

## **MINERAÇÃO RESPONSÁVEL DE TERRAS RARAS: VETOR ESTRATÉGICO PARA O FINANCIAMENTO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E A CONSTRUÇÃO DE CAPITAL HUMANO PERENE NO BRASIL**

**RESPONSIBLE RARE EARTH MINING: A STRATEGIC VECTOR FOR FINANCING SCIENCE, TECHNOLOGY, AND THE CONSTRUCTION OF PERMANENT HUMAN CAPITAL IN BRAZIL**

**MINERÍA RESPONSABLE DE TIERRAS RARAS: UN VECTOR ESTRATÉGICO PARA FINANCIAR LA CIENCIA, LA TECNOLOGÍA Y LA CONSTRUCCIÓN DE CAPITAL HUMANO SOSTENIBLE EN BRASIL**

**Júlio Edstron Secundino Santos<sup>1</sup>**

**DOI:** 10.54899/dcs.v22i84.3875

**Recibido:** 24/10/2025 | **Aceptado:** 19/11/2025 | **Publicación en línea:** 25/11/2025.

### **RESUMO**

A presente pesquisa emerge da inadiável encruzilhada estratégica do Brasil diante da geopolítica dos Elementos Terras Raras (ETR), ativos críticos e insubstituíveis para a Transição Energética e a Soberania Tecnológica no Século XXI. A importância capital deste tema reside na chance histórica de o país romper com o ciclo de subdesenvolvimento e a dependência extrativista. De natureza qualitativa, a pesquisa adotou a revisão bibliográfica sistemática para o mapeamento conceitual e utilizou o método hipotético-dedutivo para validar a tese central. O Marco Teórico é o Novo Desenvolvimentismo (ND) de Bresser-Pereira, que baliza o papel de um Estado Estrategista capaz de mitigar disfunções macroeconômicas e induzir a complexidade produtiva. A conclusão principal postula que o sucesso não está na simples extração, mas no domínio tecnológico do midstream (processamento e purificação de alta complexidade). Assim, a integração da Mineração Responsável a uma política de financiamento contínuo de Ciência e Tecnologia é o mecanismo essencial para transmutar a riqueza mineral finita em Capital Humano Perene, assegurando a rota para uma nação mais justa e desenvolvida.

**Palavras-chave:** Mineração. Terras Raras. Novo Desenvolvimentismo. Mineração Responsável. Sustentabilidade.

### **ABSTRACT**

This research emerges from Brazil's pressing strategic crossroads concerning the geopolitics of Rare Earth Elements (REE), which are critical and irreplaceable assets for the Energy Transition and Technological Sovereignty in the 21st Century. The capital importance of this theme lies in the historical opportunity for the country to break free from the cycle of underdevelopment and

---

<sup>1</sup> Doutor em Direito, Centro Universitário de Brasília (UNICEUB), Palmas, Tocantins, Brasil.  
E-mail: edstron@yahoo.com.br

extractivist dependency. Qualitative in nature, the research adopted a systematic literature review for conceptual mapping and utilized the hypothetical-deductive method to validate the central thesis. The Theoretical Framework is Bresser-Pereira's New Developmentalism (ND), which guides the role of a Strategist State capable of mitigating macroeconomic dysfunctions and inducing productive complexity. The main conclusion posits that success does not lie in simple extraction, but in the technological mastery of the midstream (high-complexity processing and purification). Thus, the integration of Responsible Mining with a continuous Science and Technology funding policy is the essential mechanism to transmute finite mineral wealth into Enduring Human Capital, securing the path towards a fairer and more developed nation.

**Keywords:** Mining. Rare Earths. New Developmentalism. Responsible Mining. Sustainability.

## RESUMEN

Esta investigación surge de la ineludible encrucijada estratégica de Brasil en cuanto a la geopolítica de los Elementos de Tierras Raras (TER), activos críticos e irremplazables para la Transición Energética y la Soberanía Tecnológica en el siglo XXI. La importancia crucial de este tema reside en la oportunidad histórica que representa para el país de romper con el ciclo de subdesarrollo y dependencia extractiva. De naturaleza cualitativa, la investigación adoptó una revisión sistemática de la literatura para el mapeo conceptual y empleó el método hipotético-deductivo para validar la tesis central. El marco teórico es el Nuevo Desarrollismo (ND) de Bresser-Pereira, que guía el rol de un Estado Estratégico capaz de mitigar las disfunciones macroeconómicas e inducir la complejidad productiva. La principal conclusión postula que el éxito no reside en la simple extracción, sino en el dominio tecnológico del proceso intermedio (procesamiento y purificación de alta complejidad). Por lo tanto, integrar la Minería Responsable en una política de financiamiento continuo para Ciencia y Tecnología es el mecanismo esencial para transformar la riqueza mineral finita en Capital Humano Perenne, asegurando el camino hacia una nación más justa y desarrollada.

**Palabras clave:** Minería. Tierras raras. Nuevo desarrollismo. Minería responsable. Sostenibilidad.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

---

## INTRODUÇÃO

*A Mineração é a atividade que propicia ao ser humano saciar suas fomes biológica, psicológica, social e espiritual e realizar seus sonhos - José Mendo Mizaél de Souza*

A nação brasileira, guardiã de uma das mais vastas e diversificadas riquezas minerais do globo, debruça-se historicamente sobre o paradoxo estrutural entre a potência de seu dote natural e a cronicidade de profundas disparidades sociais. Este volume insere-se nessa tensão, buscando

esmiuçar como a gestão estratégica de um recurso geoestratégico de altíssima essencialidade pode servir como alavanca para a superação do atraso socioeconômico e a consolidação de um projeto nacional equitativo.

O foco recai sobre os Elementos Terras Raras (ETR), um grupo de metais cuja singularidade química os torna insubstituíveis em todas as tecnologias que definem o Século XXI. De superímãs em veículos elétricos e turbinas eólicas a componentes de defesa e *smartphones*, os Elementos Raros constituem a espinha dorsal material da transição energética e da Quarta Revolução Industrial, conferindo-lhes um valor estratégico que transcende a mera cotação de *commodity*.

A encruzilhada brasileira é crucial: ou o país maneja suas reservas como mero fornecedor primário, consolidando a espiral da dependência extrativista e da vulnerabilidade externa, ou as converte em um vetor de autonomia e inovação, elevando o patamar de sua complexidade econômica. A opção decisória determinará se a opulência geológica será uma "maldição de recursos" ou o catalisador de uma profunda transformação social.

Nossa proposição central postula que apenas um modelo de extração responsável de Terras Raras, integrado a uma política industrial ativa, possui a capacidade intrínseca de transmutar o acervo finito em capital humano e tecnológico perene, garantindo que o crescimento econômico se traduza em expansão das capacidades e liberdades individuais.

A premência desta investigação é ditada pelo cenário geopolítico contemporâneo, marcado pela acirrada "guerra fria tecnológica" e pela centralização da cadeia de valor dos elementos essenciais em poucas potências. Para o Brasil, a passividade equivale à subordinação, tornando crucial um planejamento geoestratégico que harmonize o aproveitamento mineral com os mais rigorosos padrões socioambientais.

Este estudo acadêmico se fundamenta por sua ambição de oferecer uma proposta articulada entre as jazidas expressivas, a conformidade ambiental e o imperativo de uma ascensão econômica. Busca-se ir além da descrição do potencial, propondo diretrizes tangíveis de política pública que garantam o incremento produtivo, a distribuição de benefícios e a capacitação da força de trabalho.

Para fornecer o alicerce teórico a esta metamorfose, a pesquisa se lastreia no Novo Desenvolvimentismo (ND), vertente desenvolvimentista formulada por Bresser-Pereira. O ND surge como uma contestação veemente ao liberalismo ortodoxo e ao Consenso de Washington, que relegaram nações em desenvolvimento a uma trajetória de estagnação periódica.

O eixo central do Novo Desenvolvimentismo de Bresser-Pereira reside na postulação de um Estado estrategista e de políticas macroeconômicas que corrijam as cinco distorções inerentes às economias periféricas, notadamente a tendência à apreciação artificial da taxa de câmbio. O desígnio é criar pressupostos para que o setor produtivo nacional, em especial o industrial, possa alcançar a paridade internacional e complexificar a economia.

Projetado para o setor mineral, o Novo Desenvolvimentismo oferece o antídoto para evitar a "doença holandesa": o provento oriundo dos ETR não deve apenas engordar o caixa estatal, mas deve ser integralmente utilizado para fomentar a inovação e o controle do *midstream* (processamento e purificação de alta complexidade). Assim, o recurso geológico, finito, é metodicamente convertido em *stock* de conhecimento, que é cumulativo e perene, em um autêntico ciclo virtuoso de crescimento.

A pesquisa foi conduzida sob o método hipotético-dedutivo, partindo da premissa de que o ideário de fomento, ao ser aplicado ao setor de minerais essenciais, configura-se como um catalisador potente de expansão inclusiva. A corroboração desta conjectura exigiu a construção de um constructo racional que confrontasse o ideal teórico com a realidade empírica.

A fundação analítica deste volume foi edificada através de uma revisão bibliográfica sistemática, abrangendo acervo acadêmico em economia do desenvolvimento, geopolítica mineral, engenharia metalúrgica e conformidade ambiental. Foram analisados documentos estratégicos de instituições nacionais e internacionais, garantindo a robustez e a contemporaneidade da análise.

Este rigor metodológico permitiu que a pesquisa se movesse com fluidez da abstração teórica do Novo Desenvolvimentismo à proposição de um paradigma prático de aproveitamento de Terras Raras, promovendo um diálogo constante entre o "dever ser" da política econômica e o "pode ser" da capacidade tecnológica nacional.

