



A relevância dos minerais estratégicos no contexto da transição energética sustentável para uma economia de baixo carbono

The relevance of strategic minerals in the context of the sustainable energy transition toward a low-carbon economy

Uonis Raasch Pagel

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Inovação, Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, RJ, Brasil

E-mail: uonispagel@gmail.com

Received: 04 July 2028 | Accepted: 31 August 2026 | Published online: 02 September 2026

Resumo: A transição energética para uma economia de baixo carbono depende diretamente da disponibilidade e do acesso a minerais estratégicos, fundamentais para a geração, o armazenamento, o transporte e a utilização de energia. Este artigo examina o papel desses minerais na atualidade, investigando como eles podem impulsionar o avanço de uma matriz energética mais sustentável. A metodologia adotada caracteriza-se como pesquisa aplicada, qualitativa e descritiva, baseada em múltiplas fontes de informação, com ênfase em dados secundários, pesquisa bibliográfica, documental e consulta a sites especializados. Os resultados evidenciam que os minerais estratégicos são insumos essenciais para tecnologias de baixo carbono, incluindo baterias de íon-lítio, turbinas eólicas e células fotovoltaicas. Sem esses materiais, a transição para uma matriz energética sustentável seria inviável. A crescente demanda por esses recursos exige avanços tecnológicos na mineração, no processamento e no reaproveitamento de materiais, além da busca por alternativas viáveis, como a substituição de minerais escassos por opções mais abundantes. Esse desafio, tanto econômico quanto científico, demanda investigação contínua para garantir a viabilidade da transição energética no longo prazo.

Palavras-chave: minerais estratégicos; transição energética; economia de baixo carbono; sustentabilidade; segurança energética.

Abstract: The energy transition to a low-carbon economy depends directly on the availability of and access to strategic minerals, which are essential for the generation, storage, transportation and use of energy. This article examines the role of these minerals today, investigating how they can drive the advancement of a more sustainable energy matrix. The methodology adopted is characterized as applied, qualitative and descriptive research, based on multiple sources of information, with an emphasis on secondary data, bibliographic and documentary research and consultation of specialized websites. The results show that strategic minerals are essential inputs for low-carbon technologies, including lithium-ion batteries, wind turbines and photovoltaic cells. Without these materials, the transition to a sustainable energy matrix would be unfeasible. The growing demand for these resources requires technological advances in mining, processing and reuse of materials, in addition to the search for viable alternatives, such as the replacement of scarce minerals with more abundant options. This challenge, both economic and scientific, demands continuous research to ensure the viability of the energy transition in the long term.

Keywords: strategic minerals; energy transition; low-carbon economy; sustainability; energy security.

1 Introdução

A expansão da digitalização e o avanço das tecnologias energéticas têm ampliado a relevância dos minerais estratégicos¹ para o desenvolvimento econômico e tecnológico. Paralelamente, a transição para uma

¹ No Brasil, a classificação de um mineral como estratégico está fundamentada nos critérios estabelecidos pela Resolução nº 2, de 18 de junho de 2021, do Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME), que considera: (i) a

economia de baixo carbono, impulsionada pela necessidade de mitigar as mudanças climáticas, acelera a substituição de combustíveis fósseis por fontes limpas e renováveis. Nesse cenário, a mineração desempenha papel essencial ao fornecer os insumos indispensáveis às tecnologias de geração, armazenamento e uso da energia (IEA, 2022). Esses materiais viabilizam a mobilidade elétrica, os sistemas de armazenamento energético e o aumento da eficiência dos processos industriais, consolidando-se como componentes fundamentais da transição energética. A viabilidade desse processo, contudo, depende da disponibilidade e da segurança do suprimento dessas matérias-primas.

Além de sua importância para a segurança energética, esses recursos contribuem para o fortalecimento da competitividade econômica e da capacidade tecnológica dos países (Portal da Mineração, 2022). Sua relevância torna-se ainda mais evidente diante da crescente demanda por tecnologias de baixo carbono, como veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia e fontes renováveis de geração elétrica. Segundo a *International Energy Agency* (IEA, 2024), o consumo mundial de serviços energéticos continuará em expansão, impulsionado principalmente pelas economias emergentes e em desenvolvimento. Esse cenário reforça a necessidade de assegurar o fornecimento sustentável desses insumos, reduzindo riscos de abastecimento e favorecendo o avanço da transição energética.

No Brasil, essa discussão adquire caráter estratégico em razão da combinação entre abundância de recursos minerais, capacidade produtiva e potencial de inserção nas cadeias globais de valor. As expressivas reservas existentes conferem ao país condições favoráveis para se consolidar como fornecedor de insumos essenciais à economia de baixo carbono (EPE, 2025). Apesar desse potencial, persistem limitações relacionadas à insuficiência de investimentos em pesquisa, desenvolvimento tecnológico e infraestrutura para uma mineração sustentável, além de lacunas regulatórias e da limitada qualificação técnica da cadeia produtiva (Portal da Mineração, 2022).

