

DINÂMICA ESPACIAL DE TRANSPORTES E DE EXPORTAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS MINERAIS CRÍTICAS PELO ESTADO DE MINAS GERAIS: UMA ANÁLISE DO LÍTIO, DO NIÓBIO E DAS TERRAS RARAS

Spatial dynamics of critical mineral raw materials transportation and exports by the state of Minas Gerais, Brazil: an analysis of lithium, niobium, and rare earths

Luiz Andrei Gonçalves Pereira

Universidade Estadual de Montes Claros

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7857-6611>

luiz.goncalves@unimontes.br

Geraldo Antônio dos Reis

Universidade Estadual de Montes Claros

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2399-6659>

geraldo.reis@unimontes.br

Marcos Esdras Leite

Universidade Estadual de Montes Claros

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9020-6445>

marcos.leite@unimontes.br

Artigo recebido em junho/2025 e aceito em agosto/2025

RESUMO

Na dinâmica dos mercados internacionais, as matérias-primas minerais críticas são essenciais no funcionamento da cadeia de suprimentos das indústrias de alta tecnologia (digital), de defesa (aeroespacial) e de economia verde (descarbonização). Espacialmente, a infraestrutura e os serviços de transportes interconectam as localidades produtoras, as plantas industriais processadoras e os mercados consumidores globais. O objetivo deste artigo é analisar a dinâmica socioespacial da comercialização de matérias-primas minerais críticas entre o estado de Minas Gerais e os mercados globais, considerando a essencialidade dos modais de transportes na movimentação das exportações de lítio, nióbio e terras raras, no período de 2006 a 2023. Na realização da pesquisa, os procedimentos metodológicos adotados envolveram a revisão de literatura, a coleta, a tabulação, a análise e a espacialização dos dados de fontes secundárias. Evidenciou-se que, no processo de exportação de matérias-primas minerais críticas produzidas em Minas Gerais, em particular, o lítio, o nióbio e as terras raras, há forte interação espacial desses produtos, cujo escoamento exige a integração dos sistemas de transporte nacional e internacional e a articulação com os recintos aduaneiros.

Palavras-chave: Matérias-primas minerais críticas; exportação; transportes.

ABSTRACT

In the dynamics of international markets, critical mineral raw materials are crucial to the supply chains of high-tech (digital), defense (aerospace), and green economy (decarbonization) industries.

In spatial terms, transportation infrastructure and services interconnect production locations, processing plants, and global consumer markets. The purpose of this article is to analyze the socio-spatial dynamics of the trade of critical mineral raw materials between the State of Minas Gerais, in Brazil, and global markets, considering the essential role of transportation modes in the movement of lithium, niobium, and rare earth exports in the period 2006-2023. The methodological procedures adopted in conducting this research involved a literature review and the collection, tabulation, analysis, and spatialization of data from secondary sources. The evidence showed that the export process for critical mineral raw materials produced in Minas Gerais, particularly lithium, niobium, and rare earths, involves strong spatial interaction between these products, the flow of which requires the integration of domestic and international transportation systems, as well as the coordination with customs facilities.

Keywords: Critical mineral raw materials; export; transportation.

1. INTRODUÇÃO

Na ciência geográfica, existem poucos estudos sobre as matérias-primas minerais críticas, constituídas por produtos em formatos *in natura* e/ou processados, os quais desempenham funções estratégicas na cadeia de suprimentos voltada para os setores da indústria de tecnologia de ponta, de defesa/aeroespacial e de transição energética – especialmente no segmento de energias renováveis, como a produção de painéis fotovoltaicos. Esses insumos estão expostos aos riscos constantes de escassez e de restrições na oferta de insumos para a fabricação de produtos básicos, semimanufaturados e manufaturados. A limitação na oferta de matérias-primas minerais críticas, que atendem às demandas essenciais de setores estratégicos da economia global, resulta da concentração geográfica da cadeia produtiva, da viabilidade econômica em cenários de dificuldades tecnológicas nas atividades de extração e/ou de refino, bem como dos custos para mitigar os impactos socioambientais.