A articulação deste texto acadêmico está arquitetada em três seções interconectados, desenhados para edificar o silogismo de forma progressiva. A Seção Inicial dedica-se ao quadro geoestratégico, dissecando a essencialidade dos ETR, analisando o panorama de depósitos e rendimento global, e detalhando a vasta, mas subaproveitada, capacidade mineral do Brasil, demonstrando a premência de intervenção imediata.

A segunda seção aprofunda o exame minucioso dos obstáculos técnicos e exigências ESG. Nela, são examinados os entraves metalúrgicos do processamento de Elementos Raros (como a intrincada purificação lantânida) e são propostas inovações de processo para uma "Mineração do

Século XXI", pautadas em tecnologias como o empilhamento a seco de rejeitos e a economia circular, para reduzir as externalidades negativas inerentes à atividade.

Por fim, o último eixo apresenta o delineamento de intervenção estatal, detalhando como o Estado, à luz do Novo Desenvolvimentismo, pode criar instrumentos de estímulo à P&D, desonerações tributárias para o *midstream*, e, de modo fundamental, planos de lapidação e formação de capital humano de alta especialização, convertendo o provento mineral em um acervo intelectual para a nação.

A ilação central desta pesquisa é inequívoca: o êxito do Brasil no mercado de Terras Raras não reside na mera extração (*upstream*), mas sim na aptidão para controlar o processamento de alta complexidade e a produção de ligas magnéticas e componentes de alto valor. Esse domínio técnico é a via incontornável para que o País se posicione na vanguarda da cadeia e garanta uma parcela da opulência gerada.

Adicionalmente, o achado fundamental é que a extração responsável deve ser concebida como o propulsor econômico de um salto qualitativo no saber e na educação. O capital gerado pela exportação de *commodities* deve ser legalmente canalizado à formação de engenheiros, metalurgistas e cientistas de dados, garantindo que o recurso mineral, finito, seja permutado por um patrimônio imorredouro que é o conhecimento humano.

Em sumário, esta pesquisa configura-se como um manifesto estratégico e técnico: o aproveitamento de Terras Raras representa uma oportunidade histórica e irrepetível para o Brasil. Ao adotar o rigor do Novo Desenvolvimentismo, harmonizando o avanço técnico à responsabilidade socioambiental, o País tem a faculdade de manejar seu dote natural como passadiço para a posteridade, erigindo, de forma consciente e soberana, uma nação mais justa, livre e desenvolvida.

## **NOVO DESENVOLVIMENTO E A ROTA PARA UMA NAÇÃO MAIS JUSTA**

O Brasil, apesar de ostentar o título de uma das maiores economias globais, permanece enredado em um complexo tecido de desigualdades sociais e disparidades estruturais, que impedem a consolidação de um desenvolvimento verdadeiramente equitativo.

A convivência dissonante entre a vasta riqueza de recursos naturais e a carência de liberdades fundamentais, como acesso à educação e saúde de alta qualidade, revela que o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) é, frequentemente, dissociado da justiça social. O

imperativo nacional reside, portanto, na transição de um mero crescimento para um modelo que priorize a expansão das capacidades humanas e a distribuição de oportunidades, conforme sinalizado por (Pansieri 2017).

O quadro de dualidade é dramaticamente agravado pelo processo de desindustrialização precoce, que atrofia a base produtiva e tecnológica do país, empurrando-o de volta à condição de exportador primário de baixa complexidade. Essa regressão estrutural compromete a geração de empregos de alto valor agregado e a capacidade de inovação, limitando o avanço brasileiro nas cadeias globais de maior sofisticação. A dependência de *commodities* sujeita a economia a ciclos de volatilidade internacional, demonstrando que a falta de uma política industrial ativa é o principal vetor para a perpetuação de um crescimento medíocre e insustentável (Bresser-Pereira, 2011, p. 1).

A erosão do parque industrial tem um efeito social perverso, pois são justamente os setores manufatureiros que historicamente oferecem as melhores oportunidades de ascensão social para a mão de obra menos escolarizada, através de empregos estáveis e bem remunerados.

A substituição da produção industrial por serviços de baixa qualificação ou pela simples exportação primária resulta em um achatamento da pirâmide salarial, ampliando a distância entre o topo e a base da sociedade. Essa fragilização do mercado de trabalho qualificado se soma à desigualdade de renda, constituindo um dos maiores entraves à construção de um país mais igualitário e justo (Bresser-Pereira, 2011).

Dentro desse panorama, o setor mineral desponta como um vetor estratégico de oportunidade, em especial com a confirmação de grandes jazidas de Elementos de Terras Raras (ETR) — minerais essenciais para a transição energética e a indústria 4.0. Contudo, a simples exploração extrativista desses bens valiosos carrega o risco intrínseco de apenas reforçar a dependência de *commodities*, caso não esteja ancorada em um projeto robusto de política industrial. Transformar essa riqueza geológica em desenvolvimento socioeconômico efetivo é um desafio que exige uma visão de longo prazo e a verticalização da cadeia, conforme a literatura de inovação e metais tem sublinhado (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025, p. 325).

Para romper com o ciclo de crescimento medíocre e enfrentar a desindustrialização, a Teoria do Novo Desenvolvimentismo (ND), articulada por Luiz Carlos Bresser-Pereira, oferece uma arquitetura teórico-política para reorientar o crescimento nacional. O ND se distingue do liberalismo ortodoxo e do antigo desenvolvimentismo por preconizar um Estado ativo, mas fiscalmente prudente, que atua para superar as cinco armadilhas macroeconômicas crônicas que

minaram a competitividade brasileira (Bresser-Pereira, 2011, p. 14). Sua proposta reside em coordenar a economia para que o investimento produtivo, e não a atração de capital especulativo, seja o motor da prosperidade.

A pedra angular do Novo Desenvolvimentismo reside na busca pela Taxa de Câmbio de Equilíbrio Industrial, um patamar cambial que seja suficientemente desvalorizado para garantir a competitividade internacional dos setores manufatureiros e de bens comercializáveis, indo além do mero equilíbrio das contas correntes. Bresser-Pereira (2011) argumenta que, sem esse câmbio competitivo, a indústria doméstica é artificialmente onerada e inviabilizada, sendo substituída por importações, culminando inevitavelmente na desindustrialização. A política cambial torna-se, assim, um instrumento macroeconômico de fomento industrial, mais eficiente do que subsídios diretos e menos suscetível à corrupção.

A estratégia cambial se conecta diretamente ao combate da Doença Holandesa, um fenômeno em que a abundância de recursos naturais (como as *commodities* minerais) gera uma entrada excessiva de divisas estrangeiras que, por sua vez, aprecia a moeda nacional. Essa apreciação crônica penaliza os demais setores produtores de bens comercializáveis, perpetuando o ciclo extrativista e desindustrializante. “O Novo Desenvolvimentismo sugere mecanismos como a imposição de um imposto sobre a exportação de *commodities* ou a esterilização dos fluxos de capitais para neutralizar o efeito apreciador e reposicionar o câmbio no patamar industrialmente competitivo” (Bresser-Pereira, 2011, p. 10).

Diferentemente do velho modelo, o Novo Desenvolvimentismo preza pela responsabilidade fiscal e pela necessidade de o país crescer sem depender do aumento perigoso do déficit em conta-corrente, frequentemente financiado por capitais voláteis atraídos por altas taxas de juros. O modelo defende, pragmaticamente, que o crescimento sustentado deve ser alcançado com superávit ou equilíbrio seguro nas contas externas, garantindo que o desenvolvimento seja financiado por poupança interna ou Investimento Estrangeiro Direto de caráter produtivo. “Essa disciplina evita crises de balanço de pagamentos e a necessidade de recorrer ao Fundo Monetário Internacional (FMI) em momentos de turbulência” (Bresser-Pereira, 2011, p. 13).

No arcabouço do Novo Desenvolvimentismo, o papel do Estado é crucialmente o de coordenador estratégico do mercado, indo além da simples correção de falhas e atuando na promoção sistêmica da competitividade. Isso implica investimentos massivos e direcionados em Pesquisa; Desenvolvimento (P&D), na garantia de infraestrutura logística e na criação de



instituições capazes de absorver e gerar tecnologia de ponta.

A intervenção estatal, nesse sentido, é justificada para superar a inércia do mercado em setores de alto risco e elevada externalidade positiva, como a verticalização das terras raras, assegurando que o *know-how* permaneça em território nacional (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025, p. 325).

A exploração das vastas reservas de Terras Raras no Brasil configura-se como o teste de fogo para a eficácia das diretrizes do Novo Desenvolvimentismo, pois envolve um recurso de valor geopolítico e tecnológico incomparável na atualidade. A mera exportação do concentrado bruto, sem processamento, confirmaria a falência da estratégia industrial e a predominância da lógica meramente extrativista. É imperativo que a política mineral seja integrada à política cambial do ND, visando a transição imediata do extrativismo primário para a manufatura avançada, garantindo que o Brasil não seja apenas um fornecedor de matéria-prima, mas um *player* tecnológico (Brito, 2023).

O maior desafio econômico e tecnológico da cadeia reside na etapa de separação e refino dos óxidos de terras raras, um processo de alta complexidade técnica e custo elevado que, paradoxalmente, concentra a maior parte do valor agregado. Estima-se que o refino completo do concentrado mineral possa elevar seu valor de mercado em até 20 vezes (Brasil Mineral, 2025). A ausência de plantas industriais de separação em grande escala no país limita o Brasil a exportar compostos de valor reduzido, um cenário que precisa ser superado por meio de um investimento concentrado em P&D e infraestrutura de processamento de metais (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025).

