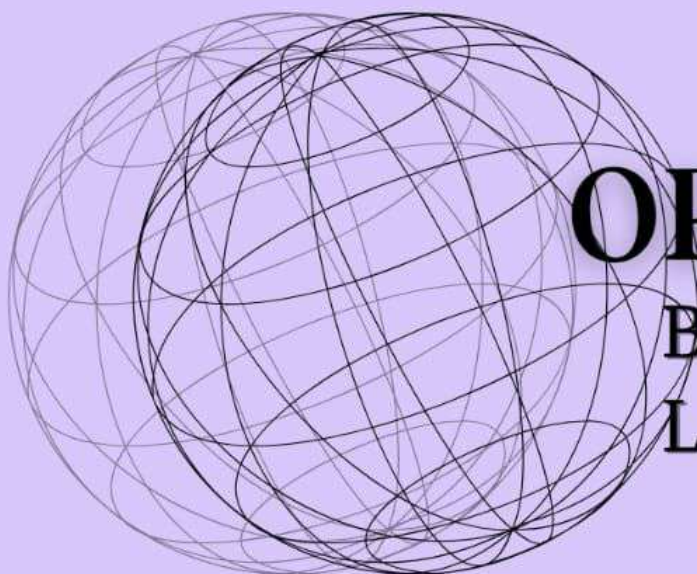




ORBIS

Boletim do
LEPEB-UFF



VOL.3 – Nº 10
SETEMBRO-DEZEMBRO/2025

ISSN: 2965-2235

Minerais Críticos e Poder Estratégico: O Brasil na Transição Energética Global

*Julio Cezar Rodrigues Eloi **

A transição energética global reposicionou minerais críticos e terras raras como insumos centrais das tecnologias de baixo carbono e da infraestrutura estratégica (International Energy Agency – IEA, 2021; Banco Mundial, 2020). O United States Geological Survey (USGS, 2021) evidencia a concentração da produção em poucos países, como a China, o que gera vulnerabilidades para Estados dependentes. Apesar da crescente literatura sobre energia limpa, ainda há uma lacuna quanto à análise da relação entre minerais críticos e defesa nacional (Klare, 2012).

Autores como Klare (2012) e Strange (1996) destacam que recursos estratégicos deslocam o foco da competição internacional e criam vulnerabilidades. Nesse cenário, o problema central é compreender como o Brasil pode transformar sua dotação mineral em poder estratégico. A questão de pesquisa que orienta este artigo é: de que maneira os minerais críticos podem ser convertidos em instrumentos de soberania e segurança nacional para o Brasil na transição energética global?

O objetivo deste artigo é analisar como minerais críticos podem se consolidar como instrumentos de poder brasileiro, articulando geopolítica, defesa e soberania nacional. Busca-se compreender as condições que favorecem o Brasil, como reservas diversificadas e matriz elétrica predominantemente renovável, e os desafios relacionados à governança mineral e às políticas industriais (Pope; Smith, 2023).

A investigação se justifica pela relevância dos minerais críticos para a autonomia tecnológica, a segurança energética e a defesa nacional. Esses recursos já integram a agenda internacional (Nye, 2011), e no Brasil são reconhecidos como ativos de soberania pela Estratégia Nacional de Defesa - END (Ministério da Defesa – MD, 2020). A contribuição esperada é oferecer subsídios para políticas públicas e estratégias que integrem recursos minerais à esfera de segurança (IEA, 2021).

Debates teóricos

A literatura sobre geopolítica dos recursos enfatiza que minerais estratégicos moldam relações de poder e dependência entre Estados. Klare (2012) argumenta que a disputa por recursos críticos é um vetor central da política internacional contemporânea, enquanto Strange (1996) mostra como a economia política global

conecta recursos estratégicos à vulnerabilidade dos Estados. Essa perspectiva reforça que minerais críticos não são apenas commodities, mas ativos geopolíticos que se inserem na agenda de segurança internacional (Buzan; Hansen, 2009).

Analistas de segurança internacional apontam que recursos estratégicos passaram a integrar a agenda de defesa e segurança. Nye (2011) sustenta que o poder no século XXI depende da capacidade de transformar recursos críticos em instrumentos de influência e segurança, e Scholvin (2016) acrescenta que a geografia dos recursos energéticos condiciona a autonomia dos Estados. Nesse sentido, minerais críticos se consolidam como elementos estruturantes do poder estratégico, especialmente em um cenário de transição energética (IEA, 2021).