Outro desafio relevante é a insuficiência de levantamentos geológicos detalhados, que restringe a identificação de novas reservas e compromete a competitividade brasileira no mercado internacional de minerais estratégicos (IBRAM, 2022). Soma-se a isso a limitada oferta de mecanismos de financiamento destinados à pesquisa mineral. Embora a mineração ocupe parcela reduzida do território nacional, o setor responde por significativa participação no saldo da balança comercial brasileira. Esse contraste evidencia a necessidade de ampliar investimentos públicos e privados em prospecção mineral, desenvolvimento tecnológico e exploração sustentável, permitindo ao país aproveitar de forma mais efetiva suas vantagens competitivas (Portal da Mineração, 2022).

Diante desse contexto, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: qual é a importância dos minerais estratégicos para viabilizar a transição energética sustentável? Para tanto, analisa o papel desses recursos na consolidação de uma economia de baixo carbono e no desenvolvimento de uma matriz energética mais sustentável. Adicionalmente, discute sua relevância no cenário contemporâneo e os principais desafios relacionados à exploração, ao processamento e à agregação de valor.

A relevância desta pesquisa decorre do papel central desempenhado pelos minerais estratégicos no desenvolvimento de tecnologias de baixo carbono, como baterias, painéis fotovoltaicos e sistemas de armazenamento de energia. Ao mesmo tempo, a concentração da produção e do processamento desses insumos em um número restrito de países torna as cadeias globais de suprimento mais suscetíveis a instabilidades geopolíticas, reforçando a necessidade de políticas voltadas à segurança energética. Somam-se a esse quadro os impactos ambientais e sociais da atividade mineradora, que exigem tecnologias mais eficientes de extração, processamento e reaproveitamento, além da adoção de práticas produtivas mais sustentáveis. Compreender a dinâmica desses recursos contribui para subsidiar políticas públicas, orientar estratégias empresariais e fortalecer a segurança do abastecimento diante da crescente demanda mundial.

Para tanto, além desta introdução, o artigo é dividido nas seguintes seções: metodologia; resultados e discussões; e conclusões.

2 Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, de natureza descritiva, fundamentada em fontes secundárias de informação. As análises baseiam-se em pesquisa bibliográfica, documental e na consulta a fontes especializadas.

elevada dependência nacional de importações para o atendimento de setores essenciais da economia; (ii) a importância do mineral para produtos e processos intensivos em tecnologia; e (iii) a existência de vantagens comparativas capazes de fortalecer a competitividade nacional e contribuir para o *superávit* da balança comercial (Brasil, 2021).

O levantamento contemplou artigos científicos, livros, dissertações, teses e periódicos indexados, recuperados em bases de dados nacionais e internacionais, entre elas Scopus, SciELO, Web of Science, Google Acadêmico e a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD). Também foram examinados documentos oficiais publicados por instituições de referência, como a IEA, o World Bank, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), além da legislação nacional pertinente, utilizada como suporte normativo para a discussão do tema.

As fontes selecionadas foram submetidas à leitura exploratória e seletiva, sendo incorporadas ao estudo aquelas que apresentaram maior relevância temática e consistência metodológica. A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas: (i) definição do problema e do objetivo; (ii) identificação e seleção da literatura e dos documentos pertinentes; (iii) extração, organização e sistematização das informações; e (iv) síntese e integração dos dados para subsidiar as análises e a discussão dos resultados.

3 Resultados e discussões

3.1 Diagnóstico e aplicação dos minerais estratégicos

O Quadro 1 apresenta os principais minerais estratégicos e suas aplicações na transição energética, com destaque para a mobilidade elétrica, a geração e o armazenamento de energia, a indústria tecnológica e a agricultura sustentável. Além de sintetizar as principais aplicações desses recursos, reúne referências técnicas que fundamentam sua caracterização e evidenciam sua importância para o desenvolvimento de tecnologias voltadas à descarbonização da economia.