A exportação não processada das terras raras, em grandes volumes, injetaria no mercado cambial uma quantidade de dólares que tenderia, de forma indesejada, a apreciar o Real, aprofundando o mecanismo da Doença Holandesa<sup>2</sup>. Esse efeito de *commodityzation* estrangularia a competitividade dos setores manufatureiros que utilizam o câmbio industrial como seu principal

---

<sup>2</sup> Com um foco estruturalista e visando o desenvolvimento de longo prazo, o Novo Desenvolvimentismo de autores como Luiz Carlos Bresser-Pereira entende a Doença Holandesa não apenas como um fenômeno temporário de *boom* de commodities, mas como uma falha de mercado estrutural e crônica nos países em desenvolvimento, responsável pela sobrevalorização de longo prazo da taxa de câmbio real (Bresser-Pereira, 2012, p. 13; Bresser-Pereira; Gala, 2010, p. 7). Esta sobrevalorização, causada principalmente pela abundância de recursos naturais (e consequente renda ricardiana nos setores primário-exportadores), inviabiliza a produção de bens manufaturados comercializáveis com maior valor agregado e mais intensivos em tecnologia, ao reduzir artificialmente sua competitividade no mercado internacional, culminando em um processo de desindustrialização e de reprimarização da pauta de exportações. Para o Novo Desenvolvimentismo, a neutralização dessa doença, frequentemente sugerida por meio de um imposto sobre a exportação de produtos primários, é uma condição macroeconômica essencial e prévia para garantir a rentabilidade e o investimento necessários para a diversificação produtiva e o crescimento sustentado (Bresser-Pereira, 2009, p. 129).



instrumento de concorrência. Portanto, a estratégia de desenvolvimento exige que a entrada de divisas da mineração seja inteligentemente gerenciada por instrumentos fiscais e cambiais do ND, garantindo que o recurso natural seja um *subsídio* para a indústria, e não sua *condenação*.

A importância das terras raras transcende a economia e atinge a soberania tecnológica e a segurança nacional, visto que esses minerais são críticos para a defesa, a energia verde e a eletrônica avançada. Ao não dominar a cadeia de valor, o Brasil permanece vulnerável à dependência de fornecedores externos, especialmente a China, que detém quase a totalidade do refino global.

O Novo Desenvolvimentismo deve usar essa alavancagem geopolítica, como o financiamento estrangeiro ao Projeto Serra Verde em Goiás (Bloomberg Línea, 2025), “para negociar ativamente a transferência de tecnologia, assegurando a autonomia na produção de ímãs permanentes e componentes estratégicos” (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025, p. 325).

A superação do *gap* tecnológico exige um compromisso inegociável com a inovação, direcionando recursos públicos e privados para dominar as técnicas de purificação dos óxidos e, subsequentemente, a fabricação de componentes. A iniciativa de inaugurar uma unidade piloto para produção de ímãs de terras raras em Minas Gerais (Brasil Mineral, 2025) é um sinal encorajador, mas que precisa ser rapidamente escalado. O domínio desse *know-how* é o que separa um país meramente extrativista de uma nação capaz de competir na vanguarda da Quarta Revolução Industrial, transformando o minério em capital humano e industrial.

O modelo australiano serve como um farol para o Brasil, pois demonstra como um país com forte base mineral conseguiu transcender o extrativismo, transformando a mineração em um sofisticado ecossistema de serviços e tecnologia. A Austrália investiu na criação de um setor de Tecnologia, Equipamentos e Serviços de Mineração (METS), onde a inovação em automação, sensoriamento e gestão de risco é exportada globalmente, agregando valor *antes* e *depois* da extração (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025). A riqueza gerada não reside apenas no minério exportado, mas na *expertise* de como extraí-lo de forma eficiente e sustentável.

A agregação de valor australiana não se limitou à metalurgia, mas concentrou-se no desenvolvimento de tecnologias de operação de mina de ponta. O país se tornou um líder mundial no fornecimento de *softwares* de planejamento, sistemas de automação de frotas e robótica, demonstrando um avanço *upstream* na cadeia produtiva. “Esse domínio tecnológico inverte a lógica do extrativismo puro, tornando a mineração um laboratório de inovação que nutre outros setores da economia, elevando a produtividade e a competitividade geral do país” (Mesquita,

Carvalho e Ogando, 2025, p. 321).

O sucesso australiano foi cimentado na criação de clusters de excelência que promovem a interação virtuosa entre Universidades, Centros de Pesquisa e Empresas de Tecnologia e de Mineração. Essa organização em rede fomenta os *spillovers* tecnológicos, assegurando que o conhecimento gerado em um setor se espalhe, aumentando o estoque de capital humano e de inovação em nível nacional. Para o Brasil, a replicação desse modelo exige a cooperação institucional entre o setor público, o setor de P&D e as empresas de mineração de terras raras para forjar um polo tecnológico nacional.

Por sua vez, o Canadá, outro gigante mineral, exemplifica o uso da mineração como vetor de desenvolvimento por meio de um forte enfoque na responsabilidade ambiental, social e de governança (ESG) e na tecnologia. O país investe no domínio de técnicas de mineração sustentável e gestão de rejeitos, o que não apenas garante o cumprimento de normas ambientais, mas confere legitimidade social e acesso privilegiado a mercados e financiamentos internacionais que priorizam práticas de alto padrão (Brito, 2023). Essa postura demonstra que a sustentabilidade não é um custo, mas um diferencial competitivo estratégico.

O compromisso canadense com a P&D é fortemente direcionado para soluções que minimizem os impactos socioambientais, como o desenvolvimento de tecnologias de monitoramento em tempo real, gestão hídrica eficiente e novos métodos de beneficiamento. Essa abordagem proativa em relação aos desafios ambientais não apenas mitiga riscos operacionais, mas posiciona o Canadá como um exportador de *expertise* em mineração verde. O Brasil pode adotar essa prioridade para o setor de terras raras, concentrando o esforço tecnológico na segurança de barragens e no manejo de rejeitos complexos (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025).

O sucesso de Canadá e Austrália também passa pela adoção de instrumentos fiscais e regulatórios que incentivam explicitamente a agregação de valor local, em vez de apenas a exportação do mineral bruto. Políticas como o *Diferimento de Royalty* para projetos de minerais críticos, observado em regiões como New South Wales (Austrália), ou incentivos fiscais para exploração e P&D (*Tax Incentives for Mining and Exploration* no Canadá), demonstram um Estado que usa a política fiscal como ferramenta para atrair e direcionar o capital para as etapas mais sofisticadas da cadeia. O Brasil precisa urgentemente adaptar sua estrutura tributária para alinhar os incentivos do setor mineral à agenda do Novo Desenvolvimentismo.

Ainda o Canadá e Austrália têm aprofundado a colaboração em minerais críticos por meio de declarações conjuntas, visando garantir cadeias de suprimentos seguras e sustentar o padrão

ESG de produção global. Essa cooperação visa estabelecer normas de alto padrão e enfrentar desafios comuns, como os altos custos de capital e os objetivos de governança (Colaboração Austrália e Canadá).

O Brasil, ao possuir a segunda maior reserva de terras raras, deve engajar-se ativamente nessas alianças internacionais, não apenas para atrair investimento, mas para internalizar os *benchmarks* de sustentabilidade e provar que sua mineração é responsável, evitando o estigma de fornecedor de baixo custo e baixo padrão.

Neste sentido, O Brasil consolidou-se como detentor da segunda maior reserva mundial de Elementos de Terras Raras (ETR), com aproximadamente 21 milhões de toneladas de óxidos totais de terras raras (OTR), o que representa cerca de 23% do total global (Lins et al., 2025). Esta vasta riqueza mineral, que inclui elementos cruciais como o Neodímio e o Disprósio, confere ao país uma importância geopolítica ímpar no contexto da transição energética e tecnológica global, que demanda esses minerais para a fabricação de ímãs permanentes de alta performance, essenciais em turbinas eólicas, veículos elétricos, equipamentos de defesa e *smartphones* (Scherer; Lima, 2018, p. 49).

A concentração de reservas confere ao Brasil uma vantagem de barganha em um cenário internacional marcado pela intensa disputa por suprimentos e pelo quase monopólio chinês no refino e “processamento desses elementos, tornando-se um parceiro estratégico vital para nações que buscam diversificar suas cadeias de fornecimento e garantir sua soberania tecnológica” (Rocio et al., 2012, p. 385).

Para que este potencial se converta em um motor de desenvolvimento e não apenas em uma “maldição dos recursos naturais” (Santos, 2025), o Brasil deve superar a condição de mero exportador de concentrado bruto, focando na agregação de valor por meio do domínio da cadeia produtiva completa, em especial a etapa de separação e refino dos elementos puros. A importância econômica das terras raras para o Brasil reside, portanto, não na exploração primária, mas na capacidade de atrair investimentos em P&D e tecnologia nacional para o processamento de alta complexidade, gerando indústria de ponta e empregos qualificados (Brasil Mineral, 2025).

Adotar uma política industrial robusta e de longo prazo, coordenada entre governo, setor privado e academia, permitirá ao país aproveitar essa janela de oportunidade histórica para ascender a um patamar de competitividade tecnológica e garantir um futuro onde sua riqueza mineral contribua decisivamente para a diversificação de sua matriz econômica e para o desenvolvimento sustentável (Rocio et al., 2012, p. 405).

