ser a unidade mais impactada, esse legado deve ficar bem explícito para o município em que ocorre a frente de lavra (Tabela 66). A mineração deixará um legado positivo se puder contribuir para a melhoria da infraestrutura geral do município. Por isso, é importante que, além do recolhimento da CFEM, se construam outras alternativas para a repartição de benefícios, apoiando o ordenamento territorial e o respeito à cultura e às tradições locais.

Tabela 66. Indicadores e referências da dimensão Território

Variável	Indicador	Referência
Infraestrutura	nº de infraestruturas km de vias pavimentadas % rede de saneamento ampliada % eletrificação ampliada % conectividade ampliada outros	Secretarias de Desenvolvimento
CFEM	Recolhimento correto	ANM

[102] https://www.ellenmacarthurfoundation.org/material-circularity-indicator

Repartição de benefícios	nº de medidas adicionais para repartição de benefícios, por exemplo, a criação de Fundo de Desenvolvimento Local, de Planos Estratégicos, de Observatório do Desenvolvimento etc.	Secretarias de Desenvolvimento
Receita Pública	% de aumento da receita pública municipal	Secretaria de Finanças Municipais SICONFI
Ordenamento Territorial	Instrumentos de ordenamento e planejamento territorial	Secretarias
Respeito à cultura e às tradições locais	nº de projetos de incentivo	Secretarias de Cultura

Fonte: Elaboração própria.

Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I): em função da complexidade e dos desafios tecnológicos presentes em todos os elos da cadeia produtiva dos ETR, é fundamental que a dinâmica produtiva avance em estreita articulação com um robusto sistema de CT&I. Esse sistema deve ser sustentado por linhas estáveis de financiamento à pesquisa e pela formação de recursos humanos altamente qualificados, tanto em nível superior quanto técnico. Ademais, requer a retaguarda de uma cooperação sólida voltada à transferência e à cocriação de tecnologias, especialmente direcionadas às necessidades da indústria local (Tabela 67).

Tabela 67. Indicadores e referências da dimensão CT&I

Variável	Indicador	Referência
Financiamento à pesquisa	$$ anual para fomento	MCTI, BNDES
Recursos Humanos em quantidade e qualidade	% de novos doutores e pós-doutores atuando nas áreas % de formação de novos técnicos Número de profissionais técnicos com treinamento na área dos ETRs Número de certificações emitidas pelo Senai para qualificação técnica na área dos ETRs.	MCTI, MEC, Senai
PD&I	nº de acordos de parceria com empresas para gerar inovações	MCTI, Universidades, Centros de Pesquisa, Empresas
Cooperação Internacional	nº de acordo de cooperação efetivos/ano	MRE, ABC, Universidades, Centros de Pesquisa

Redes de pesquisas – quantidade e densidade	nº de redes de pesquisa nº de resultados (patentes, transferência de tecnologia, projetos etc.)	MCTI, Universidades, Centros de Pesquisa, Empresas

Fonte: Elaboração própria.

Geopolítica global: a dinâmica do mercado dos ETR tem se mostrado altamente sensível ao ambiente geopolítico global, especialmente com o que tem sido denominado de "*weaponização*", ou seja, o seu uso para fins de militarização. O domínio da China e de outros grandes centros demandantes e com potencial de produção também precisam ser monitorados para uma efetiva estratégia nacional, pois embora o Brasil não tenha controle direto sobre essa dinâmica, o país deve acompanhá-la a fim de poder neutralizar seus efeitos (Tabela 68).

Tabela 68. Indicadores e referências da dimensão Geopolítica Global

Variável	Indicador	Referência
Hegemonia das "*majors*"	% do mercado China	IEA
Weaponização	% de aumento de demanda em função da guerra	IEA
Crescimento da demanda para as novas tecnologias	% de aumento de demanda para as novas tecnologias	IEA
Imposição de taxação sobre as exportações	Variação % das alíquotas de exportação	UNCTAD
Imposição de cotas para importação e exportação	Limite % das cotas de exportação e importação	UNCTAD

Fonte: Elaboração própria.

Por ser um **Mercado** de características monopolista e oligopolista, é frequente o uso de medidas que reforçam barreiras à entrada, como manipulação dos preços, restrição de oferta, imposição de tarifas e medidas não tarifárias, além da restrição à transferência de tecnologia. Como contraponto, a demanda crescente atua no sentido de estimular o ingresso de novos integrantes no mercado, como forma de evitar a dependência excessiva de um só fornecedor. Essa dimensão está fora do controle direto de uma ENTR; todavia, sua dinâmica afeta profundamente seu sucesso, e por isso, é fundamental acompanhar atentamente o movimento dos indicadores (Tabela 69).