No cenário brasileiro, a END (MD, 2020) reconhece minerais estratégicos como ativos de soberania, fundamentais para garantir autonomia tecnológica e segurança energética. Essa abordagem conecta a geopolítica dos recursos à agenda de defesa, indicando que a gestão mineral deve ser entendida como política de Estado. Estudos recentes reforçam que a integração entre recursos minerais e defesa é condição para ampliar a autonomia brasileira e reduzir vulnerabilidades (Banco Mundial, 2020).

A governança mineral é apontada como fator decisivo para transformar dotação geológica em poder estratégico. Pope e Smith (2023) destacam que o Brasil reúne vantagens estruturais incomuns, como reservas diversificadas e matriz elétrica limpa, mas depende de políticas industriais e mecanismos de rastreabilidade para consolidar uma diplomacia mineral. Nesse sentido, a literatura converge para a ideia de que minerais críticos são simultaneamente recursos econômicos, ativos geopolíticos e instrumentos de defesa nacional (USGS, 2021).

Apesar da relevância crescente do tema, ainda há lacunas na literatura sobre como países emergentes, como o Brasil, podem articular recursos minerais com estratégias de defesa e soberania. A maior parte dos estudos concentra-se em grandes potências, como Estados Unidos e China, deixando em aberto a análise sobre países com matriz energética limpa e reservas diversificadas. Essa lacuna justifica a necessidade de confrontar a teoria com a realidade brasileira, como faremos a seguir, na discussão e apresentação dos resultados da nossa pesquisa. (MD, 2020; IEA, 2021).

Evidências documentais e comparativas

O Quadro 1, adaptado de Holanda (2021), sintetiza a importância de minerais

como cobre, níquel, lítio e terras raras em tecnologias como solar fotovoltaica, eólica, baterias e redes elétricas. Fica demonstrado que tecnologias de energia limpa são intensivas em minerais, especialmente cobre, alumínio e elementos de terras raras.

Quadro 1 - Importância dos minerais críticos em tecnologias verdes

Tecnologia	Cobre	Cobalto	Níquel	Lítio	Terras raras	Cromo	Zinco	Platina	Alumínio	Nióbio
Solar PV	+++	+	+	+	+	+	+	+	+++	+
Eólica	+++	+	++	+	+++	++	+++	+	++	++
Hidráulica	++	+	+	+	+	++	++	+	++	+
Solar CSP	++	+	++	+	+	+++	++	+	+++	+
Bioenergia	+++	+	+	+	+	+	++	+	++	+
Geotérmica	+	+	+++	+	+	+++	+	+	+	+
Nuclear	++	+	++	+	+	++	+	+	+	+
Rede elétrica	+++	+	+	+	+	+	+	+	+++	+
Baterias	+++	+++	+++	+++	+++	+	+	+	+++	+++
Hidrogênio	+	+	+++	++	++	+	+	+++	++	+

Legenda: + = baixa importância; ++ = importância média; +++ = alta importância.

Fonte: Holanda (2021), com dados da IEA (2021).

A geopolítica desses minerais críticos possui forte assimetria. A China controla entre 60% e 90% do processamento de minerais essenciais, como terras raras, grafite, lítio e cobalto. Em 2020, produziu aproximadamente 140 mil toneladas de óxidos de terras raras, enquanto países com grandes reservas, como Vietnã e Brasil, produziram cerca de 1 mil toneladas cada (United States Geological Survey - USGS, 2021). Essa concentração cria vulnerabilidades, levando EUA, União Europeia e Canadá a adotarem políticas de diversificação e fortalecimento de cadeias domésticas.

A Tabela 1 evidencia a discrepância entre reservas e produção. O Brasil possui 21 milhões de toneladas de reservas, a terceira maior do mundo, mas produz apenas cerca de 1 mil toneladas por ano, revelando subaproveitamento. A China, por sua vez, lidera tanto em reservas quanto em produção, consolidando sua posição estratégica.

A posição brasileira é singular. O país detém 98,8% das reservas globais de nióbio, 22% das reservas de grafite natural, 16% das reservas de terras raras e 16% das reservas de níquel (Pope; Smith, 2023). Além disso, possui matriz energética renovável, que permite produzir materiais com menor pegada de carbono, vantagem competitiva relevante em mercados que exigem rastreabilidade e sustentabilidade.