Quadro 1. Diagnóstico e aplicação de principais minerais estratégicos

Mineral estratégico	Aplicação	Referência
Energia e Mobilidade Elétrica		
Lítio	Utilizado principalmente em baterias de íons de lítio, é essencial para a mobilidade elétrica e para sistemas de armazenamento estacionário.	IEA, 2022
Cobalto	Empregado na composição de cátodos em baterias de alto desempenho, especialmente em veículos elétricos, aumentando a estabilidade térmica e a segurança.	USGS, 2023
Níquel	Utilizado em baterias do tipo NMC (níquel-manganês-cobalto), é estratégico para garantir maior densidade energética.	World Bank, 2020
Grafita	Componente fundamental no ânodo das baterias de lítio, representa cerca de 25% da massa total da bateria.	Roskill, 2020
Terras Raras (Neodímio, Praseodímio, Disprósio etc.)	Empregadas em ímãs permanentes de alta eficiência, usados em motores elétricos e turbinas eólicas. A China detém cerca de 85% da capacidade global de refino.	USGS, 2023
Indústria Tecnológica e Aeroespacial		
Vanádio	Destaca-se pelo uso em baterias de fluxo redox, adequadas para o armazenamento estacionário de larga escala. Também utilizado em aços de alta resistência na indústria aeroespacial	World Bank, 2020
Nióbio	Usado em ligas metálicas e supercondutores, contribui para materiais mais leves e resistentes, essenciais em turbinas e componentes de aviões. O Brasil detém mais de 90% das reservas conhecidas.	DNPM, 2020
Grafeno	Derivado da grafita, possui alta condutividade elétrica e térmica, sendo promissor em aplicações em sensores, baterias de nova geração e dispositivos eletrônicos flexíveis.	Geim; Novoselov, 2007
Agricultura Sustentável		
Fosfato	Elemento essencial para fertilizantes fosfatados, viabiliza a produção agrícola intensiva. A escassez de fontes exploráveis é um desafio geoestratégico global.	World Bank, 2020
Potássio	Fundamental para o metabolismo vegetal e resistência a estresses ambientais. O Brasil importa mais de 85% do potássio consumido.	Embrapa, 2022
Minerais Estratégicos Adicionais para a Transição Energética		

Cobre	Essencial para a condução elétrica, está presente em turbinas eólicas, painéis solares, cabos de transmissão, veículos elétricos e infraestrutura de recarga.	IEA, 2022
Silício	Utilizado na fabricação de células fotovoltaicas (painéis solares) e semicondutores. É um dos materiais-chave da revolução digital e energética.	World Bank, 2020
Tântalo	Fundamental para capacitores eletrônicos em equipamentos de energia renovável, baterias e dispositivos médicos. Possui alta resistência térmica e à corrosão.	USGS, 2023
Titânio	Empregado em ligas leves e resistentes à corrosão, é utilizado em turbinas, equipamentos <i>offshore</i> e veículos leves de alto desempenho. Sua leveza contribui para a eficiência energética.	Zimtu Capital Corp, 2024
Tungstênio	Conhecido por seu alto ponto de fusão, é usado em turbinas, eletrodos e componentes de alta resistência. Contribui para a durabilidade e eficiência de tecnologias críticas.	OECD, 2022
Urânio	Relevante para a geração de energia nuclear, uma fonte de baixo carbono que pode complementar fontes intermitentes como solar e eólica. O Brasil possui reservas significativas e capacidade de enriquecimento.	CNEN, 2022
Zinco	Usado na galvanização de estruturas metálicas, baterias (ex. zinco-ar) e painéis solares. Também tem papel na durabilidade e sustentabilidade de sistemas energéticos.	World Bank, 2020
Remineralizadores	Compostos naturais ricos em minerais (ex. pó de rocha) que melhoram a fertilidade do solo, reduzindo a dependência de fertilizantes importados. Contribuem para a agricultura regenerativa e o sequestro de carbono.	Embrapa, 2022

A análise do quadro evidencia que esses recursos desempenham funções complementares em diferentes cadeias produtivas, sendo indispensáveis à fabricação de baterias, motores elétricos, turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos, equipamentos eletrônicos, fertilizantes e materiais avançados. Essa diversidade de aplicações demonstra que a transição energética depende não apenas da expansão das fontes renováveis, mas também da disponibilidade de matérias-primas capazes de sustentar o desenvolvimento e a difusão dessas tecnologias.

O Brasil reúne condições geológicas favoráveis e expressivas reservas minerais, que lhe conferem potencial para ocupar posição de destaque no fornecimento de insumos estratégicos para a transição energética (SGB, 2024). Mais do que ampliar a produção mineral, o principal desafio consiste em agregar valor aos recursos extraídos, ampliando a participação do país nas etapas industriais de maior intensidade tecnológica. Para isso, é necessário desenvolver competências tecnológicas, reduzir a dependência externa e fortalecer a inserção brasileira nos segmentos mais dinâmicos da economia de baixo carbono.

Nessa direção, o Ministério de Minas e Energia (MME) tem priorizado o adensamento das cadeias de transformação mineral, com foco em minerais estratégicos, mineração urbana, produção de ímãs de terras raras, desenvolvimento de tecnologias sustentáveis para a mineração e descarbonização dos processos produtivos. Essas iniciativas estão alinhadas às diretrizes governamentais voltadas ao fortalecimento da cadeia de valor mineral, ao aumento da segurança das cadeias produtivas nacionais e ao reforço da soberania mineral e industrial brasileira (MME, 2026).