A verticalização da cadeia de terras raras é, sob a lógica do Novo Desenvolvimentismo, a política pública mais coerente para o setor. O plano deve ser concebido para utilizar a produção mineral inicial como alavanca e *matéria-prima cativa* para o desenvolvimento de uma indústria nacional de ímãs e eletrônicos, rompendo com o modelo extrativista. O Estado deve coordenar a criação de *joint ventures* e parcerias com o setor privado, não para substituir o mercado, mas para reduzir o risco inicial e garantir o *scale-up* industrial que o capital doméstico, por si só, não consegue alcançar (Bresser-Pereira, 2011, p. 10).

O financiamento do Projeto Serra Verde em Goiás por potências como os EUA (Bloomberg Línea, 2025) sublinha a importância geopolítica do Brasil como alternativa à dependência chinesa. O Estado, sob o ND, deve usar essa demanda externa como ferramenta de barganha, impondo como condição para o acesso às reservas a transferência compulsória de tecnologia de refino e o compromisso de instalação de unidades de fabricação de componentes no país. O capital estrangeiro deve ser um meio para a reindustrialização, e não apenas um agente da extração primária.

O sucesso da verticalização passa inequivocamente pelo domínio da tecnologia de beneficiamento, especialmente na separação e purificação dos minerais, que exigem reagentes e processos sofisticados. O investimento em CT&I deve ser prioridade máxima, focando na criação de *clusters* tecnológicos que liguem a pesquisa mineral à manufatura avançada, utilizando a experiência de centros de pesquisa já existentes. “A transformação do minério em produto de alto valor é a única forma de garantir que a riqueza do subsolo não seja apenas um *cash-flow* temporário, mas um *ativo permanente* de conhecimento” (Mesquita, Carvalho e Ogando, 2025, p. 320).

O alinhamento com a Mineração Sustentável do Século XXI (Brito, 2023) é um ponto não negociável da estratégia de desenvolvimento, especialmente em um contexto de desastres ambientais históricos no Brasil. A adoção de boas práticas, controle ambiental rigoroso e alinhamento aos princípios ESG (Ambiental, Social e Governança) deve ser a premissa de qualquer novo empreendimento. Essa postura não apenas mitiga os riscos e conflitos sociais, mas é um requisito de mercado, garantindo o acesso a investidores globais que penalizam a baixa governança e o impacto socioambiental negligente.

A plena implementação da estratégia Novo Desenvolvimentista no setor mineral exige que o Brasil supere seus déficits de governança e regulação, que se manifestam na burocracia do licenciamento ambiental e na lentidão processual. A complexidade e a ineficiência do processo

regulatório desincentivam o investimento de longo prazo e a adoção de tecnologias inovadoras que, por vezes, requerem projetos de engenharia inéditos. O Estado deve, portanto, promover uma reforma regulatória que alie a celeridade processual à rigidez técnica, garantindo a atração de capital produtivo sem comprometer o padrão de sustentabilidade.

Uma mineração verdadeiramente desenvolvimentista deve olhar para além da extração, integrando conceitos de economia circular<sup>3</sup> por meio da Logística Reversa e da reutilização de subprodutos. As inovações em técnicas de reciclagem de rejeitos e a transformação de resíduos em recursos valiosos são cruciais para reduzir o impacto ambiental e gerar novas cadeias de valor. O Plano Nacional de Mineração (PNM 2022-2050) já aponta para a importância da sustentabilidade na indústria mineral, exigindo que o país invista em tecnologias que transformem o que é hoje um passivo ambiental em uma nova oportunidade econômica (Desenvolvimento Sustentável na Indústria Mineral Brasileira, 2025, p. 130).

A justificativa última para a reorientação macroeconômica e industrial proposta pelo ND encontra sua base ética na concepção de Desenvolvimento como Liberdade. Nessa ótica, o desenvolvimento não se mede apenas pelo aumento da riqueza material, mas pela expansão da liberdade dos indivíduos, definida como a remoção de privações que limitam as escolhas e a capacidade de ser um agente ativo na sociedade. Sen (2000, p. 42-43) coloca o aumento da renda como um meio, e não como o fim, do processo de desenvolvimento.

Para Sen (2000, p. 26), “o desenvolvimento exige a expansão de cinco liberdades instrumentais interligadas: políticas, econômicas, sociais, garantias de transparência e seguranças protetoras”. A riqueza gerada pela verticalização das terras raras, se for inteligentemente gerenciada pelo Estado Novo Desenvolvimentista, deve ser convertida em recursos públicos para financiar a liberdade social – nomeadamente, o acesso universal a uma educação de excelência e a um sistema de saúde robusto. Essa conversão é o elo que transforma o sucesso econômico em *bem-estar* social e justiça distributiva.

---

<sup>3</sup> A Economia Circular é um modelo de desenvolvimento econômico que se contrapõe diretamente ao tradicional sistema linear de “extrair, produzir, usar e descartar” (*take-make-dispose*), buscando uma regeneração intrínseca dos materiais e dos ecossistemas (Ellen MacArthur Foundation, 2017, p. 11). Estruturada sob três princípios-chave — eliminar resíduos e poluição, manter produtos e materiais em uso pelo maior tempo possível e regenerar sistemas naturais — ela visa desvincular o crescimento econômico do consumo de recursos finitos, promovendo a concepção de produtos e sistemas para a máxima durabilidade, reparabilidade e reutilização (Ellen MacArthur Foundation, 2017, p. 22). Este modelo, que exige uma mudança de *design* desde a fase inicial, transforma o conceito de resíduo em recurso ou nutriente (seja no ciclo técnico, seja no biológico), fomentando inovações em modelos de negócios (como o *produto como serviço*), na logística reversa e na simbiose industrial, resultando em ganhos de eficiência econômica, redução de externalidades ambientais e aumento da resiliência das cadeias de suprimentos (Ghisellini; Cialani; Ulgiati, 2016, p. 12).

A perspectiva de Amartya Sen (2000) enfatiza a importância de o indivíduo ser visto como um agente ativo que molda seu próprio destino, e não apenas como um beneficiário passivo (*paciente*) de políticas assistencialistas. Ao construir uma sofisticada indústria de terras raras, o Brasil não apenas gera divisas, mas principalmente cria postos de trabalho que exigem alta qualificação e criatividade, transformando a mão de obra em capital humano e tecnológico. Esse processo empodera o cidadão como co-construtor do desenvolvimento, investindo em sua *condição de agente* (Pansieri, 2017).

A mera geração de riqueza pela mineração, sem uma política de redistribuição eficiente, pode aprofundar a desigualdade, visto que a atividade é intensiva em capital e não em mão de obra. A adoção do Novo Desenvolvimentismo e da lente de Sen (2000) exige que o retorno social da exploração mineral seja maximizado através de mecanismos fiscais progressivos e royalties justos. A canalização desses recursos para o financiamento de programas de capacitação e educação tecnológica é crucial para garantir que as comunidades historicamente afetadas pela mineração se tornem as principais beneficiárias da nova economia de alto valor agregado.

A garantia de transparência e a luta contra a corrupção são liberdades instrumentais cruciais para o desenvolvimento (Sen, 2000). Em um setor tão suscetível a grandes volumes de recursos e pressões políticas como a mineração, a governança eficaz e a fiscalização rigorosa dos contratos são essenciais para evitar que a riqueza das terras raras se desvie para interesses privados.

O Estado, no papel de coordenador do Novo Desenvolvimentismo, deve ser o guardião da probidade, assegurando que os mecanismos de combate à Doença Holandesa e os recursos de P&D sejam geridos com a máxima responsabilidade em prol de toda a sua população.

O caminho para que o Brasil alcance o seu potencial de país mais igualitário e justo reside na síntese audaciosa entre as estruturas macroeconômicas. Deve-se aplicar o rigor do Novo Desenvolvimentismo para reindustrializar a cadeia de valor das terras raras, transformando o minério em tecnologia e capital humano, tal como fizeram Austrália e Canadá. Simultaneamente, é preciso que a riqueza gerada seja investida na expansão das capacidades e liberdades dos brasileiros, conforme preconiza Amartya Sen. “Essa tríade – Câmbio Competitivo, Industrialização Estratégica e Expansão de Liberdades – é a rota para um desenvolvimento perene, soberano e eticamente justo” (Bresser-Pereira, 2011, p. 7).

## TERRAS RARAS: O ALICERCE METÁLICO PARA UM DESENVOLVIMENTO JUSTO E SOBERANO

Os Elementos de Terras Raras (ETR) constituem um coletivo singular de 17 elementos químicos, que abarcam os 15 lantanídeos — do lantânio ao lutécio — agregados ao ítrio e ao escândio, os quais ostentam notáveis similitudes físico-químicas. Sua designação histórica, que evoca escassez, configura-se como um paradoxo geológico, visto que alguns ETR, como o Cério, demonstram maior ubiquidade na crosta terrestre do que metais tradicionalmente explorados, a exemplo da prata (Jornal da USP, 2025).

A autêntica complexidade, e o fator que lhes confere a nomenclatura de "raros" em termos de processamento, reside na quase idêntica reatividade química, fruto do fenômeno denominado contração lantanídica (Souza; Nascimento; Giese, 2019, p. 33). Essa semelhança extrema impõe que a separação e o refino individualizados dos elementos sejam uma empreitada de altíssima sofisticação tecnológica e custo operacional.

