

MINERAIS CRÍTICOS E DEPENDÊNCIA TECNOLÓGICA: O PAPEL DAS TERRAS RARAS BRASILEIRAS NA GEOPOLÍTICA DO SÉCULO XXI

CRITICAL MINERALS AND TECHNOLOGICAL DEPENDENCE: THE ROLE OF BRAZILIAN RARE EARTHS IN 21ST-CENTURY GEOPOLITICS

Felipe Rodrigues Maia¹

Resumo: Os minerais críticos, especialmente os elementos de terras raras, têm adquirido crescente relevância estratégica na economia global em decorrência da expansão das tecnologias digitais, da transição energética e da intensificação da demanda por recursos essenciais às indústrias de alta tecnologia. Esses elementos são fundamentais para a fabricação de dispositivos eletrônicos, veículos elétricos, sistemas de defesa, equipamentos de telecomunicações e tecnologias de geração de energia renovável, tornando-se componentes estratégicos das cadeias produtivas contemporâneas. Este artigo teve como objetivo analisar o papel das terras raras brasileiras na geopolítica do século XXI, considerando sua importância diante da concentração da cadeia produtiva global e das disputas tecnológicas entre as principais potências econômicas. A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão bibliográfica de abordagem qualitativa, fundamentada em artigos científicos, relatórios técnicos e documentos institucionais nacionais e internacionais. Os resultados indicam que, embora o Brasil possua expressivas reservas de terras raras, sua participação na cadeia global de valor permanece limitada devido à reduzida capacidade de processamento industrial, ao baixo domínio tecnológico e à predominância da exportação de matérias-primas. Conclui-se que o país dispõe de relevante potencial estratégico, porém sua inserção qualificada na geopolítica dos minerais críticos depende do fortalecimento da pesquisa, da inovação tecnológica, da industrialização e da adoção de

¹ MBA em Finanças com Ênfase em Mercado de Capitais; Pós-Graduado em Educação Especial e Inclusiva; Graduado em Ciências Biológicas; Graduado em Geografia; Graduado em Educação Especial e Técnico em Edificações. ORCID - <https://orcid.org/0009-0008-1016-390X>

práticas sustentáveis ao longo da cadeia produtiva.

Palavras-chave: terras raras; minerais críticos; geopolítica; soberania tecnológica; cadeias globais de valor.

Abstract: Critical minerals, particularly rare earth elements, have gained increasing strategic relevance in the global economy due to the expansion of digital technologies, the energy transition, and the growing demand for resources essential to high-technology industries. These elements are fundamental for the production of electronic devices, electric vehicles, defense systems, telecommunications equipment, and renewable energy technologies, becoming strategic components of contemporary production chains. This article aimed to analyze the role of Brazilian rare earth elements in twenty-first-century geopolitics, considering their importance in the context of global supply chain concentration and technological disputes among major economic powers. The research was conducted through a qualitative bibliographic review based on scientific articles, technical reports, and institutional documents from national and international organizations. The results indicate that, although Brazil possesses significant rare earth reserves, its participation in the global value chain remains limited due to insufficient industrial processing capacity, restricted technological capabilities, and dependence on raw material exports. It is concluded that Brazil has considerable strategic potential; however, its qualified insertion into the geopolitics of critical minerals depends on investments in research, technological innovation, industrial development, and sustainable practices throughout the production chain.

Keywords: rare earth elements; critical minerals; geopolitics; technological sovereignty; global value chains.

INTRODUÇÃO

A transformação digital da economia mundial, a intensificação da transição energética e a crescente demanda por tecnologias de baixo carbono vêm redefinindo o papel estratégico dos recursos minerais nas relações internacionais. Nesse contexto, os chamados minerais críticos passaram a ocupar posição central nas agendas de segurança econômica, política industrial e soberania tecnológica das principais economias mundiais, uma vez que constituem insumos indispensáveis para a fabricação de semicondutores, baterias, veículos elétricos, turbinas eólicas, equipamentos de telecomunicações, sistemas de inteligência artificial, tecnologias aeroespaciais e produtos voltados aos setores de defesa (USGS, 2025; IEA, 2024).

Entre esses recursos destacam-se os elementos de terras raras, grupo formado por dezessete elementos químicos cujas propriedades magnéticas, ópticas e eletroquímicas os tornam essenciais para inúmeras aplicações tecnológicas de alto valor agregado. Embora relativamente abundantes na crosta terrestre, esses elementos raramente ocorrem em concentrações economicamente exploráveis, tornando sua extração, separação química e processamento industrial atividades complexas e intensivas em tecnologia (Massari; Ruberti, 2013; Gschneidner Jr.; Eyring, 2016).

Nas últimas décadas, a crescente concentração da produção e, sobretudo, do processamento de terras raras na China transformou esses minerais em instrumentos relevantes da geopolítica contemporânea. O domínio chinês sobre as etapas de beneficiamento e refino confere ao país posição estratégica nas cadeias globais de suprimento, ampliando sua capacidade de influência econômica em um cenário marcado pela intensificação da competição tecnológica entre grandes potências. Como resposta, Estados Unidos, União Europeia, Japão e outras economias industrializadas passaram a implementar políticas destinadas à diversificação de fornecedores, ao fortalecimento da segurança mineral e à reconstrução de capacidades industriais domésticas (Humphries, 2023; IEA, 2024).

Essa reconfiguração geoeconômica tornou-se ainda mais evidente após a aprovação de políticas como o Inflation Reduction Act (IRA), nos Estados Unidos, e o Critical Raw Materials Act



(CRMA), na União Europeia, que estabeleceram incentivos para ampliar a produção, o processamento, a reciclagem e a segurança do abastecimento de minerais críticos. Tais iniciativas evidenciam que a competitividade internacional depende cada vez mais da integração entre disponibilidade de recursos naturais, capacidade tecnológica, inovação e políticas industriais de longo prazo.

Sob essa perspectiva, o Brasil destaca-se por possuir uma das maiores reservas de terras raras do mundo, distribuídas principalmente nos estados de Minas Gerais, Goiás, Amazonas e Bahia. Segundo o Plano Nacional de Mineração 2050 (Brasil, 2022) e o United States Geological Survey (USGS, 2025), esse patrimônio mineral representa importante oportunidade para ampliar a inserção estratégica do país nas cadeias globais de valor. Entretanto, a abundância de recursos geológicos ainda não se converteu em liderança tecnológica ou industrial, uma vez que o país permanece fortemente concentrado nas etapas iniciais da cadeia produtiva, apresentando reduzida capacidade de processamento químico, fabricação de componentes de alto valor agregado e desenvolvimento tecnológico.