As matérias-primas minerais críticas, principalmente aquelas constituídas por produtos básicos, em sua maioria de baixo valor agregado, dependem dos custos de transporte para assegurar a viabilidade socioeconômica de suas cadeias de produção e distribuição. Os transportes eficientes são primordiais para a operacionalização das redes de distribuição de produtos nos mercados nacionais e internacionais, conectados por infraestrutura e serviços de transportes terrestre (rodoviários, ferroviários e dutoviários), aquaviário (hidroviários e marítimos) e aéreo.

Nas interações espaciais entre a cadeia de produção, de comercialização e de circulação de matérias-primas minerais críticas, despertou-se o interesse em estudar o setor de lítio, nióbio e elementos de terras raras no estado de Minas Gerais. Essas matérias-primas também são classificadas como críticas/estratégicas/essenciais nos Estados Unidos, na União Europeia, no Reino Unido, na China, no Japão, na Coreia do Sul, na Austrália, no Canadá, na Índia e no Brasil. Na

cadeia produtiva das matérias-primas minerais críticas em Minas Gerais, o setor de nióbio encontra-se mais consolidado, enquanto os segmentos de lítio e de terras raras estão em processo de expansão e de consolidação. Em razão da presença de poucas unidades industriais processadoras, capazes de agregar valor a esses recursos minerais, o estudo desenvolvido evidenciou uma concentração nas exportações de bens *in natura* e/ou com baixo grau de processamento de nióbio, de lítio e de terras raras.

A questão norteadora desta pesquisa se pauta em verificar como se organizaram a cadeia produtiva e a estrutura de circulação voltada para as exportações de lítio, nióbio e terras raras no território mineiro? O objetivo deste artigo é analisar a dinâmica socioespacial da comercialização e do escoamento de matérias-primas minerais críticas entre o estado de Minas Gerais e os mercados globais, considerando a essencialidade dos modais de transportes nas exportações de lítio, nióbio e terras raras, no período de 2006 a 2023. Esse recorte temporal foi definido em virtude da disponibilidade de dados sobre produção, processamento, transporte e exportação dos referidos produtos.

Os procedimentos metodológicos adotados foram estruturados em dois momentos: no primeiro, enfatizou-se a revisão de literatura, utilizada como base para sustentar as discussões teórico-conceituais acerca dos temas estudados – entre eles, a produção, o processamento, o transporte nas diversas modalidades e as exportações. No desenvolvimento do estudo, as principais referências teóricas foram Hope (1965); Thoman, Conkling e Yeates (1968); Hanson (1970); Haglund (1984); Martins e Caixeira-Filho (2001); (Castro, 2001); Achzet e Helbig (2013); Graedel, Gunn e Espinoza (2014); Humphreys (2014); Rojas (2014); Pereira (2015); Haye e Mccullough (2018); Kalantzakos (2019); Castro, Peiter e Góes (2022); Dionori e Zehtabchi (2022); Pope e Smith (2023); Czarnota e Britt (2024). Além dessas obras, foram utilizados documentos oficiais e relatórios técnicos produzidos por empresas e entidades ligadas ao assunto estudado.

No segundo momento, a pesquisa concentrou-se na coleta, no manuseio e na análise de dados de fontes secundárias de instituições governamentais no Brasil e no exterior, como o Comex Stat, do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), a Agência Nacional de Mineração (ANM), a *Unit States Geological Survey* (USGS), o *British Geological Survey* (BGS) e a *World Mining Data*. Nessas fontes, estão contidos os indicadores baseados na Nomenclatura Comum do MERCOSUL – NCM, um código com padronização internacional para identificação de produtos exportados e importados.

Entre as matérias-primas minerais críticas exportadas por Minas Gerais, é possível identificar o lítio (NCM: 25309010; 28369100; 85076000; 85065010 e 85065090), o nióbio (NCM: 26159000; 72029300 e 81129900) e as terras raras (NCM: 25309030; 28053010; 28461010 e 36069000). Os

códigos do NCM foram inseridos individualmente na plataforma do Comex Stat, permitindo, assim, a localização e o cruzamento de informações dos fluxos desses produtos por recintos aduaneiros, por destino em países/regiões/continentes, por meios e vias de transportes internacionais.