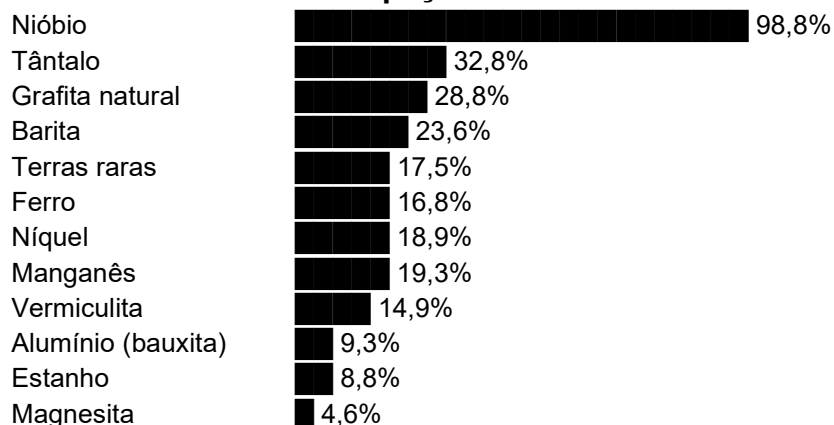
Tabela 1 - Produção e reservas mundiais de terras raras (2019–2020)

País	Produção 2019 (t)	Produção 2020 (t)	Reservas (t)
Estados Unidos	28.000	38.000	1.500.000
Austrália	20.000	17.000	4.100.000
Brasil	710	1.000	21.000.000
Mianmar	25.000	30.000	n.d.
Burundi	200	500	n.d.
Canadá	n.d.	n.d.	830.000
China	132.000	140.000	44.000.000
Groenlândia	n.d.	n.d.	1.500.000
Índia	2.900	3.000	6.900.000
Madagascar	4.000	8.000	n.d.
Rússia	2.700	2.700	12.000.000
África do Sul	n.d.	n.d.	790.000
Tanzânia	n.d.	n.d.	890.000
Tailândia	1.900	2.000	n.d.
Vietnã	1.300	1.000	22.000.000
Outros países	66	100	310.000
Total mundial	220.000	240.000	120.000.000

n.d. = dado não disponível na fonte.

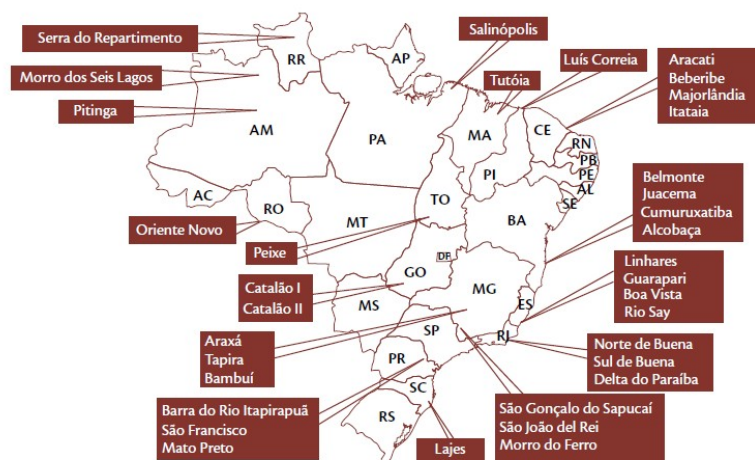
Fonte: USGS (2021, p. 133).

O Gráfico 1, adaptado da Agência Nacional de Mineração (ANM), mostra que o Brasil lidera globalmente em reservas de nióbio (98,8%), com relevância em tântalo, grafita natural, barita, níquel e terras raras. Esses dados reforçam a importância do país na transição energética e reconfiguração das cadeias de suprimento.

Gráfico 1 - Participação brasileira nas reservas mundiais de minerais (2016)

Fonte: ANM (2020).

Figura 1 - Ocorrências de terras raras no Brasil



Fonte: CGEE (2013).

A transição energética brasileira amplia a demanda por minerais críticos. Para a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no estudo *Minerais Críticos e Estratégicos para a Transição Energética (2025)*, a oferta interna de energia renovável crescerá 2,4% ao ano até 2034, com destaque para energia solar e eólica. A eletrificação dos transportes, impulsionada pelo Programa de Mobilidade Verde e Inovação (MOVER), aumentará significativamente a demanda por lítio, níquel, cobalto e grafite.