Entre as principais reservas nacionais destacam-se o lítio, concentrado em Minas Gerais e Bahia; a grafita e o nióbio, em Minas Gerais; o níquel, em Goiás e no Pará; além de fosfato e potássio distribuídos em estados como Amazonas e Mato Grosso (SGB, 2024). Apesar desse expressivo potencial geológico, o Brasil ainda ocupa posição predominantemente periférica nas cadeias globais de valor, caracterizada pela exportação de commodities minerais com baixo grau de beneficiamento e reduzida agregação de valor (Morici; Mendes, 2026).

Superar esse cenário exige políticas públicas voltadas ao estímulo da pesquisa, do desenvolvimento e da inovação (PD&I), à promoção de estratégias industriais para o processamento e a transformação mineral, ao aperfeiçoamento da regulação ambiental e social e ao fortalecimento da articulação entre governo, universidades, centros de pesquisa e setor produtivo. Essas medidas são fundamentais para ampliar a competitividade da mineração brasileira, fortalecer a indústria de transformação mineral e consolidar cadeias produtivas mais integradas e tecnologicamente avançadas.

Nesse contexto, o país possui condições de superar o papel de mero exportador de matérias-primas e consolidar-se como polo industrial estratégico da transição energética na América do Sul. O fortalecimento das cadeias produtivas ligadas à fabricação de baterias de íons de lítio, ímãs permanentes de terras raras e tecnologias associadas ao hidrogênio verde representa uma oportunidade para impulsionar a inovação, ampliar a agregação de valor e fortalecer a inserção brasileira nas cadeias globais de tecnologias limpas (IBRAM, 2025).

3.2 Relevância dos minerais estratégicos na transição energética sustentável

A transição energética voltada à consolidação de uma economia de baixo carbono fundamenta-se, em grande medida, nos compromissos internacionais estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente por meio da Agenda 2030. Destacam-se, nesse âmbito, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 13, que propõe medidas para o enfrentamento das mudanças climáticas, e o ODS 7, voltado à garantia do acesso universal à energia acessível, confiável, sustentável e moderna (Santos, 2023). O cumprimento dessas metas depende da expansão de tecnologias de baixo carbono, cuja implementação requer o fornecimento contínuo de minerais estratégicos.

Esses insumos são indispensáveis para a geração, o armazenamento, a transmissão e o uso da energia, estando presentes em baterias de íons de lítio, turbinas eólicas, motores elétricos e sistemas fotovoltaicos. Sua disponibilidade, portanto, constitui um fator decisivo para viabilizar a transição energética. Em contrapartida, a extração e o processamento mineral podem gerar impactos ambientais significativos, como degradação do solo, contaminação de recursos hídricos e emissões de gases de efeito estufa (GEEs)². Persistem, ainda, desafios sociais relacionados às condições de trabalho e aos conflitos envolvendo comunidades localizadas em áreas de mineração (CEBRI et al., 2025).

Outro aspecto crítico é a elevada concentração geográfica das reservas e das etapas de processamento. Países como China, República Democrática do Congo e Austrália concentram parcela expressiva da produção e do refino de diversos minerais estratégicos, tornando as cadeias globais de suprimento mais vulneráveis a restrições comerciais, instabilidades políticas e disputas geopolíticas (USGS, 2023). Compreender essa dinâmica é fundamental para fortalecer a segurança energética, industrial e econômica dos países.

Para o Brasil, esse cenário representa uma oportunidade estratégica de ampliar sua participação nas cadeias globais de fornecimento de matérias-primas críticas. O país dispõe de expressivas reservas minerais e ocupa posição geopolítica favorável em um contexto internacional marcado pela busca de diversificação dos fornecedores. Entretanto, o aproveitamento desse potencial depende da consolidação de um ambiente institucional respaldado por políticas públicas, condições favoráveis ao investimento e instrumentos adequados de financiamento. Soma-se a isso o movimento de economias como Estados Unidos e países europeus para reduzir sua dependência da China, ampliando as oportunidades de inserção brasileira nesse mercado, especialmente porque muitos desses países não dispõem de reservas suficientes para atender à crescente demanda por minerais estratégicos (Martini; Rosas, 2026).

As projeções da EPE (2025) e do IBRAM (2025) reforçam essa tendência ao indicar que a demanda por minerais estratégicos deverá crescer aproximadamente 54% entre 2024 e 2034, impulsionada pela expansão da matriz elétrica e pela eletrificação da frota de veículos. Esse crescimento evidencia a crescente intensidade mineral da transição energética e sua estreita relação com o cumprimento das metas climáticas brasileiras, em especial a redução de 59% a 67% das emissões de GEEs até 2035 (IBRAM, 2025).