Tabela 69. Indicadores e referências da dimensão Mercado

Variável	Indicador	Referência
Tarifas e medidas não tarifárias que afetam os mercados	Quantidade % aumento de custos	UNCTAD
Oferta	Taxa de crescimento da oferta	UNCTAD

Preços	Taxa de crescimento dos preços	UNCTAD
Dinâmica dos Setores demandantes	Taxa de crescimento dos setores demandantes	UNCTAD

t

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accioly, A. C., da Silva, S. F., & Pinto, L. G. R. (2026). Geoscience for Public Policy: The role of the Geological Survey of Brazil in supporting national development strategies. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, *9*(SI3).

ACLARA. (2026). Technical Report & Pre-Feasibility Study on the Carina Project, Goiás, Brazil. *Aclara Resources*.

Agência Brasil. (2025). Brasil se torna o segundo maior fabricante mundial de ar-condicionado. *Agência Brasil*. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2025-03/brasil-se-torna-o-segundo-maior-fabricante-mundial-de-ar-condicionado.

Aledo, Antônio, Domingues-Gomez, Andres (Eds). "Evaluación de Impacto Social – Teoria, Método y Casos". Alicante: *Universitat D"Alacant*, 2018.

ANM. (2025). Sumário mineral 2025: Ano-base 2024. *Agência Nacional de Mineração*. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2025/sumario-2025.pdf.

Associação Brasileira de Energia Eólica e Novas Tecnologias. (n.d.). *DATLAZ1*. Disponível em: https://abeeolica.org.br/datlaz1/.

Associação Brasileira do Veículo Elétrico. (n.d.). *BI Frotas*. Disponível em: https://abve.org.br/bi-frotas/.

Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos. (n.d.). Indicadores de produção. *Eletros*. Disponível em: https://eletros.org.br/indicadores-de-producao/.

Atanda, B. N., Chandran, D., Mohamad, T. I., & Raviadaran, R. (2026). E-waste valorization of sustainable neodymium recovery and innovation of recycled, reduced and neodymium-free magnet for electric vehicle motor. *Results in Engineering, 29, 108338*.

Aziman, E. S., Ismail, A. F., & Rahmat, M. A. (2023). Balancing economic growth and environmental protection: A sustainable approach to Malaysia's rare-earth industry. *Resources Policy*, *83*, 103753.

Beroe Inc. (2025). Rare earth elements supply chain: Global project tracking and capacity outlook. Beroe Market Intelligence.

Borges, R. G. S., Souza, V. M. C. de, Martins, H. C. V., Coutinho, E. de C., Miranda, W. D., & Santos, I. S. (2024). Os impactos dos empreendimentos de mineração na dinâmica da criminalidade no município de Barcarena/PA. *Caderno Pedagógico*, *21*(13), e11512. https://doi.org/10.54033/cadpedv21n13-065.

Boruta, R. (2025, February 11). Rare earths: Seeking West's strategic responses to China's dominance. Geopolitikos ir saugumo studijų centras. Disponível em: https://www.gssc.lt/wp-content/uploads/2025/02/v02_Boruta_Rare-earths_A4_EN.pdf.

Brasil Mineral. (n.d.). Viridis faz joint venture de tecnologia com a Ionic Rare Earths. *Brasil Mineral.* Disponível em: https://www.brasilmineral.com.br/noticias/viridis-faz-joint-venture-de-tecnologia-com-a-ionic-rare-earths.

Brasil. Congresso Nacional. (2002). Decreto Legislativo nº 143, de 20 de junho de 2002. *Congresso Nacional*. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decleg/2002/decretolegislativo-143-20-junho-2002-458771-convencao-1-pl.html

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília: *Senado Federal,* 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm.

BRASIL. Decreto nº 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta a implementação do sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes. *Diário Oficial da União: seção 1,* Brasília, DF, 13 fev. 2020.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 12 jan. 2022.

BRASIL. Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018. Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração). *Diário Oficial da União: seção 1,* Brasília, DF, 12 jun. 2018.

BRASIL. Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967. Dá nova redação ao Decreto-lei nº 1.985, de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas). *Diário Oficial da União: seção 1,* Brasília, DF, 28 fev. 1967.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 13.540, de 18 de dezembro de 2017. Altera as Leis nºs 7.990, de 28 de dezembro de 1989, e 8.001, de 13 de março de 1990, para dispor sobre a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM). *Diário Oficial da União: seção 1,* Brasília, DF, 19 dez. 2017. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20152018/2017/lei/l13540.htm.

Brasil. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. *Diário Oficial da União,* Brasília, DF, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. *Diário Oficial da União,* Brasília, DF, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Mineração 2030: geologia, mineração e transformação mineral. Brasília: *MME*, 2011. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/02/pnm_2030.pdf.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Portaria GM/MMA nº 1.560, de 5 de janeiro de 2026. Mantém as metas de logística reversa de produtos eletroeletrônicos para o ano de 2026. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 5 jan. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Portaria GM/MMA nº 1.561, de 5 de janeiro de 2026. Atualiza os critérios de habilitação das entidades gestoras dos sistemas de logística reversa e dos verificadores de resultados. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 5 jan. 2026.