Gráfico 2 - Demanda global de minerais críticos (2020–2030)



Fonte: Goldman Sachs (2023), reproduzido em Chemale (2023).

O Gráfico 2, de Chemale (2023), mostra o crescimento projetado da demanda global por lítio, níquel, cobalto e terras raras até 2030. O lítio se destaca, refletindo sua centralidade na indústria de baterias e na eletromobilidade.

A governança mineral é outro eixo decisivo. A Resolução nº 2/2021 do Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME) classifica minerais estratégicos em três categorias: dependência de importação, importância tecnológica e relevância comercial. Essa estrutura orienta políticas de financiamento, licenciamento e pesquisa. A EPE (2025) destaca que minerais da Categoria II, como lítio, níquel, cobalto, grafite e terras raras, são essenciais para a transição energética.

Quadro 2 - Classificação de minerais estratégicos (CTAPME nº 2/ 2021)

Categoria	Descrição	Minerais incluídos
Categoria I	Minerais dos quais o Brasil depende de importação para setores vitais	Fosfato; Potássio; Enxofre; Molibdênio
Categoria II	Minerais importantes para produtos e processos de alta tecnologia	Cobalto; Cobre; Estanho; Grafite; Grupo da platina; Lítio; Nióbio; Níquel; Silício metálico; Tálcio; Tântalo; Terras raras; Titânio; Tungstênio; Vanádio
Categoria III	Minerais essenciais para a economia nacional, com vantagens competitivas e superávit comercial	Alumínio (bauxita); Cobre; Ferro; Grafite; Ouro; Manganês; Nióbio; Urânio

Fonte: EPE (2025)

O Quadro 2 traz a classificação oficial dos minerais estratégicos no Brasil. Ele demonstra que minerais críticos para a transição energética, como lítio, níquel, cobalto e terras raras, estão concentrados na Categoria II, que abrange insumos essenciais para tecnologias de alta complexidade e cadeias produtivas de valor agregado.

A geopolítica contemporânea reforça a necessidade de diversificação. A União Europeia aprovou o *Critical Raw Materials Act* (2023), estabelecendo que nenhum país membro poderá depender de mais de 65% de um único fornecedor para

minerais estratégicos. Os Estados Unidos, por sua vez, ampliaram incentivos via *Inflation Reduction Act* (IRA, 2022), priorizando cadeias domésticas. O Canadá lançou sua *Critical Minerals Strategy* (2022), com foco em mapeamento geológico.

O Brasil, com sua matriz limpa e diversidade mineral, pode se posicionar como fornecedor confiável em cadeias globais de baixo carbono. Pope e Smith (2023) argumentam que o país reúne condições para liderar uma diplomacia mineral baseada em rastreabilidade, sustentabilidade e justiça climática, especialmente relevante na COP30, que ocorreu em Belém/ PA, em novembro de 2025.

O nosso país possui vantagens estruturais incomuns: reservas abundantes e diversificadas, matriz elétrica renovável, capacidade industrial instalada e credibilidade internacional. No entanto, transformar dotação geológica em vocação mineral exige políticas industriais consistentes, governança robusta, investimentos em pesquisa e desenvolvimento, e integração entre Estado, setor privado e sociedade.

A conjuntura internacional oferece condições favoráveis para a ampliação da inserção brasileira nas cadeias de suprimento de minerais críticos, desde que acompanhada por políticas industriais e governança estratégica. As implicações estratégicas desses fatores ultrapassam a dimensão econômica e alcançam diretamente o campo da segurança e da defesa.

Do ponto de vista da Defesa Nacional, minerais críticos e terras raras integram a base material da soberania tecnológica, pois sustentam sistemas que dependem de eletrônica avançada, sensores de precisão e soluções energéticas de alta eficiência. Sistemas de comunicação, radares, satélites, motores elétricos, mísseis guiados, baterias militares e equipamentos de guerra eletrônica utilizam esses insumos em componentes essenciais, o que vincula cadeias minerais à prontidão das Forças Armadas (FA). Nesse contexto, a vulnerabilidade de suprimento pode comprometer a autonomia operacional e a capacidade de sustentação logística, tornando a governança mineral tema de segurança e de planejamento estratégico de longo prazo.