Os dados coletados foram armazenados, organizados e tratados em uma planilha elaborada no formato de tabela, utilizando o *software* Excel 2010, que também foi empregado na confecção de gráficos. Posteriormente, os dados tabulados foram agrupados e exportados para o *software* ArcGIS 10.6 – licenciado pelo Laboratório de Geoprocessamento da Unimontes – com o objetivo de elaborar mapas temáticos que representam as redes de distribuição e transportes do lítio, do nióbio e dos elementos de terras raras exportados por Minas Gerais.

2. A RECONFIGURAÇÃO TERRITORIAL DAS MATÉRIAS-PRIMAS MINERAIS CRÍTICAS: ESTRATÉGIA DA CADEIA PRODUTIVA DO LÍTIO, NIÓBIO E TERRAS RARAS

As exportações de matérias-primas minerais críticas são inseridas em um processo de (re)configuração territorial, envolvendo a produção (extração e processamento), o sistema de circulação e a localização estratégica de compradores e consumidores nos mercados globais. Na cadeia produtiva, Thoman, Conkling e Yeates (1968) destacam que os recursos minerais podem ser constituídos por elementos naturais específicos ou pela combinação de diversos minerais presentes em estruturas rochosas na crosta terrestre. A viabilidade econômica de sua extração depende de fatores relacionados à qualidade, quantidade e acessibilidade territorial dos depósitos, considerando aspectos tecnológicos, políticos, econômicos e ambientais que viabilizam os arranjos produtivos minerais.

Os padrões geoeconômicos de exploração e produção desses recursos mudam constantemente ao longo do tempo, em razão da variação da demanda, influenciando a formação dos preços no mercado. Com base na viabilidade econômica, certas unidades minerais passam a despertar interesses empresariais e políticos, que estimulam investimentos e regulamentações voltadas para a descoberta e implantação de novas jazidas, sejam em áreas litorâneas ou interioranas. Além disso, os minerais já extraídos – ou mesmo os rejeitos de jazidas conhecidas – podem ser reexaminados e explorados, sobretudo com o uso de novas tecnologias (Thoman; Conkling; Yeates, 1968). Como complementam Graedel, Gunn e Espinoza (2014), a distribuição dos depósitos de minerais na superfície terrestre é altamente dispersa, com regiões concentradoras e outras desprovidas de jazidas.

Após a comprovação da viabilidade econômica da jazida, inicia-se a extração dos recursos minerais, sendo comum que o período entre a descoberta do mineral e o início da produção da mina

ultrapasse dez anos. Esse intervalo demanda a avaliação técnica e a confirmação do recurso mineral disponível no subsolo e a obtenção de aprovações regulatórias. Adicionalmente, é necessário considerar a cooperação de comunidades locais – com recorrentes conflitos socioambientais –, a confiança no levantamento de recursos para a implementação da mina e a construção de infraestrutura de apoio à atividade mineradora. Essa estrutura inclui a planta industrial de processamento, a prestação de serviços e o sistema de distribuição por meio dos modais de transportes (Thoman; Conkling; Yeates, 1968; Graedel; Gunn; Espinoza, 2014).

No contexto da indústria de extração e de processamento mineral, Humphreys (2014) pontua que os produtos minerais, sejam *in natura* e/ou processados, têm os seus preços determinados pelas dinâmicas dos mercados e/ou pelo uso potencial dos consumidores. A eficiência é garantida pelo equilíbrio entre a oferta e a demanda por produtos minerais nos mercados nacionais e internacionais. Por um lado, em um cenário de escassez, ocorre a elevação de preços e o incentivo à mineração em jazidas conhecidas e/ou em novas minas, inclusive as mais remotas. Por outro lado, o excesso na oferta pode causar um efeito oposto: a queda de preço e o desestímulo à produção de minerais em novas minas ou até mesmo nas minas em operação. A implantação da indústria mineral depende de estratégias e de regulamentações nacionais em consonância com a demanda dos mercados e dos consumidores em espaços intranacionais e internacionais.