Burton, M. (2025, 30 de outubro). Australia's Lynas Rare Earths says demand is strong as revenue jumps. *Reuters*.

Business France. (2026). France and Nordics cooperation on rare earths. Business France. Disponível em: https://world.businessfrance.fr/nordic/france-and-nordics-cooperation-on-rare-earths/

Cambaco, O., Brugger, C., Munguambe, K. R., Utzinger, J., Winkler, M. S., Galvão, C., & Knoblauch, A. M. (2025). Understanding stakeholders' perceptions of the impact of extractive industries on adolescent healthand well-being in Mozambique: a qualitative study. *BMJ open*, *15*(6), e088207.

Caremag SAS. (2023). Rare earth recycling and refining project in France. https://www.caremag.fr

CEBRI. (2025). Relatório técnico: O papel do Brasil na agenda global de minerais críticos e estratégicos: Demanda projetada e contribuição possível do Brasil na transição energética (1. ed.). *Centro Brasileiro de Relações Internacionais - CEBRI*. Disponível em: https://cebri.org/br/doc/420/relatorio-tecnico-programa-de-transicao-energetica-fase-2.

Chen, W. Q., Eckelman, M. J., Sprecher, B., Chen, W., & Wang, P. (2024). Interdependence in rare earth element supply between China and the United States helps stabilize global supply chains. *One Earth, 7(2), 242-252*.

Chen, Wei-Qiang E Zeng, Xianlai. Urban Mining of Metals and Minerals for a Circular Economy and the Sustainable Development Goals. In: *Routledge*

Handbook of the Extractive Industries and Sustainable Development. Abingdon (UK), 2022 (pp.282-296)

China Water Risk. (2016). Rare earths: Shades of grey–Can China continue to fuel our global clean & smart future? *China Water Risk*. Disponível em: https://www.chinawaterrisk.org/wp-content/uploads/2016/07/CWR-Rare-Earths-Shades-Of-Grey-2016-ENG.pdf.

Chinese Government. (2021). State-owned Assets Supervision and Administration Commission of the State Council. (n.d.). *Chinese government*. http://www.sasac.gov.cn/n2588030/n2588924/c22341074/content.html

Chinese Government's Official Web Portal. (2012). Situation and policies of China's rare earth industry. *Chinese Government*. Disponível em: http://www.gov.cn/english/2012-06/20/content_2165802_6.htm.

Circular Brain. (2024). Relatório de Sustentabilidade 2024. *Circular Brain*. Disponível em: https://circularbrain.io/wp-content/uploads/2025/08/Relat%C3%B3rio-de-Sustentabilidade-Circular-Brain-2024.pdf.

CNN Brasil. (2026, 19 de fevereiro). Governo anuncia R$ 200 milhões para projetos nacionais de minerais críticos. *CNN Brasil*. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/economia/macroeconomia/governo-anuncia-r-200-milhoes-para-projetos-nacionais-de-minerais-criticos/.

Confederação Nacional da Indústria (CNI). (2024). Consumo de importados por brasileiros é o maior em 20 anos. *Agência de Notícias da Indústria*. Disponível em: https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/internacional/consumo-de-importados-por-brasileiros-e-o-maior-em-20-anos/.

Critical Metals Corporation. (2024). Tanbreez rare earth project: Technical overview and development status. Disponível em: https://criticalmetalscorp.com/projects/tanbreez.

DBO Engenharia Ambiental. (2018). Mineração de terras raras em Minaçu, Goiás (Serra Verde): Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. *DBO Engenharia Ambiental*. Disponível em: https://www.dfc.gov/sites/default/files/esia/2025/serraverde/Project/05_Local%20Language%20Summary%20of%20ESIA%20(RIMA)_508.pdf

Deady, E., Mouchos, E., Goodenough, K., Williamson, B., & Wall, F. (2014, September). Rare earth elements in karst-bauxites: A novel untapped European resource?. In *ERES 2014: 1st conference on European Rare Earth Resources (*pp. 364-375).

Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water. (n.d.). Australia's circular economy framework. *Australian Government*. Disponível em:

https://www.dcceew.gov.au/sites/default/files/documents/australias-circular-economy-framework.pdf

Directive 2006/21/EC of the European Parliament and of the Council of 15 March 2006 on the management of waste from extractive industries. (2006). *Official Journal of the European Union*. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/21/oj

Directive 2014/52/EU of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 amending Directive 2011/92/EU on the assessment of the effects of certain public and private projects on the environment. (2014). *Official Journal of the European Union*. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L:2014:124:TOC

Dobransky, S. (2012). Rare Earth elements and us foreign policy: the critical ascension of REEs in global politics and US national security. In *APSA 2012 Annual Meeting Paper*.