As Terras Raras são imprescindíveis em suas aplicações em razão de suas propriedades excepcionais — magnéticas, luminescentes e catalíticas — que lhes permitem funcionar como agentes de otimização de *performance* em microcomponentes (IBRAM, 2025). O neodímio, o praseodímio e o disprósio, por exemplo, compõem a base para a produção dos mais potentes ímãs permanentes conhecidos, vitais para a conversão de energia em movimento, e vice-versa.

O conjunto dos ETR é convencionalmente fragmentado em terras raras leves (LREE), a exemplo do lantânio e cério, usualmente mais profusas, e terras raras pesadas (HREE), “como o térbio e o disprósio, estas últimas notadamente mais deficitárias, complexas de encontrar e, por conseguinte, de maior valor venal e criticidade para o desenvolvimento tecnológico” (Antoniassi, 2017, p. 33). Esta distinção é capital para a dinâmica econômica e para as estratégias de abastecimento global.

A significância dos ETR não é confinada à esfera científica, mas é profundamente industrial e geopolítica, sendo categorizados globalmente como Minerais Críticos e Estratégicos (IBRAM, 2025). Sua criticidade emana da confluência de dois vetores: a essencialidade em produtos de alto valor agregado e a vulnerabilidade acentuada de suprimento, geograficamente concentrada em poucas nações.

O papel das Terras Raras (TR) na vanguarda científica e tecnológica é absolutamente estratégico, elevando-as de meras *commodities* a elementos essenciais para a própria fundação do



futuro da humanidade. Devido às suas propriedades magnéticas, catalíticas e ópticas singulares, esses 17 elementos químicos são hoje o alicerce da Quarta Revolução Industrial<sup>4</sup> e da transição energética, sendo insubstituíveis em superímãs de neodímio-ferro-boro para motores de veículos elétricos e turbinas eólicas de alta eficiência, além de serem vitais em telas de *smartphones* e sistemas de defesa (Santos, 2024, p. 1).

Contudo, a verdadeira genialidade das TR reside em seu potencial para moldar tecnologias ainda inexistentes: elas são a chave para o desenvolvimento de catalisadores quânticos ultrasseletivos que podem revolucionar a captura de carbono e a síntese de novos materiais com propriedades exóticas (Souza; Nascimento; Giese, 2019, p. 33), ou mesmo viabilizar a computação quântica através de *qubits* baseados em íons de Terras Raras, o que aceleraria a descoberta de novos medicamentos e a criação de Inteligências Artificiais de um poder inimaginável. Portanto, o domínio da cadeia de valor das Terras Raras não é apenas uma questão de soberania econômica, mas o "passaporte para o futuro" tecnológico, determinando quais nações liderarão a próxima era de inovação científica (IBRAM, 2025, p. 3).

A materialidade do passaporte para o futuro (IBRAM, 2025, p. 3) reside, precisamente, na superação dos desafios da química analítica dos lantanídeos. Enquanto a natureza os amontoa, a engenharia metalúrgica deve ser capaz de disgregá-los e individualizá-los com eficiência, transformando o concentrado primário em óxidos e ligas de pureza absoluta, consolidando, de fato, a soberania sobre o valor final.

As Terras Raras são o sustentáculo discreto que propulsiona a Quarta Revolução Industrial, impregnando-se em virtualmente todo artefato que demanda eficiência, miniaturização e desempenho máximo (Souza; Nascimento; Giese, 2019, p. 23). De telas de *smartphones* a lasers de precisão, de catalisadores automotivos a fibras ópticas, a presença dos ETR confere a viabilidade técnica e a escala mercadológica desses produtos.

---

<sup>4</sup> A Quarta Revolução Industrial (4IR ou Indústria 4.0), termo popularizado pelo economista e fundador do Fórum Econômico Mundial, Klaus Schwab, é definida como uma transformação sistêmica caracterizada pela fusão de esferas e tecnologias que transcendem os mundos físico, digital e biológico, distinguindo-se das revoluções anteriores pela sua velocidade, escopo e profundo impacto na sociedade e nos sistemas de produção (Schwab, 2016, p. 12). Ao contrário da Terceira Revolução (que utilizou eletrônica e TI para automatizar a produção), a 4IR se baseia na interconexão e inteligência, impulsionada por tecnologias como a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT), a computação em nuvem, o *Big Data*, a robótica avançada e a manufatura aditiva (impressão 3D), permitindo a criação de sistemas ciberfísicos (Santos, 2017, p. 30). Essa integração resulta em fábricas inteligentes e na otimização de toda a cadeia de valor, prometendo ganhos exponenciais de eficiência e produtividade, ao mesmo tempo em que levanta desafios éticos e sociais profundos relacionados à privacidade, segurança cibernética e ao futuro do trabalho (Schwab, 2016, p. 55).

Porém, o papel mais vital dos ETR está focalizado na transição energética planetária. O neodímio e o disprósio são impreteríveis na confecção de turbinas eólicas *offshore* e nos motores de Veículos Elétricos (VEs), pois viabilizam a máxima eficiência de conversão energética em um dispositivo leve e compacto (Itatiaia, 2025). Destituída do domínio dessa cadeia, a descarbonização das economias avançadas torna-se irrealizável.

A pertinência dos ETR extrapola o mercado civil, sendo determinante para a segurança nacional e a indústria de defesa. Sistemas de guiagem de mísseis, radares sofisticados, sistemas de comunicação por satélite e *displays* militares “dependem da performance superior que somente as terras raras podem proporcionar” (Jornal Imagem, 2025, p. 3). A posse e o beneficiamento desses minerais traduzem-se, destarte, em poder geopolítico e autonomia tecnológica.

O montante de mercado global para elementos de terras raras reflete sua importância crescente na economia digital e verde. O mercado, avaliado em US\$ 3,39 bilhões em 2023, é estimado para mais do que duplicar, alcançando US\$ 8,14 bilhões em 2032. Essa Taxa de Crescimento Anual Composta (CAGR) de 10,2% evidencia que a demanda está em franca ascensão, sinalizando uma robusta oportunidade econômica.

A estrutura de suprimentos de ETR é caracterizada por uma intensa concentração geográfica. Embora o refino e a produção de ímãs e ligas sejam as etapas de maior agregação de valor (Mesquista; Carvalho; Ogando, 2025, p. 332), é a China quem monopoliza a avassaladora maioria do processamento global, supervisionando cerca de 90% da capacidade de refino (Movimento Econômico, 2025, p. 6). Essa hegemonia impõe uma vulnerabilidade estratégica a todos os demais países consumidores.

O Brasil, munido de um imenso e subexplorado potencial geológico, detém a segunda maior reserva mundial de Terras Raras, totalizando cerca de 21 milhões de toneladas de Óxidos de Terras Raras Equivalentes (OTR), o que corresponde a aproximadamente 23% do total global de 90 Mt. Essa posição projeta o país como um protagonista central e indiscutível na reconfiguração da malha de suprimentos minerais.

Em contraste com seu potencial de jazida, a produção brasileira de ETR é ainda incipiente e periférica no panorama global. Em 2024, a extração do país representou apenas cerca de 1% da produção mundial, divergindo da liderança produtiva da China (69%). Esse desequilíbrio entre acervo e rendimento testifica a premente necessidade de uma política industrial proativa e de investimentos vultosos em infraestrutura de extração e beneficiamento.

O principal perigo para o Brasil não é a ausência de reservas, mas a sedução de se manter na condição de mero exportador de *commodity* rudimentar, perpetuando o ciclo extrativista de baixa complexidade. “A comercialização do concentrado bruto, desprovida de refino e separação, injetaria divisas no mercado que podem, paradoxalmente, apreciar o Real e exacerbar a Doença Holandesa, penalizando a indústria manufatureira” (Bresser-Pereira, 2011, p. 10).

A solução para transmutar a opulência geológica em desenvolvimento socioeconômico reside na verticalização integral da cadeia produtiva, que se inicia na separação e refino dos óxidos e culmina na fabricação de ímãs permanentes e componentes eletrônicos de ponta (Mesquista; Carvalho; Ogando, 2025). Essa transição, que demanda um salto tecnológico, é onde o valor do minério é elevado ao máximo, potencializando seu valor em diversas ordens de magnitude (Brasil Mineral, 2025).

O domínio da tecnologia de separação química e metalurgia avançada das Terras Raras não é meramente uma questão econômica, mas um imperativo de autonomia tecnológica. O País precisa urgentemente transpor a dependência de tecnologia alienígena para as etapas *midstream* e *downstream* da cadeia, assegurando que o conhecimento e o capital humano sejam retidos em território nacional (IBRAM, 2025).

Para que a exploração das Terras Raras atue como propulsor de equidade, e não de mera acumulação concentrada, ela precisa ser articulada sob o arcabouço do Novo Desenvolvimentismo (ND). O ND preconiza um Estado que, com cautela fiscal, atua estrategicamente para garantir a Taxa de Câmbio de Equilíbrio Industrial (Bresser-Pereira, 2011). Somente um câmbio competitivo viabiliza que a manufatura de alto valor, como a de ímãs de neodímio, floresça.

A riqueza das Terras Raras, se mal conduzida, pode ser a sentença do projeto industrial brasileiro, “reforçando o ciclo de exportação primária” (Bresser-Pereira, 2011, p. 10). O Novo Desenvolvimentismo exige a implementação de dispositivos, como um tributo sobre a exportação de *commodities*, para neutralizar o efeito apreciador da moeda e canalizar a riqueza extrativista para subsidiar o desenvolvimento industrial e a P&D do setor de alta tecnologia.