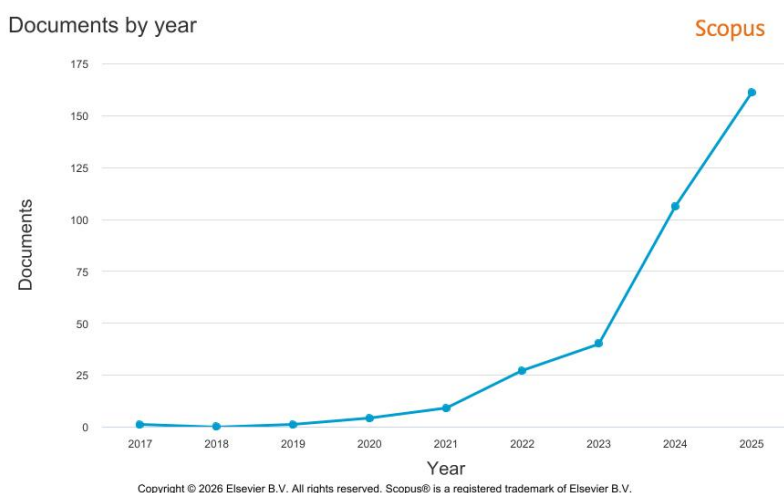
A geopolítica contemporânea reforça essa dimensão ao integrar política mineral, segurança econômica e política industrial. Iniciativas como o *Critical Raw Materials Act* da União Europeia (2023), o *Inflation Reduction Act* dos Estados Unidos (2022) e a *Critical Minerals Strategy* do Canadá (2022) demonstram que o controle de cadeias minerais passou a ser entendido como componente de resiliência estratégica, reduzindo dependências externas e fortalecendo bases industriais sensíveis. Essas políticas evidenciam que minerais críticos deixaram de ser apenas

insumos produtivos e ocupam posição central na arquitetura de segurança das economias avançadas.

Evidências bibliométricas

A análise bibliométrica realizada na base Scopus revela crescimento significativo dos estudos sobre minerais críticos e transição energética na última década. O Gráfico 3 mostra que, entre 2017 e 2020, o número de publicações era residual, com apenas quatro artigos em 2020. A partir de 2021, observa-se curva ascendente, culminando em 161 publicações em 2025. Esse salto evidencia que o tema ganhou centralidade na agenda internacional, acompanhando o avanço das políticas de descarbonização e a intensificação da competição por recursos minerais.

Gráfico 3 – Documentos por ano



Fonte: Scopus (2026).

O Gráfico 4 de países mostra concentração da produção científica em economias centrais. Os EUA lideram com 86 publicações, seguidos por Austrália (56), China (52) e Reino Unido (50). O Brasil aparece com apenas 14 artigos, ocupando posição periférica. Essa distribuição confirma a assimetria já identificada na análise documental: países que controlam cadeias minerais também lideram a produção acadêmica, reforçando sua capacidade de formular políticas baseadas em evidências.

A análise de autores e afiliações evidencia núcleos de excelência. Entre os mais prolíficos estão Fikru, M.G. (10), Wang, P. (7) e Deberdt, R. (6), enquanto instituições como University of Queensland (19), Chinese Academy of Sciences (15) e Colorado School of Mines (13) lideram em publicações. Esses dados confirmam que centros de

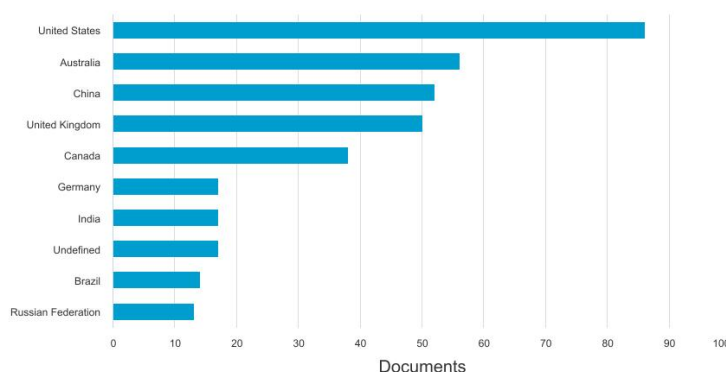
pesquisa localizados em países com forte presença mineral ou liderança tecnológica concentram a produção científica. A presença marginal de universidades brasileiras, como a Universidade Federal de Ouro Preto (4) e a USP (2), reforça a necessidade de ampliar investimentos em pesquisa e cooperação internacional.