Dostal, J. (2025). Deposits of rare earth elements in Canada. *FACETS*, *10*, 1-18.

Dutta, B., Chatterjee, K., Jha, P. K., Siddique, K. R., & Sahu, K. K. (2026). A comprehensive compendium on rare earths: science, technology, sustainability, global perspective and india's strategic approach. *Coordination Chemistry Reviews*, *549*, 217280.

Eisenstein, P. A. (2021, December 9). General Motors to source rare earth metals domestically for its electric vehicles. *NBC News*. Disponível em: https://www.nbcnews.com/business/autos/general-motors-announces-deal-sourcerare-earth-metals-electric-vehicl-rcna8265.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2025). *Caderno: Minerais críticos e estratégicos para a transição energética*. Brasília: *EPE*. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-877/Caderno_Minerais_Final.pdf.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2024). Fontes renováveis atingem 49,1% na matriz energética brasileira. *EPE*. Rio de Janeiro, 20 jun. 2024. Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/fontes-renovaveis-atingem-49-1-na-matriz-energetica-brasileira.

EURARE. (2017). European REE market survey: Roadmap for the REE material supply autonomy in Europe. *EURARE*. Disponível em: https://www.eurare.org/publications.html

European Commission. (2015). Closing the loop – An EU action plan for the circular economy (COM/2015/0614 final). *European Commission*. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF

European Commission. (2020). A new circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe (COM/2020/98 final). *European Commission*. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF

European Commission. (2020). Critical raw materials resilience: Charting a path towards greater security and sustainability (COM(2020) 474 final). *European Commission*. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52020DC0474

Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. (2026). Relatório financeiro 2025. *FCCSA*. Disponível em: https://www.fccsa.com.br/media/filer_public/8c/27/8c274254-3be6-499f-8e8c-3864898c7513/relatorio_financeiro_2025_fcc_sa.pdf

FDI Intelligence. (2026). Global rare earth supply chain investment trends. *Financial Times Ltd*.

Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais. (n.d.). Brasil dá passo histórico com primeira entrega de óxidos de terras raras reciclados pela Viridion. *FIEMG*. Disponível em: https://www.fiemg.com.br/sala-de-imprensa/noticias/brasil-da-passo-historico-com-primeira-entrega-de-oxidos-de-terras-raras-reciclados-pela-viridion/

G1. (2026, 1 de março). Terras raras: Brasil dá passo inédito para produzir ímãs com minério nacional. *G1*. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/sul-de-minas/noticia/2026/03/01/mineradora-de-mg-entrega-1o-lote-nacional-de-terras-raras-para-producao-de-imas-no-brasil.ghtml.

Gauß, R., Burkhardt, C., Carencotte, F., Gasparon, M., Gutfleisch, O., Higgins, I., Karajić, M., Klossek, A., Mäkinen, M., Schäfer, B., Schindler, R., & Veluri, B. (2021). Rare earth magnets and motors: A European call for action. *European Raw Materials Alliance*. Disponível em: https://www.eit.europa.eu/sites/default/files/2021_09-24_ree_cluster_report2.pdf

Global Reporting Initiative. (2024). GRI 14: Mining sector 2024. *Global Reporting*. Disponível em: https://www.globalreporting.org/standards/sector-standards/mining/

Goodenough, K. M., Schilling, J., Jonsson, E., Kalvig, P., Charles, N., Tuduri, J. & Keulen, N. (2016). Europe's rare earth element resource potential: An overview of REE metallogenetic provinces and their geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, *72*, 838-856.

Green Eletron. (2025). Green Eletron avança em engajamento, diálogo e resultados ambientais. Green Eletron. Disponível em:

https://greeneletron.org.br/blog/green-eletron-avanca-em-engajamento-dialogo-e-resultados-ambientais/

Huang, X. (2026). A comprehensive guide to rare earth magnets. TOPMAG. https://www.topmag.in/rare-earth-magnets-guide-2026/

Ibad, S. M., Tsegab, H., Siddiqui, N. A., Adam, M., Mishra, S., Ridha, S. & Azmi, A. (2024). The upstream rare earth resources of Malaysia: Insight into geology, geochemistry, and hydrometallurgical approaches. *Geoscience Frontiers*, *15*(6), 101899.