O propósito ético da exploração mineral deve ser balizado pelo princípio do Desenvolvimento como Liberdade de Amartya Sen. Nesta ótica, a fortuna gerada pela mineração deve ser vista como um instrumento para a expansão das capacidades humanas e das liberdades dos cidadãos (Sen, 2000, p. 43). A extração, neste sentido, é legítima somente se converter-se em educação, saúde e oportunidades.

A concepção de uma indústria de Terras Raras verticalizada e de alta tecnologia demanda e promove empregos qualificados, transmutando o cidadão de um beneficiário passivo (*paciente*) em um agente ativo do desenvolvimento (Sen, 2000, p. 26). Essa primazia na qualificação e na condição de agente é a chave para a edificação de uma sociedade mais equilibrada, pois atenua a disparidade de oportunidades no mercado de trabalho (Pansieri, 2017).

Uma mineração desenvolvimentista deve ser, inexoravelmente, uma Mineração do Século XXI, marcada pela excelência em práticas de ESG<sup>5</sup> (Ambiental, Social e Governança) “e o domínio de técnicas de extração e beneficiamento sustentáveis (Brito, 2023, p. 2-3). A legitimidade social e a mitigação dos impactos ambientais, como a gestão de rejeitos complexos, são pré-requisitos éticos e de mercado que garantem o acesso a financiamentos e a anuência pelas comunidades afetadas (Desenvolvimento Sustentável na Indústria Mineral Brasileira, 2025).

O aporte em P&D para masterizar a separação e o refino dos ETR deve ser intrinsecamente ligado à lapidação de capital humano de elevadíssimo nível, por meio de programas de engenharia mineral, química e de materiais. Essa convergência entre recurso natural e saber é a única via para assegurar que o Brasil não apenas extraia, mas gere e conserve o valor de seu subsolo.

Dada a criticidade e o elevado valor geopolítico das Terras Raras, a implementação de mecanismos de transparência e governança estrita é fundamental para o projeto nacional. A carência de probidade constitui uma das privações que restringem as liberdades instrumentais e corrompem o processo de desenvolvimento (Sen, 2000).

O fomento externo de projetos de terras raras no Brasil, como o observado em Goiás, demonstra a confiança internacional no potencial brasileiro e a necessidade dos EUA e aliados de diversificar a cadeia global (Bloomberg Línea, 2025). O Estado deve capitalizar essa demanda para negociar transferência de tecnologia e coprodução de componentes de alto valor, convertendo o capital estrangeiro em um dínamo para a reindustrialização.

---

<sup>5</sup> A Governança ESG (Ambiental, Social e Governança) representa um novo e inegociável paradigma que transcende a antiga dicotomia entre lucro e responsabilidade social, sendo, hoje, a própria licença para operar da indústria moderna. O conceito estabelece que o valor de uma empresa não é medido apenas pelo resultado financeiro, mas pela forma como gerencia seu impacto no meio ambiente, se relaciona com suas comunidades e mantém a integridade e a transparência de sua gestão corporativa. Na mineração sustentável, a aplicação do ESG é o fator de conversão do recurso finito em capital perene. O componente Ambiental (E) exige a adoção de tecnologias de baixo impacto, como o empilhamento a seco de rejeitos, visando a minimização do dano ao ecossistema (Salum; Andradre, 2025, p. 8). O fator Social (S) direciona a atividade a ser um vetor de desenvolvimento como liberdade, exigindo que os projetos minerais expandam as capacidades dos indivíduos e não apenas gerem renda, garantindo o respeito e a consulta às comunidades afetadas (Sen, 2000, p. 26). Por fim, o Governança (G) impõe a transparência na aplicação de *royalties* e a integridade nos processos de licenciamento, mitigando o risco de corrupção e garantindo a coordenação de políticas públicas estratégicas (Brito, 2023, p. 2). Assim, o ESG não é um custo, mas a única rota para a atração do capital de risco global (o chamado *friendshoring*), transformando a mineração em uma atividade que, de fato, contribui para a soberania nacional e para um futuro mais justo e sustentável.

Se o Brasil resvalar na execução de uma política industrial estratégica para os ETR, consentindo a exportação de minério bruto e sucumbindo à Doença Holandesa, a opulência das Terras Raras converter-se-á em um fator de disparidade estrutural, intensificando a dependência e a fragilidade externa (Bresser-Pereira, 2011). O desfecho será o alargamento da distância entre o crescimento e o desenvolvimento.

O trilho para o Brasil ascender a um patamar de nação justa e soberana requer uma escolha estratégica inequívoca: utilizar as Terras Raras como matéria-prima cativa e alavanca para a manufatura avançada, ancorada por uma política macroeconômica desenvolvimentista. Essa síntese entre riqueza mineral, P&D e a expansão de liberdades é a única rota capaz de transubstanciar o potencial geológico em prosperidade e equidade duradouras.

Em síntese, a conjuntura geopolítica e tecnológica eleva a questão das Terras Raras de um tema setorial a um projeto de Estado que define o futuro da economia brasileira. A capacidade de transitar do extrativismo primário para a metalurgia de ponta é o verdadeiro teste para a ambição desenvolvimentista do País, determinando se o subsolo financiará a autonomia ou a subordinação permanente.

## **MINERAÇÃO DE TERRAS RARAS COMO VETOR DE DESENVOLVIMENTO HUMANO E TECNOLÓGICO**

A mineração, em sua essência milenar, carrega a dupla face da promessa e do desafio. No Século XXI, essa dualidade se cristaliza na exploração dos Elementos Terras Raras (ETR) — o “ouro invisível” da era digital (Santos, 2024, p. 1). O Brasil, detentor de vastas reservas globais (Santos, 2024, p. 1), encontra-se em um limiar estratégico: transformar o potencial geológico em soberania tecnológica e, mais crucialmente, em prosperidade social.

A transição energética global, impulsionada pela descarbonização e pela eletrificação, não é apenas uma revolução ambiental, mas uma revolução material. Os ETR, essenciais em superímãs de turbinas eólicas, veículos elétricos e dispositivos de alta tecnologia, tornam-se, por excelência, os minerais críticos e estratégicos que definem o poder geopolítico e a capacidade de inovação de uma nação (IBRAM, 2025).

O desafio brasileiro reside no paradoxo de ser rico em matéria-prima e, simultaneamente, vulnerável em sua cadeia de valor. Históricos ciclos extrativistas alertam para o risco de persistir no modelo de neoextrativismo (Wanderley *et al.*, 2023, p. 199), exportando *commodities* de baixo

valor agregado e importando as tecnologias caras que delas dependem.

Superar essa condição exige uma ruptura paradigmática: a mineração produtiva e o desenvolvimento social devem convergir em um projeto nacional, o que demanda uma inequívoca Licença Social para Operar (SLO) e a superação dos conflitos inerentes à exploração mineral.

A mineração de terras raras deve, portanto, ser concebida não como um fim em si mesma, mas como o meio para edificar um futuro mais promissor. Esse futuro é forjado na capacidade de o País dominar as etapas de maior valor agregado, desde a geologia de precisão até a produção de componentes finais, como os ímãs de neodímio-ferro-boro (NdFeB) (Santos, 2024).

Para que o minério bruto se converta em capital social, a atividade minerária precisa ser intrinsecamente responsável: sustentável na ecologia, equânime na distribuição de benefícios e blindada contra os vícios da dependência externa, pela garantia da consulta prévia e da justa repartição de benefícios, em um imperativo de governança ética.

A mineração responsável, no contexto dos ETR, transcende o mero cumprimento de normas ambientais. Ela demanda uma gestão ecologicamente equilibrada que enfrente as complexidades inerentes à lavra desses minérios, frequentemente associados a elementos radioativos e que geram resíduos de difícil tratamento (Souza; Nascimento; Giese, 2019, p. 1). Adicionalmente, a exigência da Licença Social para Operar (SLO) e a efetivação da Consulta Prévia, Livre e Informada às comunidades impactadas são tão cruciais quanto o cumprimento das licenças ambientais para legitimar socialmente a atividade.

O abandono do obsoleto “paradigma tecnocrático” (IBRAM, 2025, p. 3) é crucial. A inovação ambiental não pode ser uma mera correção de curso, mas sim o princípio orientador, promovendo uma interação mais “saúdável e harmoniosa” entre os sistemas naturais e os sistemas sociais, conforme a filosofia do Papa Francisco (IBRAM, 2025, p. 3). Esse novo paradigma exige que a gestão de risco socioambiental seja o ponto de partida do planejamento de mina, e não uma reação posterior.

“A busca por operações mais sustentáveis impõe a adoção de tecnologias de ponta, como a automação, o controle remoto e a digitalização das minas (Mineração 4.0)” (Mesquita; Carvalho; Ogando. 2025, p. 327). O uso da Mineração 4.0 minimiza o risco humano, aumenta a eficiência e, sobretudo, permite um gerenciamento mais acurado dos impactos ambientais, como o consumo de água e a emissão de gases de efeito estufa, alinhando a produtividade ao desempenho ambiental.

A gestão de rejeitos representa um dos maiores desafios éticos e práticos da mineração moderna. O investimento em novas tecnologias de disposição, como o empilhamento a seco (*dry stacking*), “deve ser priorizado, reduzindo drasticamente o passivo ambiental e o risco social associado a barragens” (Salum; Andrade, 2025 p. 45).

Outro ponto nevrálgico é o processamento mineral. Devido à notória similaridade química e física dos lantanídeos (Contração Lantanídica), a separação dos elementos de terras raras é o gargalo tecnológico e energético mais custoso, “exigindo Pesquisa & Desenvolvimento (P&D) intensiva em processos hidrometalúrgicos e pirometalúrgicos limpos e eficientes” (Antoniassi, 2017, p. 4;), incluindo rotas de fronteira como a biolixiviação e o uso de organofosforados para a separação dos lantanídeos, com o objetivo de mitigar os rejeitos radioativos.