Do ponto de vista teórico, essa realidade pode ser compreendida à luz da Economia e da Política Internacional. Conforme Strange (1988), o poder estrutural dos Estados decorre não apenas da disponibilidade de recursos naturais, mas também do controle sobre tecnologias, cadeias produtivas e capacidades industriais. De forma semelhante, Gilpin (2001) argumenta que a competitividade internacional resulta da articulação entre poder econômico, inovação tecnológica e estratégias estatais, enquanto Nye (2011) destaca que, no século XXI, recursos estratégicos e conhecimento tecnológico passaram a constituir dimensões fundamentais do poder nacional.

Embora exista produção científica acerca dos minerais críticos e das terras raras, observa-se que ainda são relativamente escassos os estudos que analisam, de forma integrada, o potencial geopolítico das reservas brasileiras diante da reorganização das cadeias globais de suprimento, especialmente no contexto da transição energética, da digitalização da economia e da intensificação das disputas tecnológicas entre as principais potências mundiais. Essa lacuna justifica a realização do presente estudo.

Parte-se da hipótese de que o Brasil possui elevado potencial para ampliar sua relevância geopolítica na cadeia global dos minerais críticos. Contudo, a conversão dessa vantagem geológica em protagonismo econômico e tecnológico depende da consolidação de capacidades nacionais em pesquisa, inovação, beneficiamento mineral, processamento químico, industrialização e governança ambiental, permitindo maior agregação de valor aos recursos extraídos. Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo analisar o papel das terras raras brasileiras na geopolítica do século XXI, discutindo sua importância para a redução da dependência tecnológica, o fortalecimento da soberania nacional, a inserção do Brasil nas cadeias globais de valor e os desafios associados ao desenvolvimento de uma cadeia produtiva competitiva, sustentável e tecnologicamente integrada.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Minerais Críticos e sua Importância Estratégica

Os minerais críticos compreendem recursos minerais considerados essenciais para o funcionamento de setores estratégicos da economia, cuja interrupção no abastecimento pode provocar impactos significativos sobre a produção industrial, a segurança energética, a inovação tecnológica e a defesa nacional. A criticidade de um mineral decorre da combinação entre sua relevância econômica e o risco associado ao fornecimento, variando conforme o contexto tecnológico, geopolítico e industrial de cada país (OECD, 2019).

Nas últimas décadas, a digitalização da economia, a expansão da mobilidade elétrica e a transição para matrizes energéticas de baixo carbono ampliaram significativamente a demanda por minerais estratégicos. Segundo a International Energy Agency (IEA, 2024), elementos como lítio, níquel, cobalto, grafita e terras raras tornaram-se insumos indispensáveis para baterias, turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos, redes elétricas inteligentes e tecnologias de armazenamento de energia.

Esse cenário transformou os minerais críticos em ativos estratégicos da economia política internacional. A segurança do abastecimento passou a integrar políticas industriais, estratégias

de defesa e iniciativas voltadas ao fortalecimento da soberania tecnológica. Conforme Humphries (2023), a crescente competição pelo controle das cadeias de suprimento constitui uma das principais características da disputa tecnológica entre as grandes potências no século XXI.

Sob a perspectiva da Economia Política Internacional, Strange (1988) argumenta que o poder estrutural dos Estados está relacionado à capacidade de controlar recursos, tecnologia, produção e finanças. Assim, o domínio sobre cadeias produtivas de minerais críticos ultrapassa a dimensão comercial, tornando-se instrumento de influência geopolítica e competitividade internacional.

Terras Raras: Conceitos e Aplicações Tecnológicas

As terras raras correspondem a um conjunto de dezessete elementos químicos constituído pelos quinze lantanídeos, acrescidos do escândio e do ítrio. Apesar da denominação, esses elementos não são necessariamente raros na crosta terrestre; sua exploração é dificultada porque normalmente ocorrem em baixas concentrações e associados a outros minerais, exigindo processos complexos de separação química e elevado investimento tecnológico (Massari; Ruberti, 2013).

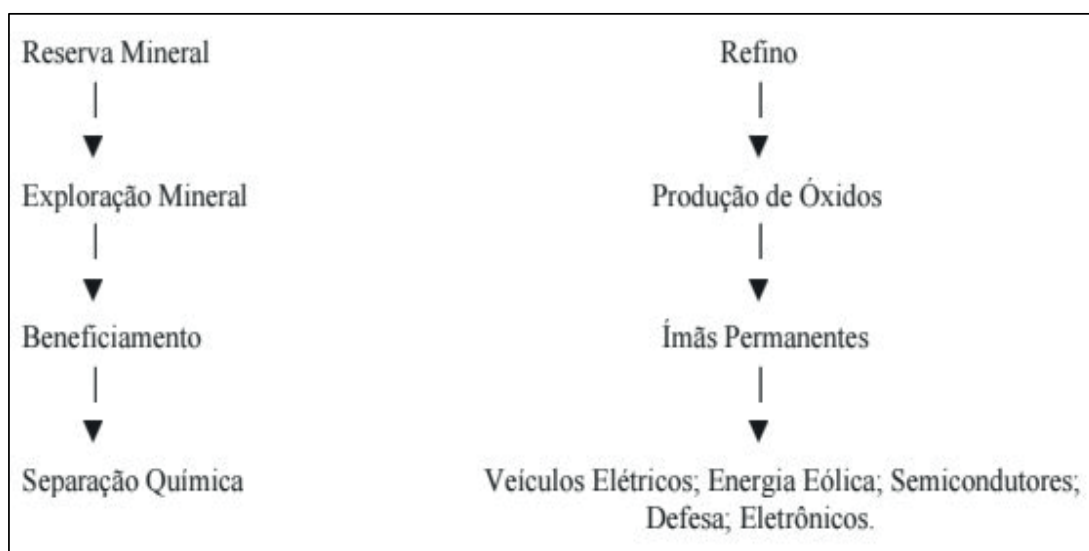
Esses elementos apresentam propriedades magnéticas, ópticas, catalíticas e eletroquímicas singulares, tornando-se praticamente insubstituíveis em diversas aplicações industriais. Entre os mais importantes destacam-se o neodímio, o praseodímio, o disprosio e o térbio, empregados na fabricação de ímãs permanentes de alto desempenho utilizados em motores elétricos, turbinas eólicas, robótica, equipamentos médicos, sistemas aeroespaciais e tecnologias militares (Gschneidner Jr.; Eyring, 2016).