IBRAM. Minerais Críticos e Estratégicos no Brasil: um passaporte para o futuro. E-book. Organizador; *Instituto Brasileiro de Mineração*. 1 ed. - Brasília: IBRAM 2025. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/10/IBRAM_MINERAIS-CRITICOS-E-ESTRATEGICOS-NO-BRASIL_WEB.pdf

IEA (2022), World Energy Outlook 2022. Paris: *IEA*. Disponível em: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022, Licence: CC BY 4.0 (report); CC BY NC SA 4.0

IEA (2025). Global critical minerals outlook 2025. Paris: *IEA*. Disponível em: https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef5e9b70-3374-4caa-ba9d-19c72253bfc4/GlobalCriticalMineralsOutlook2025.pdf

International Energy Agency. (2024). The role of critical minerals in clean energy transitions. *IEA Publications*. Disponível em: https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions

International Energy Agency. (2026). Rare Earth Elements: Pathways to secure and diversified supply chains. *IEA*. Disponível em: https://www.iea.org/reports/rare-earth-elements

International Energy Agency. (2026, February 4). Canada is set to play a leading role in supplying the world with responsibly produced critical minerals. *IEA*. Disponível em: https://www.iea.org/commentaries/canada-is-set-to-play-a-leading-role-in-supplying-the-world-with-responsibly-produced-critical-minerals

International Energy Agency. (n.d.). 14th FYP for raw material industry development. *IEA*. Disponível em: https://www.iea.org/policies/14702-14th-fyp-for-raw-material-industry-development

IREL (India) Limited. (sine die). *Rare Earths Division Aluva*. https://www.irel.co.in/rare-earths-division-aluva

Kamenopoulos, S., & Agioutantis, Z. (2013). Rare earth elements: Building a best practices roadmap to sustainable mining. In *Proceedings of the 6th International Conference on Sustainable Development in the Minerals Industry, Milos Island, Greece* (Vol. 30).

Kovačević Galović, E., Ilijanić, N., Gizdavec, N., Miko, S., & Peh, Z. (2025). Geochemical Insights and Mineral Resource Potential of Rare Earth Elements (REE) in the Croatian Karst Bauxites. *Minerals*, 15(2), 192.

Liu, S. L., Fan, H. R., Liu, X., Meng, J., Butcher, A. R., Yann, L. & Li, X. C. (2023). Global rare earth elements projects: New developments and supply chains. *Ore Geology Reviews*, *157*, 105428.

Liu, W., & Agusdinata, D. B. (2020). Interdependencies of lithium mining and communities sustainability in Salar de Atacama, Chile. *Journal of Cleaner Production, 260, 120838*.

Lolon, S., & Rahman, F. (2014). Overview of rare earth elements in Indonesia. *Mineral and Energy Economics, Colorado School of Mines; Golder Associates Inc*.

Luna Filho, B. (1998). Sequência Básica na Elaboração de Protocolos de Pesquisa. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, 71(6), 735–740

Mancini, L., & Sala, S. (2018). Social impact assessment in the mining sector: Review and comparison of indicators frameworks. *Resources Policy, 57, 98-111.*

Martins, T. T. (2024). Rare earth geopolitics: Global dynamics and strategic balance of power. *Janus*, *15*(1).

McKinsey. (2025). Powering the energy transition's motor: Circular rare earth elements. *McKinsey*. Disponível em: https://www.mckinsey.com/industries/metals-and-mining/our-insights/powering-the-energy-transitions-motor-circular-rare-earth-elements#/

Mining.com. (2025, January 28). USA Rare Earth produces dysprosium oxide at Texas Round Top deposit. *Mining.com.* Disponível em: https://www.mining.com/usa-rare-earth-produces-dysprosium-oxide-at-texas-round-top-mine/

Mining.com. (2026, January 20). USA Rare Earth to build plant in France with gov't backing. *Mining.com*. Disponível em: https://www.mining.com/usa-rare-earth-to-build-plant-in-france-with-govt-backing/

Ministério da Fazenda. (2023). Plano de transformação ecológica. *Ministério da Fazenda.* Disponível em: https://www.gov.br/fazenda/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/transformacao-ecologica/conheca-o-plano-de-transformacao-ecologica.

Ministério da Fazenda. (2024). Taxonomia sustentável brasileira. *Ministério da Fazenda*. Disponível em: https://www.gov.br/fazenda/pt-br/orgaos/spe/taxonomia-sustentavel-brasileira/taxonomia-sustentavel-brasileira.pdf

Ministério das Cidades. (n.d.). Notícia MCID nº 1382. *Ministério das Cidades*. https://www.gov.br/cidades/pt-br/assuntos/noticias-1/noticia-mcid-n-1382

Ministério de Minas e Energia. (2024). Plano nacional de transição energética. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-transicao-energetica-requer-alternativas-de-baixo-carbono-e-inclusao-social/PLANTE20224.pdf