Gráfico 4 – Documentos por país ou território

Documents by country or territory

Scopus

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

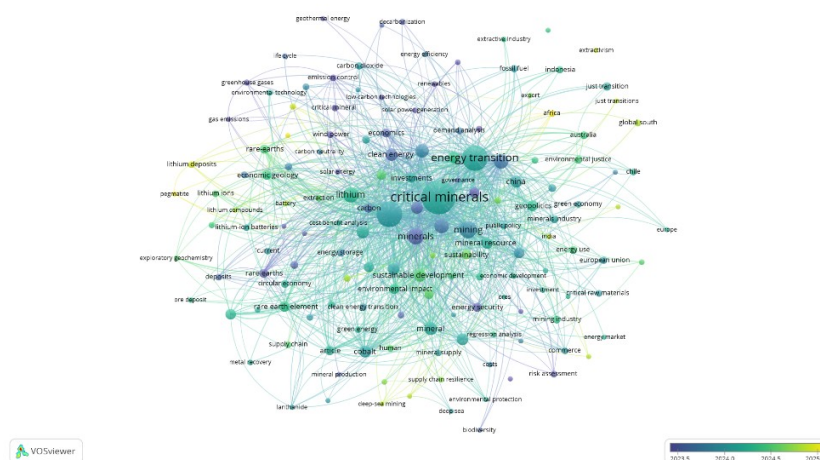


Copyright © 2026 Elsevier B.V. All rights reserved. Scopus® is a registered trademark of Elsevier B.V.

Fonte: Scopus (2026).

A visualização pelo VOSviewer complementa essa análise ao mostrar a rede de co-ocorrência de palavras-chave (Figura 2), com um núcleo conceitual em *critical minerals* e *energy transition*, conectado a *mining*, *sustainable development*, *geopolitics* e *energy security*. Clusters periféricos destacam temas emergentes como *rare earths*, *lithium-ion batteries* e *circular economy*, que ganharam força entre 2023 e 2025.

Figura 2 – Rede de coocorrência entre palavras-chaves



Fonte: software VOSviewer, com base em dados da Scopus (2026).

Os achados bibliométricos dialogam com a literatura revisada. A concentração da produção científica em países centrais confirma a análise de Klare (2012) e Scholvin (2018) sobre a geopolítica dos recursos. A multidisciplinaridade observada nas áreas temáticas reforça a perspectiva de Buzan e Hansen (2009), que associam minerais críticos à segurança internacional e à política industrial. A baixa inserção brasileira, por sua vez, confirma a lacuna apontada por Nye (2011) e Strange (1996), sugerindo que o país ainda não consolidou uma agenda acadêmica robusta sobre o tema. As implicações são claras: sem ampliar sua presença científica e institucional, o Brasil terá dificuldade em transformar sua dotação mineral em poder estratégico.

Considerações Finais

O presente estudo cumpriu o objetivo de analisar a relação entre minerais críticos, transição energética e segurança nacional, com foco no caso brasileiro. A partir da integração entre análise documental, dados oficiais e bibliometria da Scopus, foi possível demonstrar que o Brasil possui vantagens estruturais incomuns - reservas abundantes e diversificadas, matriz elétrica renovável e credibilidade internacional - mas enfrenta desafios institucionais e acadêmicos para transformar sua dotação mineral em poder estratégico. A análise evidenciou que, embora o país reúna condições favoráveis, ainda carece de políticas industriais consistentes, governança robusta e maior inserção em redes globais de pesquisa.

As principais contribuições do trabalho residem em três dimensões. Primeiro, ao confrontar dados documentais com evidências bibliométricas, o estudo mostrou que a produção científica sobre minerais críticos é altamente concentrada em países centrais, enquanto o Brasil permanece marginal. Segundo, ao destacar a transversalidade temática revelada pela bibliometria, reforçou-se que minerais críticos não são apenas insumos técnicos, mas elementos que articulam dimensões econômicas, ambientais e geopolíticas. Terceiro, ao integrar a perspectiva da Defesa Nacional, o estudo ampliou o debate sobre minerais críticos, demonstrando que sua governança impacta diretamente a soberania tecnológica e a prontidão das FA.