Além dessas aplicações, as terras raras desempenham papel essencial na produção de smartphones, computadores, fibras ópticas, satélites, radares, catalisadores industriais, lasers, dispositivos de telecomunicações e equipamentos destinados à inteligência artificial e à computação de alto desempenho. Segundo Binnemans et al. (2013), a limitada possibilidade de substituição desses elementos em aplicações críticas reforça sua importância estratégica para a economia global.

A crescente expansão da inteligência artificial, da computação em nuvem, dos data centers e

das redes de comunicação de quinta geração (5G) intensificou ainda mais a demanda por componentes eletrônicos que dependem, direta ou indiretamente, desses minerais, ampliando sua relevância para a segurança tecnológica das nações.

Figura 01 – Ilustração da cadeia produtiva simplificada das terras raras e suas principais aplicações tecnológicas.



Fonte: Elaborado pelo autor com base em IEA (2024) e USGS (2025).

Dependência Tecnológica e Geopolítica dos Recursos Naturais

A dependência tecnológica pode ser compreendida como a situação em que um país depende de tecnologias, conhecimentos, insumos estratégicos ou capacidades industriais desenvolvidas e controladas por outras nações para assegurar seu crescimento econômico, sua competitividade e sua segurança nacional.

Na atual economia do conhecimento, essa dependência não se restringe ao acesso às matérias-primas. Ela envolve também o domínio das etapas de maior valor agregado das cadeias produtivas, como pesquisa científica, propriedade intelectual, fabricação de semicondutores, produção

de equipamentos eletrônicos, desenvolvimento de softwares e manufatura avançada.

Nesse contexto, os minerais críticos constituem condição necessária, mas não suficiente, para a autonomia tecnológica. A disponibilidade de terras raras fortalece o potencial industrial de um país, porém a efetiva redução da dependência tecnológica requer investimentos contínuos em pesquisa, inovação, educação, infraestrutura industrial e políticas públicas voltadas ao desenvolvimento tecnológico.

Segundo Nye (2011), o poder internacional contemporâneo decorre cada vez mais da capacidade de produzir conhecimento, controlar tecnologias estratégicas e dominar cadeias globais de produção. Complementarmente, Gilpin (2001) destaca que a competitividade econômica depende da interação entre recursos naturais, inovação tecnológica e ação coordenada do Estado.

A predominância chinesa na mineração e, principalmente, no processamento de terras raras constitui um exemplo expressivo dessa dinâmica. Embora diversos países possuam reservas significativas, a China concentra a maior parte da capacidade mundial de separação química e refino, exercendo influência decisiva sobre as cadeias globais de suprimento (Humphries, 2023). Como resposta, Estados Unidos, União Europeia, Japão e Austrália passaram a implementar políticas voltadas ao fortalecimento da segurança mineral, à diversificação de fornecedores, ao desenvolvimento de tecnologias de reciclagem e à expansão da capacidade doméstica de processamento.

O Potencial Brasileiro na Cadeia Global das Terras Raras

O Brasil possui uma das maiores reservas de terras raras do mundo, distribuídas principalmente nos estados de Minas Gerais, Goiás, Amazonas e Bahia. Segundo o Plano Nacional de Mineração 2050 (Brasil, 2022) e o USGS (2025), essa disponibilidade representa importante vantagem geológica para o país no contexto da reorganização das cadeias globais de minerais críticos.

Entretanto, conforme argumenta Porter (1990), a competitividade das nações não depende exclusivamente da abundância de recursos naturais, mas da capacidade de transformá-los em produtos

e tecnologias de elevado valor agregado por meio da inovação, da industrialização e da qualificação dos fatores produtivos.

Sob essa perspectiva, o principal desafio brasileiro consiste em superar o modelo historicamente baseado na exportação de commodities minerais e consolidar uma cadeia produtiva integrada, envolvendo pesquisa científica, beneficiamento mineral, separação química, produção de ligas metálicas, fabricação de ímãs permanentes e desenvolvimento de aplicações tecnológicas.

Nos últimos anos, projetos como Serra Verde, em Goiás, os investimentos da Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM) em Araxá e o Projeto Caldeira, em Minas Gerais, demonstram avanços importantes para a consolidação dessa cadeia produtiva. Contudo, a capacidade nacional de processamento ainda permanece reduzida quando comparada aos principais países produtores.

Além da dimensão econômica, a exploração das terras raras exige elevada atenção aos aspectos ambientais e sociais. A adoção de tecnologias de mineração sustentável, práticas de economia circular, recuperação de áreas degradadas, reciclagem de resíduos minerais e critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) constitui requisito fundamental para ampliar a competitividade internacional da mineração brasileira e fortalecer sua inserção estratégica nas cadeias globais de valor.

Por fim, observa-se que o aproveitamento estratégico das terras raras dependerá não apenas da disponibilidade geológica, mas da articulação entre políticas industriais, ciência, tecnologia, inovação, sustentabilidade e cooperação internacional, permitindo ao Brasil converter sua vantagem mineral em liderança econômica e tecnológica.

Geopolítica dos Minerais Críticos e Dependência Tecnológica: uma abordagem da Economia Política Internacional

A crescente centralidade dos minerais críticos nas relações internacionais evidencia que a disponibilidade de recursos naturais deixou de ser suficiente para assegurar competitividade econômica

e influência geopolítica. Na economia contemporânea, caracterizada pela intensificação da inovação tecnológica e pela reorganização das cadeias globais de valor, o poder dos Estados depende cada vez mais da capacidade de controlar etapas estratégicas da produção, desenvolver tecnologias próprias e reduzir vulnerabilidades associadas ao abastecimento de insumos considerados essenciais.

Sob a perspectiva da Economia Política Internacional, Strange (1988) argumenta que o poder estrutural dos Estados decorre do controle sobre quatro dimensões fundamentais: segurança, produção, finanças e conhecimento. Nesse contexto, o domínio das cadeias produtivas dos minerais críticos ultrapassa a esfera comercial, constituindo instrumento de influência econômica, tecnológica e geopolítica. A liderança não depende apenas da disponibilidade geológica, mas também da capacidade de controlar as etapas de processamento, inovação, propriedade intelectual e manufatura avançada.

Gilpin (2001) complementa essa interpretação ao afirmar que a competitividade internacional resulta da interação entre recursos naturais, desenvolvimento tecnológico, capacidade industrial e ação estratégica do Estado. Assim, países capazes de integrar mineração, pesquisa científica, processamento industrial e inovação tecnológica tendem a ocupar posições mais favoráveis na economia global, ampliando sua autonomia frente às transformações geopolíticas contemporâneas.