Ministério de Minas e Energia. (n.d.). Mineradora entrega óxidos de terras raras reciclados para projeto pioneiro do SENAI. *Ministério de Minas e Energia*. Disponível em: https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mineradora-entrega-oxidos-de-terras-raras-reciclados-para-projeto-pioneiro-do-senai

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2024). Nova indústria Brasil: Plano de ação 2024–2026. *MDIC*. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/composicao/se/cndi/plano-de-acao/nova-industria-brasil-plano-de-acao-2024-2026-1.pdf

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2024). Plano nacional de economia circular. *MDIC*. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/enec/plano-nacional/plano-nacional-de-economia-circular-2025-2013-2034_03-06-2025.pdf

Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. (2023). Programa MOVER: Mobilidade verde e inovação. *MDIC*. Disponível em: https://www.gov.br/mdic/

Mishra, P. P., Sravan, C., & Mishra, S. K. (2024). Extracting empowerment: A critical review on violence against women in mining and mineral extraction. *Energy Research & Social Science*, *109*, 103414.

MP Materials Corp. (2024). MP Materials announces $1 billion investment to expand U.S. rare earth magnet and refining capacity. *MP Materials*. Disponível em: https://mpmaterials.com/news,

MP Materials Corp., & Ma'aden (Saudi Arabian Mining Company). (2024). Strategic partnership to develop rare earth refining capacity in Saudi Arabia [Press release]. *MP Materials Corp., & Ma'aden*. Disponível em: https://www.maaden.com.sa.

Müller, M. (2023). The 'new geopolitics' of mineral supply chains: A window of opportunity for African countries. *South African Journal of International Affairs,* v. 30, n. 2, p. 177-203.

Nasution, M. J., Bakri, S., Setiawan, A., Wulandari, C., & Wahono, E. P. (2024). The impact of increasing nickel production on forest and environment in Indonesia: a review. *Jurnal Sylva Lestari*, *12*(3), 549-579.

Natural Resources Canada. (2022). The Canadian Critical Minerals Strategy. *Government of Canada*. Disponível em: https://www.canada.ca/content/dam/nrcan-rncan/site/critical-minerals/Critical-minerals-strategyDec09.pdf

Natural Resources Canada. (2024, December 20). Canada to unlock critical minerals rare earth development in Northern Quebec and Labrador with new funding (News release). *Government of Canada*. Disponível em: https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2024/12/canada-to-unlock-critical-minerals-rare-earth-development-in-northern-quebec-and-labrador-with-new-funding.html

Natural Resources Canada. (2025, September 19). Rare earth elements facts. *Government of Canada*. Disponível em: https://natural-resources.canada.ca/minerals-mining/mining-data-statistics-analysis/minerals-metals-facts/rare-earth-elements-facts

OECD (2025), Enhancing Regional Mining Ecosystems in the European Union: Securing the Green Transition and Supply of Mineral Raw Materials, *OECD Rural* Studies, OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/97ba1224-en. Disponível em: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2025/06/enhancing-regional-mining-ecosystems-in-the-european-union_f4ea9924/97ba1224-en.pdf

Olhar Digital. (2026, February 19). *Venda de celulares bate recorde na América Latina em 2025*. *Olhar Digital*. Disponível em: https://olhardigital.com.br/2026/02/19/pro/venda-de-celulares-bate-recorde-na-america-latina-em-2025/

Organização Internacional do Trabalho. (1989). Convenção nº 169 sobre povos indígenas e tribais. *OAS*. Disponível em: https://www.oas.org/dil/port/1989%20Conven%C3%A7%C3%A3o%20sobre%20Povos%20Ind%C3%ADgenas%20e%20Tribais%20Conven%C3%A7%C3%A3o%20OIT%20n%20%C2%BA%20169.pdf

Ormerod, J. (2022). The Rare Earth Magnet Supply Chain: My Perspective. *LinkedIn*. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/rare-earth-magnet-supply-chain-my-perspective-john-ormerod/

Pareja, C., Xavier, A., Daitch, S. (2019). Comitês Participativos de Monitoramento Ambiental em Contextos de Mineração: Lições de Nove Estudos de Caso em

Quatro Países da América Latina. *Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)*: Nova Iorque. Disponível em: https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/UNDP-CIRDI_Participatory_Environmental_Monitoring_Committees_in_Mining_Contexts_ES.pdf.