Conforme apresentado na Figura 1, o cobre permanece como o mineral de maior utilização tanto em 2024 quanto na projeção para 2034, em razão de sua elevada condutividade elétrica e de sua ampla aplicação em tecnologias de geração renovável, como energia solar, eólica e biomassa, além de fontes convencionais, como carvão mineral e gás natural. O silício ocupa a segunda posição em ambos os períodos, refletindo sua importância para a fabricação de células fotovoltaicas. Em 2024, o zinco aparece como o terceiro mineral mais demandado, sobretudo em função de sua aplicação na geração eólica. Entre os minerais com maior expansão proporcional destacam-se grafita, fósforo, lítio e terras raras, cuja utilização está diretamente associada à fabricação de baterias para veículos elétricos e sistemas de armazenamento de energia.

² São gases que retêm calor na atmosfera. Principais exemplos e percentuais de contribuição para o aquecimento global: Dióxido de carbono (CO₂) 60%; Metano (CH₄) 20%; Óxido nítrico (N₂O) 6%; demais gases como Clorofluorcarbono (CFC), Hidrofluorcarbonetos (HFCs), Perfluorcarbono (PFC) e Hexafluoreto de enxofre (SF₆) 14% (CETESB, 2021).

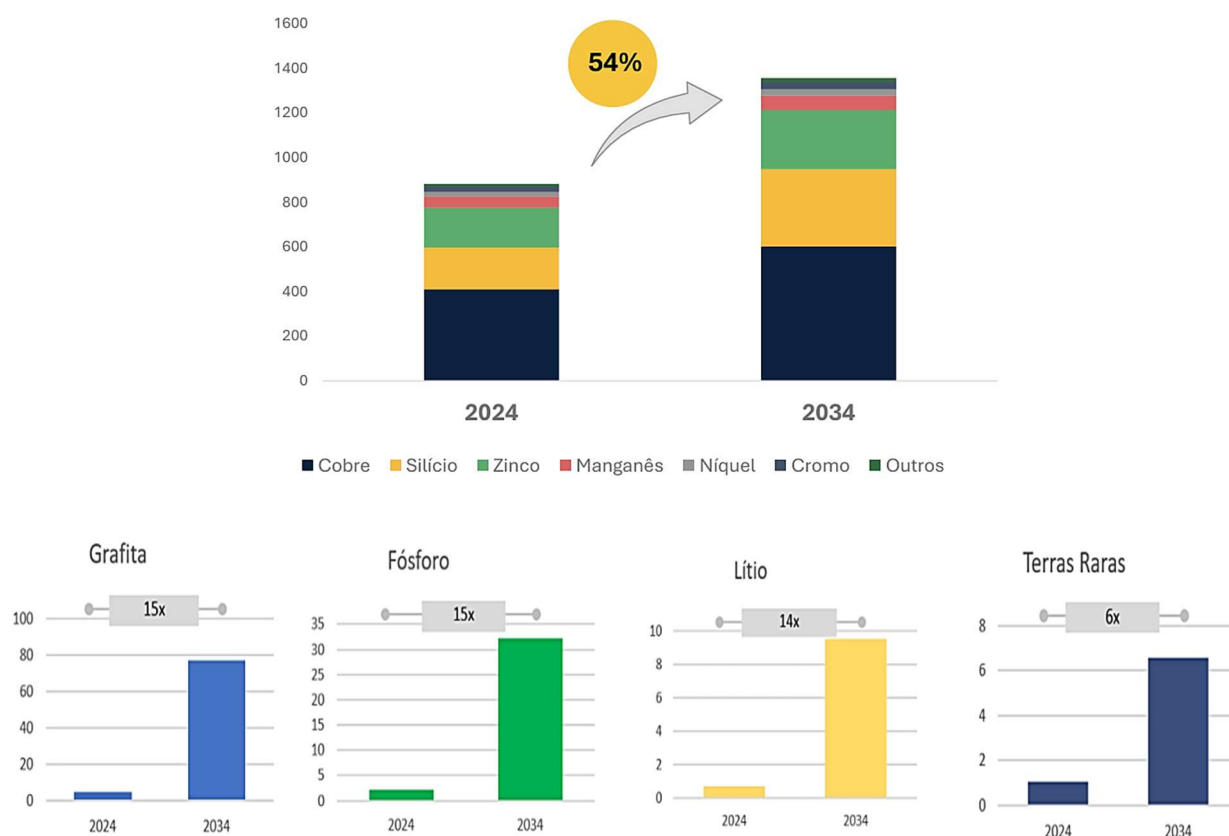


Figura 1. Minerais utilizados em tecnologias de energia elétrica (mil toneladas). Fonte: EPE (2025).

No setor elétrico, a quantidade de minerais empregada na matriz brasileira também deverá crescer cerca de 54% no período, enquanto a capacidade instalada aumentará aproximadamente 35% (EPE, 2025). Essa diferença demonstra que a expansão das fontes renováveis, especialmente a solar fotovoltaica e a eólica, exige maior intensidade no consumo de recursos minerais quando comparada às tecnologias convencionais de geração. Em consequência, a descarbonização do setor elétrico está diretamente associada ao aumento da demanda por esses insumos.