A mineração ecologicamente equilibrada e produtiva de ETR só será alcançada com um ciclo virtuoso: a rentabilidade gerada pela alta produtividade deve ser imediatamente reinvestida em tecnologias que mitigam o impacto, como a biorremediação de resíduos e o desenvolvimento de materiais alternativos, fechando um ciclo de economia circular. Este modelo de autorregeneração tecnológica assegura a longevidade e a competitividade do setor, além de mitigar a pressão sobre recursos finitos.

O uso estratégico da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) e, principalmente, a criação de mecanismos de financiamento direto à P&D são imperativos. É crucial que a política fiscal vá além da simples tributação extrativista, instituindo um sistema de incentivos fiscais condicionais que vinculem a redução de tributos à agregação de valor *in loco* e à alocação de um percentual mínimo e sustentável do faturamento bruto em P&D, garantindo a competitividade e a proteção do setor manufatureiro. “O Brasil deve evitar os sintomas da “doença holandesa” (Bresser-Pereira, 2011, p. 10), diversificando sua matriz econômica.

Ao gerar recursos públicos estáveis e substanciais, o capital mineral deve financiar o investimento de longo prazo em infraestrutura social – saúde, educação e, vitalmente, na formação de capital humano, através de um Plano Nacional de P&D para ETR de 15 anos, com a possível criação de um Fundo Soberano de Riqueza Mineral. O direcionamento de recursos para programas específicos como o Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico dos Minerais de Elementos Terras-Raras (PADETR), ou para Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCTs) é a materialização do investimento em soberania tecnológica.

O nexó ético e filosófico da mineração estratégica reside no conceito de Desenvolvimento



como Liberdade. Nessa visão, o desenvolvimento não se mede apenas pelo crescimento do PIB ou pela receita mineral, mas pela expansão das liberdades substantivas das pessoas, garantindo a substituição do trabalho adscritício por um sistema de contratação livre e pela "movimentação física irrestrita dos trabalhadores" (Sen, 2000, p. 43). A mineração de ETR, ao financiar a capacitação, age diretamente na expansão das “liberdades instrumentais” (Sen, 2000, p. 26).

A capacitação de recursos humanos em engenharia mineral, química, ciência de materiais e microeletrônica (específicas para a cadeia de ETR) é, portanto, um investimento em liberdade e funcionalidade (Santos, 2024, p. 1). A articulação entre universidades, centros de pesquisa (como CETEM e IPT), e escolas técnicas (SENAI) com o setor mineral é o motor dessa capacitação. Essa sinergia garante que a pesquisa se traduza em inovação aplicável, formando uma mão de obra altamente qualificada e apta a dominar todo o ciclo produtivo. A verdadeira genialidade reside em usar um recurso finito (o mineral) para gerar um recurso infinito (o conhecimento).

A mineração de Terras Raras é indissociável da Quarta Revolução Industrial (Mesquita; Carvalho; Ogando. 2025). A prioridade tecnológica deve ser o domínio do *midstream* da cadeia, ou seja, o beneficiamento e a metalurgia extrativa. Além da extração primária, o investimento em tecnologia deve impulsionar a Economia Circular. Ao dominar a tecnologia de produção de ímãs de alto desempenho e a reciclagem de ETRs a partir de *e-waste*, o Brasil deixa de ser um mero fornecedor de minério e se posiciona como um *player* essencial para a indústria de defesa, de mobilidade elétrica e de energias renováveis na América Latina.

A ligação proposta entre mineração produtiva de terras raras e o financiamento de políticas públicas, baseada no conceito de “Desenvolvimento como Liberdade” (Sen, 2000, p. 42), é a arquitetura de um novo pacto nacional. É a síntese entre a ética socioambiental e a pragmática tecnológica, onde a riqueza natural é tratada como um capital intergeracional. Somente ao usar o potencial geológico para financiar a liberdade e a capacidade dos seus cidadãos, o País pavimentará, de forma brilhante e sustentável, os caminhos para um futuro melhor.

A exploração dos Elementos Terras Raras (ETR) no Brasil deve ser redefinida como um vetor estratégico que transcende a mera atividade extrativa, posicionando-se como uma pilastra de Desenvolvimento como Liberdade (SEN, 2000). O desafio central reside em converter a vasta riqueza mineral do País (Santos, 2024) em capital social, superando o risco do neoextrativismo histórico e assegurando a Licença Social para Operar (SLO) mediante a consulta prévia e a justa

repartição de benefícios.

Essa conversão exige uma mineração intrinsecamente sustentável e responsável, que utilize o capital gerado para financiar a capacitação humana e o domínio tecnológico, promovendo a expansão das liberdades substantivas e a condição de agente dos indivíduos (Sen, 2000). Desta forma, o setor mineral deixa de ser apenas um fornecedor de *commodities* e assume seu papel como “passaporte para o futuro” (IBRAM, 2025, p. 3), ancorando uma agenda nacional de longo prazo.

A implementação de uma mineração sustentável de ETR é inseparável do conceito de Novo Desenvolvimentismo, que preconiza o uso estratégico da riqueza primária para a industrialização e a diversificação da matriz econômica (Bresser-Pereira, 2011, p. 34). Superar o gargalo tecnológico imposto pela complexidade da Contração Lantanídica e o alto custo do processamento exige o abandono do “paradigma tecnocrático” obsoleto em favor de investimentos maciços em P&D, com foco no horizonte de 15 anos e na exploração de rotas de fronteira, como a biolixiviação (Souxa; Nascimento; Giese, 2019, p. 1). Esse investimento deve priorizar a capacitação de engenheiros e cientistas para dominar o *midstream* da cadeia e a produção de ligas magnéticas (Mesquita; Carvalho; Ogando. 2025). A rentabilidade da mineração, assim, deve ser reinvestida em tecnologias limpas, como o empilhamento a seco de rejeitos (*dry stacking*) e a economia circular.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa atinge seu epílogo após uma análise minuciosa sobre a encruzilhada estratégica em que se encontra o Brasil, diante da geopolítica dos minerais críticos. A vasta riqueza em Elementos Terras Raras, paradoxalmente, configura um risco e uma promessa, exigindo da nação uma ruptura definitiva com os modelos extrativistas do passado.

Nossa problematização central, que postulou a mineração sustentável de ETR como vetor de desenvolvimento como liberdade e soberania nacional, demonstrou-se não apenas válida, mas um imperativo inadiável para a consolidação de um projeto de país no Século XXI. A mera inação ou a manutenção do *status quo* extrativista, neste campo, é, em si, uma decisão estratégica de subordinação.

A urgência e a relevância desta pesquisa transcendem o campo acadêmico, posicionando-se como um alerta e um roteiro para a política pública. Ao mapear com precisão os desafios

tecnológicos e propor soluções integradas, este estudo fornece um instrumental analítico para a transmutação do recurso geológico finito em capital humano e tecnológico, que é perene.

O percurso analítico iniciou-se na primeira seção, onde se estabeleceu o diagnóstico geopolítico da criticidade dos ETR. Ali, delineou-se o papel insubstituível destes elementos na transição energética e na tecnologia de defesa, contrastando a vasta potencialidade geológica brasileira com a fragilidade de sua inserção na cadeia global de valor, hoje perigosamente concentrada.

Na segunda seção dedicou-se à engenharia da transformação, abordando os desafios tecnológicos e socioambientais. Ficou evidente que o verdadeiro gargalo não reside na extração bruta, mas no domínio técnico do *midstream*, onde a complexidade da separação dos lantanídeos exige inovação radical e a adoção de práticas como o empilhamento a seco para uma gestão de rejeitos absolutamente responsável e moderna.

Avançando, a seção terciária construiu o arcabouço da política desenvolvimentista, detalhando as intervenções necessárias para que o Estado atue como Estrategista. Este ponto uniu a gestão fiscal da riqueza mineral com o fomento à pesquisa, propondo uma arquitetura institucional para que os benefícios da mineração cheguem à sociedade em forma de capacidade produtiva e bem-estar duradouro.

O balizamento teórico desta jornada foi fornecido pelo Novo Desenvolvimentismo, de Bresser-Pereira. Este marco permitiu ir além da mera celebração da riqueza mineral, impondo uma análise crítica sobre os mecanismos de falha do mercado e a tendência à doença holandesa nas economias periféricas.

O Novo Desenvolvimentismo oferece a lente necessária para combater esse risco estrutural, garantindo que a entrada de divisas pela exportação de ETR não resulte na sobrevalorização crônica do câmbio e, conseqüentemente, no atrofiamiento da nascente indústria de alta tecnologia. A mineração, assim, é vista como um insumo a ser domesticado pela política macroeconômica para servir a um projeto de nação.

O sucesso do projeto, como sublinhado pelo referencial teórico, depende, fundamentalmente, de um Estado forte e Estrategista, capaz de coordenar investimentos, induzir a inovação e reter o valor agregado dentro das fronteiras nacionais, utilizando a riqueza primária para financiar o salto qualitativo na complexidade econômica.

A solidez das conclusões está, por sua vez, ancorada na metodologia rigorosa empregada. A investigação se valeu da revisão bibliográfica sistemática como ferramenta de mapeamento do

estado da arte em múltiplas disciplinas, da Geopolítica à Engenharia Mineral, garantindo a profundidade e a multidisciplinaridade da abordagem.