Park, Sohee. (2023). The gold of industry and the core of the military: China's rare earths strategy and its implications for Korea. *SSRN*. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4561555

Pavel, C. C., Lacal-Arántegui, R., Marmier, A., Schüler, D., Tzimas, E., Buchert, M., Jenseit, W., & Blagoeva, D. (2017). Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines. *Resources Policy, 52*, 349–357. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.04.010

Pensana Plc. (2024). Pensana updates on rare earth processing strategy and U.S. investment plans. *Pensana Plc*. Disponível em: https://www.pensana.co.uk

Regulation (EU) 2024/1252 of the European Parliament and of the Council of 11 April 2024 establishing a framework for ensuring a secure and sustainable supply of critical raw materials. *Official Journal of the European Union*. Disponível em: https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1252

Reuters (2026). Exclusive: US moves away from critical mineral price floors, sources say. *Reuters*. Disponível em: https://www.reuters.com/world/asia-pacific/us-moves-away-critical-mineral-price-floors-sources-say-2026-01-28/

Reuters. (2024, September 25). Canadian rare earth recycler Cyclic Materials raises $50 mln from BMWi, Hitachi Ventures. *Reuters*. Disponível em: https://www.reuters.com/markets/commodities/canadian-rare-earth-recycler-cyclic-materials-raises-50-mln-bmwi-hitachi-2024-09-25/

Reuters. (2025, October 31). Canada to accelerate critical mineral projects worth $4.6 billion, energy minister says. *Reuters*. Disponível em: https://www.reuters.com/business/canada-accelerate-critical-mineral-projects-worth-46-billion-energy-minister-2025-10-31/

Reuters. (2026, February 9). Indonesia identifies eight blocks with large rare earth reserve potential. *Reuters*. Disponível em: https://www.reuters.com/world/asia-pacific/indonesia-identifies-eight-blocks-with-large-rare-earth-reserve-potential-2026-02-09/

Rezaei, M., Sanchez-Lecuona, G., & Abdolazimi, O. (2025). A cross-disciplinary review of rare earth elements: Deposit types, mineralogy, machine learning, environmental impact, and recycling. *Minerals*, *15*(7), 720.

Rosa-Costa, L. T. D., Santos, P. A. D., Medeiros, V. C. D., Abreu, F. D. P. D. S., Santos Sobrinho, V. R., & Klein, E. L. (2023). Overview of the geological mapping in Brazil: historical analysis until 2022.

SBPC, ABC, SBQ, SBG, SBF e SBPMAT. (2025, 16 de dezembro). Nota técnica conjunta: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, Academia Brasileira de Ciências, Sociedade Brasileira de Química, Sociedade Brasileira de Geologia, Sociedade Brasileira de Física, & Sociedade Brasileira de Pesquisa em Materiais – terras-raras: Da mina ao imã: Rumo à autonomia tecnológica nacional em energia, saúde e defesa. *SBPMAT*. Disponível em: https://www.sbpmat.org.br/site/wp-content/uploads/2025/12/Nota-conjunta-Terras-Raras-1.pdf

Serra Verde. (2026, 5 de fevereiro). Serra Verde garante financiamento de US$ 565 milhões com a Corporação Financeira dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (DFC). *Serra Verde*. Disponível em: https://svpm.com.br/br/financiamentodfc/

Setiawan, I. (2018). Towards the challenging REE exploration in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 118, 012075. https://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012075

Silva, G. F. da, Silva, A. D. R. da, & Gaia, S. M. de S. (Orgs.). (2024). Panorama do potencial do Brasil para minerais críticos e estratégicos: 2024. *Serviço Geológico do Brasil*. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstreams/d3ed65f7-f6e1-4dfd-bd9d-786e3bade693/download

Singh, Y. (2021). Rare earth element metallogeny in Indian continental shelf and ocean floor. *Journal of the Geological Society of India*, *97*(11), 1396-1402.

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104(July), 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039*

Sohee Park, (2023). The Gold of Industry and the Core of the Military: China's Rare Earths Strategy and its Implications for Korea. *KIET Industrial Economic Review Vol. 28, No. 4, pp. 43-55*. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4561555

Solvay S.A. (2023). Solvay starts rare earth separation in La Rochelle. *Solvay S.A.* Disponível em: https://www.solvay.com/en/press-releases

Spandler, C., Slezak, P., & Nazari-Dehkordi, T. (2020). Tectonic significance of Australian rare earth element deposits. *Earth-Science Reviews*, *207*, 103219.

Standaert, M., 2019. China Wrestles with the Toxic Aftermath of Rare Earth Mining. *Yale Environment 360, July 2*. Disponível em:

https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining

Taglieri, L., & Fratocchi, L. (2025). Made in Europe Recovery of Rare Earth Elements: Is a Circular and Sustainable Value Chain Really Possible? *IFAC-PapersOnLine*, *59*(10), 1510-1515.

Takeda, O., & Okabe, T. H. (2022). Resource and production technologies for scandium. *Routledge Handbook of the Extractive Industries and Sustainable Development*, 297-310.

Teleco. (n.d.). *Tablet Brasil*. Disponível em: https://teleco.com.br/tablet_brasil.asp

Tewari, S. (2025, 12 de agosto). Inside Australia's billion-dollar bid to take on China's rare earth dominance. *BBC News*.