Essa dinâmica também pode ser compreendida à luz das Cadeias Globais de Valor (Global Value Chains – GVCs), nas quais as diferentes etapas da produção encontram-se distribuídas entre diversos países. Conforme Gereffi, Humphrey e Sturgeon (2005), o maior valor econômico concentra-se nas fases intensivas em conhecimento, como pesquisa, desenvolvimento tecnológico, engenharia, design e fabricação de componentes de elevada complexidade. Dessa forma, a simples exportação de matérias-primas tende a gerar benefícios econômicos limitados quando comparada à participação nas etapas industriais de maior conteúdo tecnológico.

No caso das terras raras, essa lógica torna-se particularmente evidente. Embora diversos países possuam reservas expressivas, poucos dominam as tecnologias de separação química, refino, fabricação de ligas especiais e produção de ímãs permanentes de alto desempenho. Consequentemente, a concentração dessas capacidades industriais em um número reduzido de países amplia a dependência

tecnológica das economias importadoras e fortalece a posição estratégica daqueles que controlam as etapas de maior valor agregado.

Segundo Nye (2011), o poder internacional no século XXI não se restringe às capacidades militares tradicionais, incorporando também dimensões relacionadas à inovação, ao conhecimento científico, à infraestrutura tecnológica e ao controle de recursos estratégicos. Assim, minerais críticos e tecnologias avançadas tornam-se componentes complementares de uma mesma estrutura de poder, reforçando a importância da segurança mineral para a soberania tecnológica e a competitividade econômica.

Sob essa perspectiva, as terras raras devem ser compreendidas não apenas como recursos minerais, mas como ativos estratégicos inseridos em cadeias produtivas complexas, nas quais mineração, processamento, inovação e industrialização constituem etapas indissociáveis. A capacidade de agregar valor aos recursos extraídos passa a representar elemento fundamental para ampliar a autonomia tecnológica, fortalecer a competitividade industrial e consolidar maior protagonismo geopolítico.

No caso brasileiro, essa abordagem evidencia que a expressiva disponibilidade de reservas representa uma vantagem comparativa importante, porém insuficiente para garantir liderança internacional. A transformação desse potencial em desenvolvimento econômico dependerá da implementação de políticas industriais, científicas e tecnológicas capazes de integrar exploração mineral, pesquisa, inovação, beneficiamento e manufatura avançada. Dessa forma, a inserção do Brasil na geopolítica dos minerais críticos exige não apenas a ampliação da produção, mas sobretudo a construção de capacidades tecnológicas nacionais que permitam maior participação nas etapas de elevado valor agregado das cadeias globais.

Estratégias Internacionais para os Minerais Críticos: Estados Unidos, União Europeia e China

A crescente importância dos minerais críticos para a segurança econômica e tecnológica levou as principais economias mundiais a adotarem estratégias industriais voltadas à redução da dependência de cadeias produtivas concentradas e ao fortalecimento de capacidades nacionais. Entre as iniciativas mais relevantes destacam-se o Inflation Reduction Act (IRA), dos Estados Unidos, o Critical Raw Materials Act (CRMA), da União Europeia, e a estratégia chinesa Made in China 2025, que, embora apresentem características distintas, convergem no objetivo de ampliar a autonomia tecnológica e assegurar o acesso a insumos considerados estratégicos.

Nos Estados Unidos, o Inflation Reduction Act, aprovado em 2022, estabeleceu incentivos fiscais e financeiros destinados à produção doméstica de tecnologias de baixo carbono, incluindo baterias, veículos elétricos e energias renováveis. A legislação condiciona parte desses incentivos à utilização de minerais críticos extraídos ou processados nos Estados Unidos ou em países parceiros, buscando reduzir a dependência em relação à China e fortalecer cadeias produtivas consideradas estratégicas para a segurança nacional.

Na União Europeia, o Critical Raw Materials Act, aprovado em 2024, definiu metas para ampliar a extração, o processamento e a reciclagem de minerais críticos no território europeu, além de estabelecer limites para a dependência de fornecedores individuais. A iniciativa busca diversificar as cadeias de suprimento, estimular investimentos em mineração sustentável e fortalecer a capacidade industrial do bloco diante da crescente competição geopolítica por recursos minerais essenciais.

Em contraste, a China consolidou sua posição de liderança por meio de uma estratégia de longo prazo voltada ao desenvolvimento industrial e tecnológico. O programa Made in China 2025 priorizou setores de alta tecnologia, como manufatura avançada, veículos elétricos, robótica, semicondutores e equipamentos de energia renovável, articulando políticas industriais, investimentos em pesquisa e inovação e expansão da capacidade de processamento de minerais críticos. Como resultado, o país passou a concentrar não apenas grande parte da produção mineral, mas principalmente as etapas



de separação química, refino e fabricação de componentes de elevado valor agregado, como ímãs permanentes de terras raras.

A comparação entre essas estratégias evidencia que a competitividade internacional depende menos da simples disponibilidade de recursos naturais e mais da capacidade de integrar mineração, processamento industrial, pesquisa científica, inovação tecnológica e políticas públicas de longo prazo. Sob essa perspectiva, o Brasil possui uma vantagem geológica expressiva, porém sua inserção qualificada na geopolítica dos minerais críticos dependerá da implementação de políticas capazes de promover a agregação de valor, o fortalecimento da indústria nacional e a ampliação das capacidades tecnológicas ao longo de toda a cadeia produtiva.

METODOLOGIA

Delineamento da Pesquisa

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica. Esse delineamento metodológico foi adotado por possibilitar a sistematização, análise crítica e interpretação integrada da produção científica acerca dos minerais críticos, das terras raras, da dependência tecnológica e da geopolítica contemporânea, contribuindo para a compreensão do estado da arte e para a identificação de convergências, divergências e lacunas do conhecimento (Gil, 2019).

A revisão bibliográfica constitui procedimento amplamente utilizado em pesquisas voltadas à análise de fenômenos complexos, permitindo reunir diferentes perspectivas teóricas e evidências empíricas produzidas em distintos contextos. Conforme Creswell (2014), esse tipo de investigação favorece a construção de sínteses analíticas capazes de fundamentar interpretações consistentes sobre problemas científicos contemporâneos.

Embora não se configure como uma revisão sistemática, o estudo adotou procedimentos de busca, seleção e análise documental previamente definidos, buscando conferir maior rigor

metodológico e transparência ao processo de construção do referencial teórico.