A distribuição da demanda entre as diferentes tecnologias de geração também evidencia mudanças relevantes na composição da matriz elétrica brasileira. Conforme ilustrado na Figura 2, a energia eólica representa a principal consumidora de minerais em 2024, respondendo por aproximadamente 40% da demanda total e mantendo participação semelhante na projeção para 2034. A energia solar, considerando as modalidades centralizada e distribuída, ocupa a segunda posição, com cerca de 30% do consumo total.

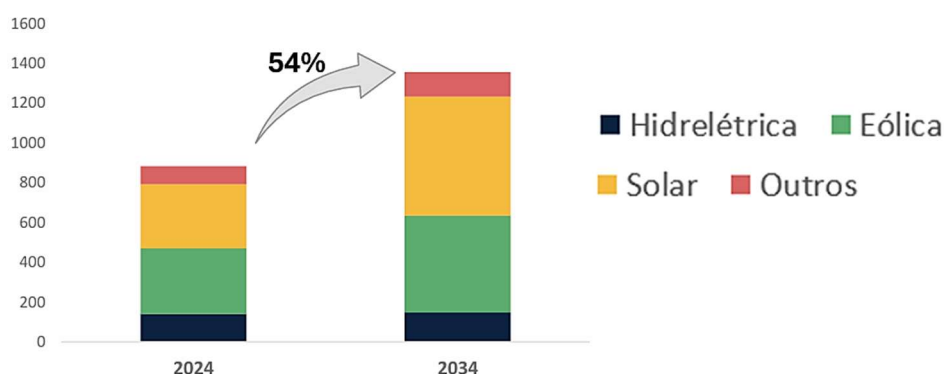


Figura 2. Composição mineral da matriz elétrica brasileira (mil toneladas), por fonte de energia. Fonte: EPE (2025).

As projeções indicam, entretanto, que a rápida expansão da geração fotovoltaica modificará esse cenário ao longo da próxima década. Até 2034, a energia solar deverá responder por aproximadamente 41% da demanda mineral, tornando-se a principal tecnologia consumidora desses insumos (EPE, 2025). Esse avanço decorre da expressiva ampliação da capacidade instalada prevista para essa fonte e reforça a crescente intensidade mineral associada à transição energética brasileira.

3.3 Políticas brasileiras de fomento e financiamento

A transição energética brasileira ganhou um importante marco institucional com a publicação da Resolução nº 5/2024, do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que instituiu a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante) e o Fórum Nacional de Transição Energética (CNPE, 2024).

Nesse cenário, o fortalecimento da cadeia de valor dos minerais estratégicos consolidou-se como um dos eixos centrais das políticas públicas voltadas à transição energética. As principais iniciativas têm sido conduzidas pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), em articulação com o MME e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), priorizando a pesquisa mineral, a inovação tecnológica, a industrialização e a agregação de valor, em consonância com as estratégias nacionais de reindustrialização e segurança energética.

Entre os principais instrumentos destaca-se o Fundo de Investimento em Participações (FIP) Minerais Estratégicos, criado pelo BNDES em parceria com o MME, com potencial para mobilizar até R\$ 1 bilhão. O fundo destina-se ao apoio de empresas de pequeno e médio porte com projetos voltados à pesquisa mineral, ao desenvolvimento tecnológico e à implantação de novas minas para a produção de minerais estratégicos (BNDES, 2023).

Outra iniciativa relevante é o Programa Inova Mineral, desenvolvido pelo BNDES e pela Finep, com recursos estimados em R\$ 1,18 bilhão. O programa apoia investimentos destinados ao desenvolvimento tecnológico, à produção e à comercialização de produtos, processos e serviços inovadores relacionados à mineração e à transformação mineral. Sua atuação abrange todas as etapas da cadeia produtiva, incluindo pesquisa, exploração, lavra, beneficiamento, transformação mineral e o desenvolvimento de insumos, máquinas, equipamentos, softwares e sistemas especializados. Entre seus objetivos destacam-se o fortalecimento da capacidade tecnológica do setor, a diversificação das fontes de suprimento, o incentivo à inovação para enfrentar desafios técnicos e ambientais e o desenvolvimento da cadeia nacional de fornecedores (BNDES; Finep, 2022).

Em 2025, BNDES e Finep ampliaram esse esforço por meio de uma chamada pública com orçamento de R\$ 5 bilhões destinada ao fortalecimento da transformação industrial de minerais estratégicos. A iniciativa prioriza cadeias produtivas sustentáveis relacionadas a minerais como lítio, terras raras, níquel, grafita e silício. Também busca ampliar a produção de bens de maior valor agregado, como células para baterias, células fotovoltaicas e ímãs permanentes, mediante a implantação de plantas industriais e o desenvolvimento de novas capacidades produtivas (Agência Brasil, 2025).