A estrutura da cadeia de suprimentos e de distribuição do setor mineral, incluindo as etapas de extração, de produção, de processamento, de comercialização e de consumo, passou a demandar a realização de mais pesquisas, com foco em conhecer e compreender melhor o histórico e a classificação da criticidade das matérias-primas minerais nos mercados nacionais e internacionais. Na literatura especializada, segundo Pope e Smith (2023), ainda não existe um consenso quanto à definição de minerais críticos e estratégicos, tendo em vista que a elaboração da lista desses minerais varia de um país para outro. Nos mercados, nos estudos acadêmicos e nas estruturas de governos, os minerais críticos e estratégicos despertam um debate contínuo acerca da remodelagem da cadeia de suprimentos em um cenário de expansão de inovações tecnológicas, de dependência de importação e de possibilidade de interrupção no fornecimento em momentos de crises globais.

No século XX, as discussões teórico-conceituais de matérias-primas minerais críticas estabeleceram relações nas interfaces entre os minerais estratégicos e os minerais críticos, que foram e são essenciais para o funcionamento de atividades econômicas das indústrias, do sistema de defesa e do consumo. Historicamente, segundo Haye e Mccullough (2018), a definição de minerais críticos foi marcada pela subjetividade, com o uso de vários critérios e metodologias que impactaram a pesquisa e a formulação de políticas na indústria mineral. Ao longo do tempo, essas definições passaram por mudanças contínuas, motivadas por tensões e rivalidades geopolíticas –

incluindo conflitos bélicos –, por interesses estratégicos das nações e pelos avanços tecnológicos observados na indústria (Czarnota; Britt, 2024).

O conceito de minerais críticos compartilha diversas características com a definição de minerais estratégicos, os quais, por sua vez, foram essenciais para a expansão das atividades industriais e militares. Para Haglund (1984), a concepção de minerais estratégicos surgiu nos Estados Unidos e foi posteriormente reconhecida por países europeus após a Primeira Guerra Mundial, em função da escassez de materiais específicos. Entre 1917 e 1918, o desabastecimento de produtos minerais necessários à indústria de guerra despertou o alerta do governo norte-americano. Como resposta, foram tomadas medidas de controle sobre a dependência externa e desenvolvidas ações para garantir o suprimento de *commodities* minerais em atividades econômicas e militares. Nesse contexto, na década de 1920, foi criada a denominada lista de Harbord pelo Departamento de Guerra dos Estados Unidos, que elencou 28 matérias-primas – nem todas elas minerais. Essa lista serviu de referência para a política de planejamento dos comitês de *commodities* e de defesa. Na década de 1930, foi criada uma categoria adicional denominada materiais críticos.

Em 1939, o Conselho de Munições do Exército e da Marinha dos Estados Unidos estabeleceu uma diferenciação entre minerais estratégicos e minerais críticos. Os minerais estratégicos foram definidos como materiais essenciais ao sistema de defesa, cuja obtenção dependia, total ou parcialmente, de fontes externas de suprimentos, o que demandava medidas rigorosas de conservação e controle para assegurar o abastecimento em tempos de guerra. Já os minerais críticos foram caracterizados como insumos essenciais para as atividades industriais e para o setor de defesa, cujo abastecimento se tornava problemático em cenários de guerra, ainda que em menor grau quando comparado aos materiais estratégicos (Haglund, 1984; Czarnota; Britt, 2024).

Com o avanço das guerras e a crescente dependência da capacidade produtiva industrial – especialmente da indústria bélica – os insumos minerais se tornaram vitais. Em 1944, ocorreu a unificação dos dois conceitos, dando origem à expressão “minerais estratégicos e críticos”, utilizada para designar materiais essenciais em tempos de guerra. Como consequência, a aquisição desses insumos em quantidade, qualidade e tempo adequados passou a ser restrita ou incerta, especialmente daqueles oriundos do mercado externo. Essa conjuntura impulsionou as ações (geo)políticas com foco na redução das vulnerabilidades na cadeia de suprimentos de materiais estratégicos e críticos (Haglund, 1984; Czarnota; Britt, 2024).