Procedimentos de Coleta de Dados

O levantamento bibliográfico foi realizado entre janeiro e julho de 2026, contemplando artigos científicos, livros especializados, relatórios técnicos e documentos institucionais publicados por organismos nacionais e internacionais reconhecidos.

As principais bases consultadas foram:

- Scopus;
- Web of Science;
- ScienceDirect;
- Google Scholar;
- Portal de Periódicos CAPES.

Também foram consultadas publicações do:

- United States Geological Survey (USGS);
- International Energy Agency (IEA);
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD);
- Ministério de Minas e Energia (MME);
- Geological Survey of Brazil (SGB).

Para a identificação dos estudos foram utilizados, isoladamente e em combinação, os seguintes descritores em português e inglês:

- Minerais críticos;
- Terras raras;
- Rare earth elements;
- Critical minerals;



- Technological dependence;
- Technological sovereignty;
- Geopolitics;
- Global value chains;
- Strategic minerals;
- Energy transition.

Inicialmente foram localizados aproximadamente 130 documentos. Após a eliminação de duplicidades e a aplicação dos critérios de elegibilidade, permaneceram cerca de 40 publicações, que constituíram o corpus documental da pesquisa.

Foram adotados os seguintes critérios de inclusão:

- I – pertinência direta ao objeto da pesquisa;
- II – publicações em português, inglês ou espanhol;
- III – prioridade para estudos publicados entre 2010 e 2025;
- IV – inclusão de obras clássicas consideradas fundamentais para a fundamentação teórica.

Foram excluídas publicações sem revisão técnica ou científica, documentos sem aderência ao tema central e estudos com informações desatualizadas ou insuficientes para responder aos objetivos da pesquisa.

Procedimentos de Análise dos Dados

Os documentos selecionados foram submetidos à leitura exploratória, seletiva, analítica e interpretativa. Posteriormente, empregou-se a técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (2016), visando organizar e interpretar as evidências identificadas na literatura.

A análise foi desenvolvida em três etapas:

I - Pré-análise, envolvendo leitura integral das publicações e definição das unidades de análise;

II - Exploração do material, mediante identificação de categorias temáticas recorrentes;

III - Tratamento e interpretação dos resultados, relacionando os achados aos referenciais teóricos da Economia Política Internacional, da geopolítica dos recursos naturais e das cadeias globais de valor.

As evidências foram organizadas em cinco categorias analíticas:

- Importância estratégica dos minerais críticos;
- Aplicações tecnológicas das terras raras;
- Dependência tecnológica e soberania nacional;
- Potencial estratégico brasileiro na cadeia global das terras raras;
- Sustentabilidade, industrialização e inserção geopolítica.

Essa estrutura permitiu integrar informações provenientes de diferentes fontes e construir uma análise crítica das relações entre recursos minerais, desenvolvimento tecnológico e geopolítica contemporânea.

Limitações da Pesquisa

Como toda pesquisa fundamentada exclusivamente em revisão bibliográfica, este estudo apresenta limitações decorrentes da ausência de dados empíricos primários e da dependência das informações disponíveis na literatura científica e em documentos institucionais.

Além disso, a produção acadêmica especificamente voltada à cadeia brasileira de terras raras ainda permanece relativamente reduzida quando comparada à existente sobre China, Estados Unidos, Austrália e União Europeia. Em razão dessa limitação, parte das evidências utilizadas provém de



relatórios técnicos produzidos por organismos governamentais e instituições internacionais.

Outro aspecto refere-se ao caráter dinâmico do mercado internacional de minerais críticos. Mudanças nas políticas industriais, restrições comerciais, avanços tecnológicos, revisões de reservas minerais e transformações geopolíticas podem alterar significativamente as cadeias globais de suprimento em períodos relativamente curtos.

Também deve ser considerado que dados referentes à produção, reservas e processamento de terras raras são periodicamente revisados por instituições como o USGS, a IEA e o Serviço Geológico do Brasil, podendo sofrer alterações decorrentes de novos levantamentos geológicos, avanços tecnológicos ou mudanças metodológicas.

Por fim, por tratar-se de uma pesquisa qualitativa de natureza exploratória, os resultados não possuem pretensão de generalização estatística. Seu propósito consiste em oferecer uma interpretação fundamentada da literatura especializada, contribuindo para o avanço das discussões sobre minerais críticos, dependência tecnológica e geopolítica contemporânea.

Apesar dessas limitações, o delineamento metodológico adotado mostra-se adequado aos objetivos propostos, permitindo reunir evidências atualizadas, identificar tendências presentes na literatura e construir uma análise crítica sobre o papel estratégico das terras raras brasileiras na reorganização das cadeias globais de minerais críticos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Consolidação dos Minerais Críticos como Eixo da Geopolítica Contemporânea

A literatura analisada demonstra que os minerais críticos consolidaram-se como um dos principais ativos estratégicos da economia mundial no século XXI. A expansão da digitalização, da transição energética e das tecnologias intensivas em conhecimento elevou significativamente a demanda por elementos essenciais às cadeias produtivas de alto valor agregado, transformando esses

recursos em componentes centrais da segurança econômica e da competitividade tecnológica dos Estados (IEA, 2024).

Essa transformação evidencia que a disputa geopolítica contemporânea ultrapassa o controle territorial ou energético, incorporando o domínio sobre recursos minerais, capacidades industriais e tecnologias estratégicas. Conforme Strange (1988), o poder estrutural dos Estados depende crescentemente da capacidade de controlar os sistemas de produção e conhecimento, condição que explica a importância assumida pelos minerais críticos nas estratégias nacionais de desenvolvimento.

Os resultados obtidos também corroboram a interpretação de Nye (2011), segundo a qual o poder internacional contemporâneo combina capacidades econômicas, tecnológicas e institucionais. Nesse contexto, o controle das cadeias de suprimento de minerais críticos constitui importante instrumento de projeção internacional, sobretudo diante da crescente interdependência tecnológica entre os países.

Terras Raras e a Vulnerabilidade das Cadeias Tecnológicas

A revisão bibliográfica evidencia que a principal vulnerabilidade do mercado mundial não reside propriamente na disponibilidade geológica das terras raras, mas na elevada concentração das etapas de separação química, refino e fabricação de componentes tecnológicos.

Embora diversos países possuam reservas significativas, a China consolidou posição dominante nas etapas de maior valor agregado da cadeia produtiva, especialmente na produção de óxidos refinados, ligas metálicas e ímãs permanentes de neodímio-ferro-boro (NdFeB). Essa concentração amplia a dependência tecnológica de economias altamente industrializadas e fortalece a capacidade de influência geopolítica do país.