Em conjunto, essas políticas evidenciam uma mudança na estratégia nacional para o setor mineral, que deixa de concentrar esforços apenas na ampliação da produção e passa a priorizar a agregação de valor, a inovação tecnológica e o fortalecimento da indústria nacional. Ao estimular o desenvolvimento de capacidades tecnológicas e produtivas, esses instrumentos contribuem para reduzir a dependência de cadeias externas de suprimento, ampliar a competitividade da indústria mineral brasileira e consolidar a inserção do país nas cadeias globais de valor vinculadas à transição energética.

4 Conclusões

Este estudo objetivou analisar o papel dos minerais estratégicos na atualidade, investigando de que forma eles podem contribuir para o avanço de uma matriz energética mais sustentável. Além disso, buscou-se destacar sua relevância no cenário contemporâneo, bem como os desafios envolvidos na sua exploração, processamento e incorporação às cadeias produtivas.

Os resultados demonstraram que minerais como lítio, cobalto, níquel, terras raras, fosfato, potássio, vanádio, nióbio, grafita e grafeno constituem insumos essenciais para tecnologias de baixo carbono, incluindo baterias de íons de lítio, turbinas eólicas e células fotovoltaicas. Assim, a consolidação de uma matriz energética mais sustentável depende diretamente da disponibilidade desses recursos. O crescimento da demanda mundial, entretanto, amplia os desafios relacionados ao aperfeiçoamento das tecnologias de mineração e processamento, ao desenvolvimento de soluções para o reaproveitamento de materiais e à substituição de minerais críticos por alternativas mais abundantes. Enfrentar essas questões exige investimentos contínuos em PD&I, de modo a garantir a sustentabilidade da transição energética no longo prazo.

A compreensão do papel desses recursos fornece subsídios para a formulação de políticas públicas voltadas à diversificação das cadeias de suprimento, ao fortalecimento da mineração responsável e ao desenvolvimento de tecnologias de reaproveitamento. Também orienta empresas e investidores na

definição de estratégias capazes de conciliar competitividade, inovação e sustentabilidade. Nesse contexto, a exploração mineral deve estar alinhada a critérios ambientais, sociais e de governança, apoiada por um arcabouço regulatório capaz de promover o desenvolvimento sustentável do setor.

Conclui-se, portanto, que a transição energética requer um novo paradigma para a gestão dos minerais estratégicos, fundamentado na inovação tecnológica, na segurança ambiental, no fortalecimento da soberania industrial e em políticas públicas consistentes. Em razão de sua expressiva disponibilidade de recursos minerais, o Brasil reúne condições favoráveis para assumir posição de destaque nas cadeias globais de valor vinculadas à economia de baixo carbono, desde que consiga articular exploração mineral, desenvolvimento tecnológico, agregação de valor e sustentabilidade.

Como desdobramento deste estudo, sugerem-se, como pesquisas futuras, investigações voltadas à análise dos desafios regulatórios e socioambientais decorrentes da expansão da mineração para a transição energética, bem como do potencial da economia circular, da mineração urbana e do reaproveitamento de minerais estratégicos para reduzir a dependência de novas extrações. Também são oportunas pesquisas que avaliem os impactos da concentração geopolítica das cadeias de suprimento sobre a segurança energética e investiguem tecnologias capazes de aumentar a eficiência da exploração mineral, substituir minerais críticos por alternativas mais abundantes e mitigar os impactos ambientais da atividade mineradora.

Referências bibliográficas

Agência Brasil (2025) *BNDES e Finep lançam chamada pública de R\$ 5 bilhões para transformação de minerais estratégicos*. Brasília: Agência Brasil. <https://agenciabrasil.ebc.com.br> (accessed 22 February 2026).

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (2023) *BNDES e MME lançam FIP Minerais Estratégicos*. Rio de Janeiro: BNDES. <https://www.bndes.gov.br> (accessed 22 February 2026).

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Finep – Financiadora de Estudos e Projetos (2022) *Programa Inova Mineral*. Rio de Janeiro: BNDES. <https://www.bndes.gov.br> (accessed 22 February 2026).

CEBRI – Centro Brasileiro de Relações Internacionais, IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração, CENERGIA – Centro de Economia Energética e Ambiental, CETEM – Centro de Tecnologia Mineral and SGB – Serviço Geológico do Brasil (2025) *O papel do Brasil na agenda global de minerais críticos e estratégicos: demanda projetada e contribuição possível do Brasil na transição energética* (Relatório técnico). Rio de Janeiro: CEBRI.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (2021) *Nota Técnica 01.1: Quantificação e Relato de Emissões de Gases de Efeito Estufa*. São Paulo: CETESB.

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear (2022) *Programa Nuclear Brasileiro*. Rio de Janeiro: CNEN. <https://www.cnen.gov.br> (accessed 30 May 2026).