As implicações são relevantes tanto para a formulação de políticas públicas quanto para a agenda acadêmica. Do ponto de vista governamental, os resultados sugerem a necessidade de consolidar uma diplomacia mineral baseada em rastreabilidade, sustentabilidade e justiça climática, capaz de posicionar o Brasil como fornecedor confiável em cadeias globais de baixo carbono. Do ponto de vista

científico, a baixa inserção brasileira nas redes de colaboração e coautoria reforça a urgência de ampliar investimentos em pesquisa, estimular parcerias internacionais e consolidar grupos de excelência em minerais críticos. Sem esse esforço, o país corre o risco de permanecer como exportador de matérias-primas, sem protagonismo na formulação de normas e padrões globais.

O estudo, contudo, apresenta limitações. A análise bibliométrica concentrou-se em dados da Scopus, o que pode restringir a abrangência das conclusões, já que outras bases de dados poderiam revelar nuances adicionais. Além disso, a pesquisa não explorou em profundidade os aspectos socioambientais da mineração de minerais críticos, que merecem atenção em futuros trabalhos. Perspectivas futuras incluem o aprofundamento da análise de redes por meio de ferramentas como o VOSviewer, a investigação da co-ocorrência de palavras-chave em diferentes bases e a comparação entre políticas nacionais de governança mineral. Tais estudos poderão contribuir para consolidar uma agenda brasileira mais robusta, capaz de integrar ciência, política e defesa em torno dos minerais críticos

Referências:

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). *Anuário Mineral Brasileiro 2020*. Brasília: ANM, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/anuario-mineral/anuario-mineral-brasileiro/amb_2020_ano_base_2019_revisada28_09.pdf . Acesso em: 22 mai. 2026.

BRASIL. Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos (CTAPME). Resolução nº 2, de 18 de junho de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/mme-lanca-relatorio-anual-do-comite-interministerial-de-analise-de-projetos-de-minerais-estrategicos/resolucao2CTAPME.pdf> . Acesso em: 22 mai. 2026.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). *Usos e aplicações de terras raras no Brasil: 2012–2030*. Brasília: CGEE, 2013. Disponível em: <https://sict.rs.gov.br/upload/arquivos/202006/16181948-uso-e-aplicacoes-de-terras-raras-no-brasil-2012-2030.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2026.

CHEMALE, L. T. *Terras raras no Serviço Geológico do Brasil*. Brasília: SGB/ CPRM, 2023. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/24435/1/terras_raras_sgb.pdf . Acesso em: 22 mai. 2026.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). *Minerais críticos e estratégicos para a*

transição energética. Rio de Janeiro: EPE, 2025. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-877/Caderno_Minerais_Final.pdf. Acesso em: 22 mai. 2026.

HOLANDA, J. *Terras-raras e nióbio no Brasil: minerais críticos e elementos essenciais para a transição energética*. Rio de Janeiro: IBASE, 2021. Disponível em: <https://ibase.br/wp-content/uploads/2022/02/Terras-raras-e-niobio-Julio-Holanda.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2026.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *The role of critical minerals in clean energy transitions*. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>. Acesso em: 22 mai. 2026.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). *Os minerais críticos e estratégicos na COP30: avançar com uma política para os brasileiros e para o mundo*. Brasília: IBRAM, 2025. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2025/05/IBRAM_news_green-paper_2025_web.pdf. Acesso em: 22 mai. 2026.

KLARE, M. *The race for what's left: the global scramble for the world's last resources*. New York: Metropolitan Books, 2012.

POPE, N.; SMITH, P. *Minerais críticos e estratégicos do Brasil em um mundo em transformação*. Rio de Janeiro: Instituto Igarapé, 2023. Disponível em: <https://igarape.org.br/wp-content/uploads/2023/10/Minerais-Criticos-e-Estrategicos.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2026.

SCHOLVIN, S. *Geopolitics: an introductory overview of concepts and empirical examples*. Oxford: Oxford University Press, 2018.

STRANGE, S. *The retreat of the state: the diffusion of power in the world economy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). *Mineral Commodity Summaries 2021*. Reston, VA: USGS, 2021. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2026.

* Doutorando e mestre em Administração pela Universidade Paulista (PPGA/UNIP) E-mail: misterjulio@gmail.com