Sob a perspectiva das Cadeias Globais de Valor (Gereffi; Humphrey; Sturgeon, 2005), observa-se que o maior valor econômico não se concentra na extração mineral, mas nas etapas intensivas em tecnologia, pesquisa, desenvolvimento e manufatura avançada. Consequentemente,

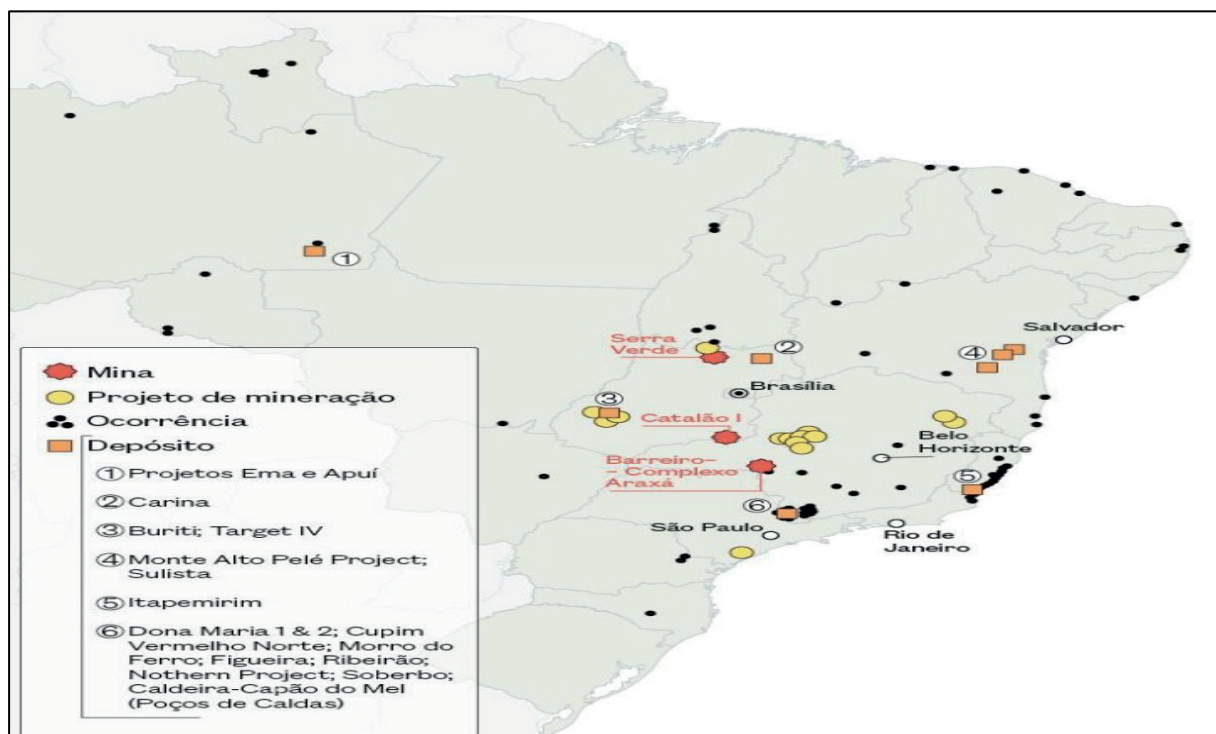
países exportadores de matérias-primas tendem a capturar parcela reduzida do valor gerado ao longo da cadeia produtiva.

O Potencial Estratégico Brasileiro

Os resultados indicam que o Brasil reúne condições geológicas excepcionais para ampliar sua participação na economia dos minerais críticos. Entretanto, a abundância de reservas ainda não foi convertida em protagonismo tecnológico.

Segundo o USGS (2025), aproximadamente 23% das reservas mundiais de terras raras encontram-se em território brasileiro, enquanto a participação nacional na produção global permanece inferior a 1%. Essa discrepância evidencia que a vantagem comparativa derivada da disponibilidade mineral não tem sido acompanhada pelo desenvolvimento de capacidades industriais compatíveis.

Figura 02 – Distribuição das principais áreas com potencial para exploração de terras raras no Brasil.



Fonte: Cunha, I. A. et al. An overview of critical and strategic minerals potential of brazil. 2025.

Projetos como Serra Verde, CBMM e Caldeira representam avanços importantes para a consolidação da cadeia produtiva nacional. Contudo, a capacidade brasileira de processamento permanece reduzida, limitando a agregação de valor e mantendo elevada dependência das etapas industriais realizadas no exterior.

Sob a ótica de Porter (1990), a competitividade das nações depende da capacidade de transformar recursos naturais em conhecimento, inovação e produtos de elevado conteúdo tecnológico. Dessa forma, a consolidação de uma cadeia nacional de terras raras exige investimentos simultâneos em mineração, processamento químico, engenharia de materiais, indústria de transformação e inovação tecnológica.

O mapa abaixo evidencia a distribuição espacial das principais áreas com potencial para exploração de terras raras no Brasil. Destacam-se os estados de Minas Gerais, Goiás, Amazonas e Bahia, que concentram importantes depósitos minerais e projetos em diferentes estágios de desenvolvimento. Essa distribuição demonstra o elevado potencial geológico brasileiro para integrar as cadeias globais de suprimento de minerais críticos.

Inserção Brasileira nas Cadeias Globais de Valor

A literatura demonstra que a inserção internacional do Brasil dependerá menos do volume de reservas minerais e mais da capacidade de participar das etapas intensivas em conhecimento das cadeias globais de valor.

A simples exportação de concentrados minerais reproduz um padrão histórico caracterizado pela especialização em produtos primários, limitando os efeitos multiplicadores sobre inovação, produtividade e desenvolvimento industrial.

Nesse contexto, políticas públicas voltadas ao fortalecimento da pesquisa científica, da

infraestrutura laboratorial, da indústria química e da manufatura avançada tornam-se fundamentais para ampliar a participação brasileira nas fases de maior valor agregado da cadeia produtiva.

Além disso, observa-se crescente importância da cooperação entre universidades, centros tecnológicos, empresas privadas e instituições governamentais para o desenvolvimento de tecnologias de separação química, reciclagem e produção de componentes destinados às indústrias de energia, defesa e eletrônicos.

Sustentabilidade, Economia Circular e Perspectivas Futuras

Figura 03 – Distribuição aproximada das principais reservas mundiais de terras raras.