CNPE – Conselho Nacional de Política Energética (2024) *Resolução nº 5, de 26 de agosto de 2024*. Institui a Política Nacional de Transição Energética (PNTE), o Plano Nacional de Transição Energética (Plante), o Fórum Nacional de Transição Energética (Fonte) e dá outras providências. Brasília: CNPE.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral (2020) *Sumário Mineral Brasileiro*. Brasília: DNPM. <http://www.dnpm.gov.br> (accessed 30 May 2026).

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022) *Panorama do Potássio no Brasil*. Brasília: Embrapa. <https://www.embrapa.br> (accessed 30 May 2026).

EPE – Empresa de Pesquisa Energética (2025) *Minerais críticos e estratégicos para a transição energética*. Rio de Janeiro: EPE. <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/minerais-criticos-e-estrategicos-para-a-transicao-energetica> (accessed 10 February 2026).

Geim, AK, Novoselov, KS (2007) ‘The rise of graphene’. *Nature Materials*, v. 6, n. 3, p. 183-191. <https://doi.org/10.1038/nmat1849>.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2025) *Minerais críticos e estratégicos no Brasil: um passaporte para o futuro*. Brasília: IBRAM. https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/10/IBRAM_MINERAIS-CRITICOS-E-ESTRATEGICOS-NO-BRASIL_WEB.pdf (accessed 18 April 2026).

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2022) *Políticas Públicas para a Indústria Mineral*. Brasília: IBRAM. https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2022/08/Livro_Políticas_Publicas-Digital.pdf (accessed 22 January 2026).

IEA – International Energy Agency (2022) *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (accessed 30 May 2026).

IEA – International Energy Agency (2024) *World Energy Outlook 2024*. Paris: IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024/executive-summary> (accessed 22 January 2026).

Martini, P, Rosas, B (2026) ‘Brasil tem oportunidades em minerais, mas avanço depende de políticas, dizem especialistas’. *Valor Econômico*. <https://valor.globo.com/brasil/noticia/2026/05/20/brasil-tem-oportunidades-em-minerais-mas-avanco-depende-de-politicas-dizem-especialistas.ghtml> (accessed 8 June 2026).

MME – Ministério de Minas e Energia (2026) *Minerais Críticos do Brasil: guia para investidores estrangeiros*. Brasília: MME. <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/geologia-mineracao-e-transformacao-mineral/guia-investidor-minerais-criticos/guia-investidor-estrangeiro-em-minerais-criticos/2026/guia-do-investidor-pt-br-final.pdf> (accessed 18 April 2026).

Morici, GF, Mendes, BBA (2026) ‘Os minerais críticos surgem como o novo pré-sal brasileiro para a economia’. *Brazil Economy*. <https://brazileconomy.com.br/conteudo-de-marca/2026/05/os-minerais-criticos-surgem-como-o-novo-pre-sal-brasileiro-para-a-economia/> (accessed 18 April 2026).

OECD – Organisation for Economic Co-Operation and Development (2022) *Responsible Sourcing of Critical Minerals*. Paris: OECD Publishing. <https://www.oecd.org/publications/responsible-sourcing-of-critical-minerals.htm> (accessed 30 May 2026).

Portal da Mineração (2022) *Minerais estratégicos: o papel na transição energética*. Belo Horizonte: Portal da Mineração. <https://portaldamineracao.com.br/minerais-estrategicos-o-papel-na-transicao-energetica/> (accessed 22 January 2026).

Roskill (2020) *Natural & Synthetic Graphite: Market Report*. London: Roskill Information Services. <https://roskill.com/reports/natural-and-synthetic-graphite/> (accessed 30 May 2026).

Santos, YCS (2023) ‘Panorama da mineração brasileira em relação a alguns dos principais minerais críticos necessários à transição energética’. *Latin American Journal of Energy Research - Lajer*, v. 10, n. 1, p. 77-86. <https://doi.org/10.21712/lajer.2023.v10.n1.p77-86>.

SGB – Serviço Geológico do Brasil (2024) *Panorama do Potencial do Brasil para Minerais Críticos e Estratégicos*. Brasília: SGB. <https://rigeo.sgb.gov.br/items/0b900992-d7b9-45d5-ad8e-85e5b6a2c8bd> (accessed 18 April 2026).

SNGM – Secretaria Nacional de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (2021) *Resolução nº 2, de 18 de junho de 2021*. Define a relação de minerais estratégicos para o País, de acordo com os critérios de que trata o art. 2º do Decreto nº 10.657, de 24 de março de 2021. Brasília: SNGM.

USGS – United States Geological Survey (2023) *Mineral Commodity Summaries*. Reston: U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023.pdf> (accessed 30 May 2026).

World Bank (2020) *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Washington: World Bank. <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/publication/climate-action> (accessed 30 May 2026).

Zimtu Capital Corp (2024) *Why Titanium is a Game-Changer for Clean Energy Technology*. Vancouver: Zimtu Capital Corp. <https://www.zimtu.com/why-titanium-is-a-game-changer/> (accessed 22 April 2026).