Em paralelo, a adoção do método hipotético-dedutivo garantiu a precisão lógica do argumento. A hipótese central foi submetida ao crivo das evidências e dos constructos teóricos, permitindo que a proposição de um novo modelo de mineração fosse construída de forma indutiva, lógica e coerente.

A coerência intrínseca desta pesquisa, da premissa teórica do Novo Desenvolvimentismo à conclusão empírica sobre a cadeia de valor, assegura que as propostas apresentadas não são meramente voluntaristas, mas o resultado de um processo analítico que buscou a máxima precisão na identificação dos problemas e na formulação das soluções.

A principal conclusão estratégica é que o destino do Brasil na cadeia dos ETR será determinado, exclusivamente, pelo domínio do *midstream*. A extração (*upstream*) sem a capacidade de processamento (separação e purificação de alta complexidade) condena o país à posição de mero exportador de concentrado de baixo valor, transferindo a riqueza e a tecnologia para o exterior.

O investimento no beneficiamento avançado é, portanto, uma questão de soberania nacional. As Terras Raras, cruciais para a indústria de defesa e aeroespacial, exigem que o Brasil não dependa de terceiros para garantir sua segurança tecnológica e sua autonomia plena nas decisões de política externa e econômica.

A segunda grande conclusão é que a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental não são custos a serem minimizados, mas sim fatores cruciais de vantagem competitiva no mercado global. O Brasil deve posicionar sua mineração como referência em gestão de rejeitos e relacionamento comunitário para atrair o capital alinhado aos princípios de *friendshoring* e *powershoring*.

A terceira conclusão inegável reside na necessidade de transformar a riqueza mineral em capital humano de alto calibre. A receita gerada deve ser um fluxo constante de financiamento para a ciência, a tecnologia e a formação de engenheiros especializados na metalurgia de terras raras, criando um estoque de conhecimento que permanecerá após o esgotamento das jazidas.

O projeto de Terras Raras é, em última instância, um pacto intergeracional. O uso responsável e estratégico dos minerais hoje garante que a geração futura herde não um passivo ambiental e uma economia primária, mas sim uma base tecnológica robusta e um parque industrial diversificado, que sustente o desenvolvimento a longo prazo.

Em síntese final, este trabalho acadêmico demonstra que o Brasil detém o potencial geológico, o arcabouço teórico e o instrumental metodológico para fazer da mineração de Terras Raras um motor de um novo ciclo de desenvolvimento virtuoso. O sucesso da empreitada, contudo, dependerá da vontade política de ir além do extrativismo superficial e de abraçar o papel de um Estado planejador, inovador e profundamente comprometido com a equidade social.

A rota para uma Nação mais justa, mais desenvolvida e mais soberana está pavimentada com a estratégia aqui delineada. Resta à sociedade e ao governo brasileiro converter o potencial em ação, garantindo que o brilho estratégico dos Elementos Terras Raras ilumine, de fato, um futuro de prosperidade e igualdade de oportunidades para todos os seus cidadãos.

## REFERÊNCIAS

- ANTONIASSI, J. L. **Caracterização tecnológica de recursos minerais de terras raras em complexos alcalinos e alcalino-carbonatíticos do Brasil**. 2017. 207 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.
- BASTOS, P. P. Z. A “Doença Holandesa” e a economia brasileira: o risco do populismo cambial ontem e hoje. **Economia & Tecnologia**, Curitiba, v. 5, n. 19, out./dez. 2009.
- BLOOMBERG LÍNEA. EUA financiam projeto de terras raras em Goiás com US\$ 465 milhões. **Bloomberg Línea**, 7 nov. 2025. Disponível em: <https://www.bloomberglinea.com.br/negocios/eua-investem-us-465-mi-em-projeto-de-terras-raras-em-goias/>. Acesso em: 9 nov. 2025.
- BRASIL MINERAL. Terras raras no Brasil: do potencial à realidade sustentável. **Brasil Mineral**, 30 out. 2025. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/terras-raras-no-brasil-do-potencial-a-realidade-sustentavel>. Acesso em: 9 nov. 2025.
- BRESSER-PEREIRA, L. C. **Em Busca do Novo Desenvolvimentismo: Uma Síntese da Teoria e do Método**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2012. (Working Paper).
- BRESSER-PEREIRA, L. C. **Globalização e Competição: Por que alguns países emergentes têm sucesso e outros não**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. (A Doença Holandesa: p. 123-149).
- BRESSER-PEREIRA, L. C. O Brasil e o Novo Desenvolvimentismo. **Interesse Nacional**, Rio de Janeiro, ano 4, n. 13, p. 1-10, abr./jun. 2011.
- BRESSER-PEREIRA, L. C.; GALA, P. **Macroeconomia Estruturalista do Desenvolvimento: Uma Introdução**. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2010. (Working Paper).
- BRITO, C. M. A Mineração do Século XXI - Desejo ou Realidade? **CMB Consultoria**, 9 jun. 2023. Disponível em: <https://cmbconsultoria.com.br/post/a-mineracao-do-seculo-xxi-desejo-ou-realidade->. Acesso em: 9 nov. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition**. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2017.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **Tamanho do mercado de elementos de terras raras, compartilhamento e relatório global [2032]**. 2024. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/pt/rare-earth-elements-market-102943>. Acesso em: 9 nov. 2025.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. Circular economy: A review of concepts, pressures, impacts and perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 11-22, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Minerais Críticos e Estratégicos no Brasil: Um Passaporte para o Futuro**. Brasília, 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Os Minerais Críticos e Estratégicos na COP30: avançar com uma política para os brasileiros e para o mundo: Green paper**. Brasília, 2025b.

ITATIAIA. Brasil tem segunda maior reserva de terras raras do mundo. **Itatiaia**, 30 ago. 2025. Disponível em: <https://www.itatiaia.com.br/negocios/eloos/brasil-tem-segunda-maior-reserva-de-terras-raras-do-mundo>. Acesso em: 9 nov. 2025.

JORNAL DA USP. Brasil possui a segunda maior reserva de terras raras do mundo. **Jornal da USP**, 14 ago. 2025.

JORNAL IMAGEM. TERRAS RARAS: o triunfo do Brasil na nova guerra fria tecnológica. **Jornal Imagem**, 2 nov. 2025.

LINS, F. A. F. et al. MINERAIS CRÍTICOS | Brasil é o segundo em reservas de terras raras no mundo. **Brasil Mineral**, 19 fev. 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/rV5BjydbKvZFZcPhwktTVgf/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 9 nov. 2025.

MESQUITA, P. P. D.; CARVALHO, P. S. L. de; OGANDO, L. D. Desenvolvimento e inovação em mineração e metais. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 43, p. 325-361. Disponível em: [https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9577/2/BS%2043%20Desenvolvimento%20e%20inova%C3%A7%C3%A3o%20em%20minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20metais.%20\\_P\\_BD.pdf](https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9577/2/BS%2043%20Desenvolvimento%20e%20inova%C3%A7%C3%A3o%20em%20minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20metais.%20_P_BD.pdf). Acesso em: 9 nov. 2025.

MOVIMENTO ECONÔMICO. Minerais críticos: NE extrai R\$ 11 bi e lidera em vanádio, urânio e tungstênio. **Movimento Econômico**, 7 nov. 2025. Disponível em: <https://movimentoeconomico.com.br/geral/redacao/2025/11/07/minerais-criticos-ne-extra-r-11-bi-e-lidera-em-vanadio-uranio-e-tungstenio/>. Acesso em: 9 nov. 2025.

PANSIERI, F. Liberdade como desenvolvimento em Amartya Sen. **Academia Brasileira de Direito Constitucional**. Disponível em: <https://www.abdconstojs.com.br/index.php/revista/article/view/153>. Acesso em: 9 nov. 2025.

- ROCIO, M. A. R. *et al.* Terras-raras: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 35, p. 369-420, mar. 2012. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/1527>SALUM, M. J. G.; ANDRADE, V. L. L. Desenvolvimento Sustentável na Indústria Mineral Brasileira (Caderno 5): Plano Nacional de Mineração 2022-2050. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/pnm-2050/estudos/caderno-5-desenvolvimento-sustentavel-na-mineracao-brasileira/DesenvolvimentoSustentavelnaIndustriaMineralBrasileira.pdf>. Acesso em: 9 nov. 2025.
- SANTOS, J. B. F. **A Quarta Revolução Industrial e os Desafios para o Desenvolvimento**. São Paulo: Editora XYZ, 2017.
- SANTOS, J. E. S. Mineração de Terras Raras no Brasil: Construindo um Futuro Melhor. **Revista DCS**, v. 22, n. 81, p. 1-15, 2025.
- SANTOS, L. C. Exploração e prospecção de terras raras no Brasil: História e desafios. **Lumen et Virtus**, v. 15, n. 40, p. 1-18, 2024.
- SCHERER, C. W.; LIMA, S. P. As Terras Raras e Sua Importância Estratégica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO, 17., 2018, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: IBRAM, 2018. p. 45-55.
- SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2016. (Capítulo 1: O que é a Quarta Revolução Industrial, p. 11-38).
- SEN, A. **Desenvolvimento como liberdade**. Tradução de Laura Teixeira Motta. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.
- SOUZA, A. C. S. P.; NASCIMENTO, M.; GIESE, E. C. Desafios para a extração sustentável de minérios portadores de terras raras. **Holos**, Natal, v. 35, n. 6, p. 1-19, 2019.
- WANDERLEY, L. J. et al. **Atlas do Problema Mineral Brasileiro**. Brasil: Comitê Nacional em Defesa dos Territórios Frente à Mineração, 2023.