Fonte: US Geological survey. 2025.

Outro aspecto amplamente identificado na literatura refere-se à necessidade de compatibilizar expansão da mineração e sustentabilidade ambiental.

A exploração de terras raras apresenta desafios relacionados ao gerenciamento de rejeitos, consumo hídrico, recuperação ambiental e controle de contaminantes. Dessa forma, critérios ESG e práticas de mineração responsável tornaram-se elementos estratégicos para a competitividade internacional do setor.

Paralelamente, a economia circular desponta como importante alternativa para reduzir a dependência da mineração primária. O desenvolvimento de tecnologias voltadas à reciclagem de ímãs permanentes, baterias, equipamentos eletrônicos e turbinas eólicas poderá ampliar a segurança do abastecimento e reduzir impactos ambientais.

Além dos desafios anteriormente mencionados, a exploração de terras raras envolve importantes questões ambientais e sociais que precisam ser consideradas na formulação de políticas públicas e estratégias empresariais. Embora esses elementos sejam fundamentais para a transição energética e para o desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, sua mineração e processamento podem gerar impactos significativos quando conduzidos sem planejamento adequado.

Entre os principais desafios destaca-se a presença potencial de elementos radioativos, especialmente tório e, em alguns depósitos, urânio, frequentemente associados a determinados minerais portadores de terras raras, como a monazita. Durante as etapas de extração, beneficiamento e separação química, esses elementos podem concentrar-se nos rejeitos, exigindo sistemas rigorosos de monitoramento, armazenamento, transporte e disposição final, de modo a minimizar riscos ambientais e à saúde humana. Dessa forma, o gerenciamento seguro desses resíduos constitui um dos principais desafios tecnológicos, ambientais e regulatórios da cadeia produtiva.

Outro aspecto relevante refere-se ao elevado consumo de água, energia e reagentes químicos empregados nos processos de concentração e separação dos elementos de terras raras. Caso não sejam adotadas tecnologias eficientes de tratamento de efluentes, reaproveitamento de recursos hídricos e recuperação de áreas degradadas, podem ocorrer impactos sobre corpos d'água, solos e ecossistemas, comprometendo a sustentabilidade da atividade minerária.

Sob a perspectiva institucional, o licenciamento ambiental desempenha papel central na

viabilidade dos empreendimentos. Processos transparentes, fundamentados em estudos de impacto ambiental consistentes, monitoramento contínuo e participação efetiva dos órgãos reguladores e das comunidades potencialmente afetadas contribuem para reduzir conflitos, aumentar a segurança jurídica dos investimentos e fortalecer a confiança social. Ao mesmo tempo, procedimentos excessivamente demorados ou marcados por insegurança regulatória podem dificultar a implantação de projetos estratégicos, evidenciando a necessidade de conciliar proteção ambiental, eficiência administrativa e desenvolvimento econômico.

Também devem ser considerados os conflitos socioambientais relacionados ao uso e à ocupação do território, especialmente em regiões onde coexistem atividades minerárias, comunidades tradicionais, povos indígenas e áreas ambientalmente sensíveis. Nesses contextos, mecanismos de diálogo, consulta, compensação e compartilhamento dos benefícios econômicos tornam-se fundamentais para fortalecer a legitimidade dos empreendimentos e reduzir disputas decorrentes da exploração mineral.

Nesse cenário, a aceitação social da mineração, frequentemente denominada social license to operate, constitui um fator estratégico para o sucesso de projetos de longo prazo. A confiança entre empresas, Estado e sociedade depende da adoção de elevados padrões de governança, transparência, responsabilidade socioambiental e respeito aos direitos das populações locais, aspectos cada vez mais valorizados por investidores, mercados consumidores e organismos internacionais.

Assim, a consolidação de uma cadeia brasileira de terras raras competitiva e sustentável dependerá não apenas da disponibilidade geológica ou do avanço tecnológico, mas também da capacidade de compatibilizar eficiência econômica, proteção ambiental e inclusão social. A incorporação de princípios ambientais, sociais e de governança (ESG), associada ao fortalecimento da economia circular, ao reaproveitamento de resíduos minerais e ao desenvolvimento de tecnologias de menor impacto ambiental, tende a ampliar a competitividade internacional do setor e fortalecer a inserção do Brasil nas cadeias globais de valor dos minerais críticos.

Embora atualmente a reciclagem responda por parcela limitada da oferta mundial, projeções

da IEA indicam crescimento significativo dessa atividade nas próximas décadas, especialmente em razão da expansão dos veículos elétricos e da geração de energia renovável.

Tabela 1 – Participação dos países na cadeia global de terras raras

País	Reservas %	Produção%	Processamento
China	44	70	Muito elevada
Brasil	23	< 1	Muito baixa
Austrália	6	< 8	Alta
Estados Unidos	2	< 12	Média

Fonte: Elaborado pelo autor com base em USGS (2025) e IEA (2024).

Implicações para as Políticas Públicas Brasileiras

Os resultados obtidos indicam que a consolidação do Brasil como ator estratégico na geopolítica dos minerais críticos dependerá da implementação de políticas públicas integradas e de longo prazo.

Entre as principais prioridades destacam-se:

- Fortalecimento da pesquisa científica e da inovação tecnológica;
- Ampliação da capacidade nacional de processamento e separação química;
- Estímulo à produção doméstica de ligas metálicas, ímãs permanentes e componentes eletrônicos;
- Incentivo à economia circular e à reciclagem de minerais críticos;
- Formação de recursos humanos especializados;
- Criação de mecanismos de financiamento para projetos estratégicos;
- Fortalecimento da cooperação entre universidades, centros de pesquisa e setor produtivo.

Essas iniciativas podem contribuir para reduzir a dependência tecnológica externa, ampliar a agregação de valor aos recursos minerais e fortalecer a posição brasileira nas cadeias globais de valor.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo analisou o papel das terras raras brasileiras na geopolítica dos minerais críticos, evidenciando que esses recursos assumiram posição estratégica na reorganização das cadeias globais de valor e nas disputas tecnológicas da economia internacional do século XXI. A revisão da literatura demonstrou que a transformação digital, a transição energética, a expansão da mobilidade elétrica e o avanço de tecnologias intensivas em conhecimento ampliaram significativamente a demanda por minerais estratégicos, conferindo-lhes importância crescente para a competitividade econômica, a segurança nacional e a soberania tecnológica dos Estados.