The White House. (2025, October). Memorandum of understanding between the Government of the United States of America and the Government of Malaysia. *The White House*. Disponível em: https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/2025/10/memorandum-of-understanding-between-the-government-of-the-united-states-of-america-and-the-government-of-malaysia-concerning-cooperation-to-diversify-global-critical-minerals-supply-chains-and-promote/

U.S. Department of Energy. (2021). Rare earth permanent magnets: supply chain deep dive assessment. *U.S. Department of Energy*. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/default/files/2024-12/Neodymium%2520Magnets%2520Supply%2520Chain%2520Report%2520-%2520Final%5B1%5D.pdf

U.S. Department of Energy. (2022). Rare earth permanent magnets: Supply chain deep dive assessment. *U.S. Department of Energy*. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-02/Neodymium%20Magnets%20Supply%20Chain%20Report%20-%20Final.pdf

U.S. Department of State. (2025, December). PAX Silica initiative. *U.S. Department of State*. Disponível em: https://www.state.gov/releases/office-of-the-spokesperson/2025/12/pax-silica-initiative

U.S. Geological Survey. (2025). Mineral commodity summaries 2025: Rare earths. *U.S. Department of the Interior*. Disponível em: https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/mineral-commodity-summaries

U.S. Geological Survey. (2025). Rare earths. *In Mineral commodity summaries 2025. U.S. Department of the Interior*. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-rare-earths.pdf

USGS (U.S. Geological Survey). (2026). Mineral commodity summaries 2026. *U.S. Department of the Interior*. Disponível em: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2026/mcs2026.pdf

Veja. (2024). Vendas de eletroeletrônicos saltam 378% de 1994 a 2024 e atingem 130 milhões de aparelhos. *Revista Veja*. Disponível em: https://veja.abril.com.br/economia/vendas-de-eletroeletronicos-saltam-378-de-1994-a-2024-e-atingem-130-milhoes-de-aparelhos/

Vekasi, K. (2019). Politics, markets, and rare commodities: responses to Chinese rare earth policy. *Japanese Journal of Political Science*, *20*(1), 2-20.

Wang, Y., Gao, F., Sun, B., Chen, W., & Nie, Z. (2025). Life cycle assessment for rare earth production from ion-adsorption deposits: A comparative study of magnesium sulfate and ammonium sulfate leaching techniques. *Journal of Environmental Management*, *385*, 125627.

Wang, Z., Zhang, Z., Meng, L., Li, C., & Guo, Z. (2024). Extraction and recovery of rare earth elements from NdFeB waste using bismuth reinforced by supergravity. *Journal of Cleaner Production, 485*, 144390. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144390

Watts, K. E., & Andersen, A. K. (2026, January 26). Complex carbonate ore mineralogy in the Mountain Pass carbonatite rare earth element deposit, USA. *American Mineralogist*, *111*(1), 11-28.

Wei, H., Liu, X., Zhao, S., Li, Q., Jiang, W., Shi, Z., Wu, Y., & Wang, L. (2026). A life cycle assessment and comparative evaluation of global primary rare earth oxide supply chains. *Ecological Indicators*, *182*, 114575.

Widana, A. (2019). The impacts of mining industry: Socio-economics and political impacts. *Available at SSRN 3423562*.

Yalçın, C., & Altunbey, M. (2026). Geochemical and Mineralogical Analyses of Karst-Type Bauxites from the Akseki–Kuyucak Region (Antalya, Turkey): A Comprehensive Statistical Method Utilizing REEs and Major Element Data. *Minerals*, 16(5), 462.

Yale Environment 360. (n.d.). *China wrestles with the toxic aftermath of rare earth mining*. *Yale Environment 360*. Disponível em: https://e360.yale.edu/features/china-wrestles-with-the-toxic-aftermath-of-rare-earth-mining

Yin, R. K. (2001). Estudo de Caso: Planejamento e casos. *In Bookman. Le Livro.*

Yin, X., Martineau, C., Demers, I., Basiliko, N., & Fenton, N. J. (2021). The potential environmental risks associated with the development of rare earth element production in Canada. *Environmental Reviews*, *29*(3), 354-377.

Zhong, C., Geng, Y., Ge, Z., Cai, W., Liang, Z., Xiao, S., & Wei, W. (2026). Advancing sustainable management of heavy rare earth elements in China through group metabolism analysis. *Environmental Impact Assessment Review,* 116, 108125.

Zumwalt-Forbes, A. (2026, 10 de fevereiro). Strategic stockpiles, Project Vault, and why the SPR analogy breaks down [Artigo no LinkedIn]. *LinkedIn*. Disponível em: https://www.linkedin.com/pulse/strategic-stockpiles-project-vault-why-spr-analogy-zumwalt-forbes-vnrxc/