Os resultados indicam que a principal vulnerabilidade das cadeias globais de suprimento não decorre da escassez geológica das terras raras, mas da concentração das etapas de separação química, processamento industrial e fabricação de componentes de alto valor agregado em um número restrito de países. Essa configuração amplia assimetrias tecnológicas e a dependência de economias que, embora possuam reservas minerais expressivas, ainda apresentam limitada capacidade de agregação de valor e reduzido domínio das etapas industriais mais sofisticadas.

No caso brasileiro, verificou-se que o país reúne condições geológicas privilegiadas para desempenhar papel mais relevante no mercado internacional de minerais estratégicos. Entretanto, a disponibilidade de reservas ainda não se converteu em protagonismo tecnológico e industrial. A permanência de um modelo baseado predominantemente na exportação de matérias-primas limita os benefícios econômicos da atividade minerária e reduz a capacidade nacional de participar dos segmentos mais dinâmicos das cadeias globais de valor.

A análise reforça que a disponibilidade de recursos minerais constitui condição necessária, mas não suficiente, para a construção da soberania tecnológica. A transformação dessa vantagem comparativa em vantagem competitiva depende da articulação entre políticas industriais, pesquisa científica, inovação tecnológica, formação de recursos humanos qualificados, fortalecimento da



indústria de transformação e ampliação da capacidade nacional de beneficiamento e processamento de terras raras.

Sob a perspectiva da Economia Política Internacional, observa-se que a competitividade contemporânea está cada vez mais associada ao domínio de tecnologias estratégicas e ao controle das etapas de maior intensidade tecnológica das cadeias produtivas. Nesse sentido, o aproveitamento das terras raras brasileiras deve integrar estratégia de desenvolvimento baseada em mineração, industrialização, inovação, sustentabilidade e agregação de valor.

Do ponto de vista das políticas públicas, os resultados indicam a necessidade de estratégias de longo prazo voltadas ao fortalecimento da pesquisa científica, da infraestrutura laboratorial, da indústria química e metalúrgica, da produção de materiais avançados e da cooperação entre universidades, centros de pesquisa, setor produtivo e Estado. Paralelamente, a adoção de práticas de mineração sustentável, economia circular e critérios ambientais, sociais e de governança (ESG) mostra-se essencial para ampliar a competitividade internacional da cadeia produtiva brasileira.

No campo acadêmico, esta pesquisa integra diferentes perspectivas sobre geopolítica, economia política internacional, dependência tecnológica e cadeias globais de valor, oferecendo uma abordagem interdisciplinar do papel estratégico das terras raras brasileiras. Ao reunir evidências científicas e documentos institucionais recentes, amplia a compreensão dos desafios e das oportunidades para a inserção do Brasil na economia dos minerais críticos.

Como limitações, destaca-se que a pesquisa se fundamenta exclusivamente em revisão bibliográfica, não contemplando dados primários nem análises quantitativas da cadeia produtiva nacional. Ademais, a rápida evolução tecnológica, as mudanças regulatórias e as transformações geopolíticas do setor exigem atualização permanente das análises.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o desenvolvimento de estudos empíricos sobre a viabilidade econômica, tecnológica, ambiental e social da cadeia brasileira de terras raras, bem como análises comparativas das políticas industriais adotadas por países que vêm ampliando sua participação nesse mercado. Também são promissoras investigações sobre reciclagem de minerais críticos,

economia circular, inovação em processos de separação química e mecanismos de financiamento voltados à industrialização do setor.

Conclui-se que o Brasil dispõe de uma oportunidade histórica para ampliar sua relevância na geopolítica dos minerais críticos. Contudo, a transformação de seu patrimônio geológico em desenvolvimento econômico, autonomia tecnológica e protagonismo internacional dependerá da capacidade de converter recursos naturais em conhecimento, inovação, industrialização e sustentabilidade. Assim, o aproveitamento estratégico das terras raras representa não apenas uma oportunidade econômica, mas também um elemento fundamental para fortalecer a soberania tecnológica e promover uma inserção mais competitiva e sustentável do Brasil nas cadeias globais de valor.

REFERÊNCIAS

BARDIN, Laurence. Análise de conteúdo. São Paulo: Edições 70, 2016.

BINNEMANS, Koen et al. Recycling of rare earths: a critical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 1–22, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Plano Nacional de Mineração 2050. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2022.

CBMM. Terras raras. Araxá, 2026. Disponível em: <https://cbmm.com/pt>. Acesso em: 22 maio 2026.

CRESWELL, John W. Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

CUNHA, Ioná de Abreu et al. An overview of critical and strategic minerals potential of Brazil: 2025 edition. Brasília: Geological Survey of Brazil, 2025. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/items/bac3f230-a2a3-415d-a529-5671fa394889>. Acesso em: 28 maio 2026.

GEREFFI, Gary; HUMPHREY, John; STURGEON, Timothy. The governance of global value chains. *Review of International Political Economy*, v. 12, n. 1, p. 78–104, 2005.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GILPIN, Robert. *Global Political Economy: Understanding the International Economic Order*. Princeton: Princeton University Press, 2001.

GSCHNEIDNER JR., Karl A.; EYRING, LeRoy (ed.). *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*. Amsterdam: Elsevier, 2016.

HUMPHRIES, Marc. *Rare Earth Elements: The Global Supply Chain*. Washington, DC: Congressional Research Service, 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *Global Critical Minerals Outlook 2024*. Paris: IEA, 2024.

MASSARI, Stefania; RUBERTI, Marcello. Rare earth elements as critical raw materials: focus on international markets and future strategies. *Resources Policy*, v. 38, n. 1, p. 36–43, 2013.

METEORIC RESOURCES NL. Caldeira Rare Earth Ionic Clay Project. Disponível em: <https://meteoric.com.au/projects/caldeira-rare-earth-project/>. Acesso em: 11 jun. 2026.

NYE, Joseph S. *The Future of Power*. New York: PublicAffairs, 2011.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*. Paris: OECD Publishing, 2019.

PORTER, Michael E. *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press, 1990.

SERRA VERDE GROUP. Pela Ema Rare Earth Project. Goiânia, 2026. Disponível em: <https://serraverde.com>. Acesso em: 14 jul. 2026.

STRANGE, Susan. *States and Markets*. London: Pinter Publishers, 1988.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Mineral Commodity Summaries 2025: Rare Earths. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2025. DOI: 10.3133/mcs2025. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2025/mcs2025-rare-earths.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2026.

VAKILIAN, Kaveh A. Rare earth elements: overview of mining, mineralogy, uses, sustainability and environmental impact. American Journal of Environmental Protection, v. 3, n. 1, p. 32–42, 2014.