Entretanto, de acordo com Haglund (1984), a abrangência da abordagem conceitual de materiais estratégicos e críticos começou a gerar insatisfação interna nos Estados Unidos e em outros países, dificultando o desenvolvimento de pesquisas e de formulações de políticas voltadas para o setor de mineração. Já em 1982, na Grã-Bretanha, a amplitude do conceito de minerais

estratégicos resultou em desuso ou uso com moderação, principalmente diante da vulnerabilidade no abastecimento dos mercados com matérias-primas. Os especialistas em recursos minerais do Serviço Geológico Britânico introduziram a ideia de criticidade para destacar a essencialidade dos minerais no bem-estar de atividades militares e industriais.

No século XXI, as definições de minerais estratégicos e/ou críticos adotadas variam amplamente entre países e o bloco econômico da União Europeia. Na argumentação de Pope e Smith (2023), nos Estados Unidos, os minerais críticos foram classificados em três categorias: a primeira abrangeu os materiais minerais essenciais empregados na segurança econômica e nacional, excetuando os minerais combustíveis; a segunda envolveu a delimitação de materiais primordiais no funcionamento da cadeia de suprimentos, sujeitos a riscos de interrupções no abastecimento; a terceira envolveu o uso de materiais em funções essenciais na fabricação de produtos, cujo desabastecimento poderia afetar a economia e a segurança nacional.

Na União Europeia, a definição abrangeu duas categorias: a primeira se relacionava às matérias-primas críticas, essenciais para as atividades econômicas e com risco elevado de desabastecimento na cadeia de suprimentos; a segunda se referia às matérias-primas estratégicas que davam suporte às tecnologias em áreas de transição energética na economia verde e digital, além de atender os setores de defesa e aeroespacial (Pope; Smith, 2023).

No Reino Unido, o grupo de minerais críticos foi definido com base na elevada vulnerabilidade econômica, associada ao alto risco na cadeia global de suprimentos. No Canadá, os minerais críticos foram identificados pela sua essencialidade para a segurança econômica ou pela ameaça à cadeia de suprimentos nacional. Também foram incluídos os minerais necessários à transição para uma economia de baixo carbono e ao fornecimento de insumos críticos aos parceiros e aliados estratégicos (Pope; Smith, 2023).

Na Austrália, os minerais críticos foram classificados em metálicos e não metálicos, sendo considerados fundamentais para o avanço das tecnologias modernas, o desenvolvimento das atividades econômicas e a garantia da segurança nacional, em um cenário de riscos de interrupção nas cadeias de suprimento (Pope; Smith, 2023). Para Pope e Smith (2023), na China, os minerais estratégicos eram considerados aqueles que sustentavam as atividades econômicas nacionais e/ou a segurança do abastecimento do sistema de defesa. O foco estava voltado para as indústrias emergentes em setores estratégicos.

No Brasil, segundo Pope e Smith (2023), em 2021, foi publicada uma legislação polêmica – Decreto nº 10.657/2021 –, conhecida como “Política Pró-Minerais Estratégicos”. Essa norma passou a classificar os minerais estratégicos em três grupos. O primeiro grupo foi formado por minerais com limitações na produção nacional e alta dependência de importação na cadeia de

suprimentos. Foram denominados agrominerais, como fosfato, enxofre, potássio e molibdênio. O segundo grupo reuniu os chamados minerais tecnológicos, essenciais ao abastecimento de setores de alta tecnologia, de tecnologias verdes e de equipamentos digitais. Embora produzidos no Brasil, a maior parte da produção é exportada para processamento no exterior. Entre esses estão: cobalto, estanho, platina, urânio, níquel, silício, tálio, titânio, tungstênio, vanádio, lítio e terras raras. O terceiro grupo foi caracterizado como “minerais comerciais”, exportados por serem competitivos nos mercados internacionais, como a bauxita (alumínio), o cobre, o manganês, o minério de ferro e o ouro. Além deles, quatro minerais – cobre, grafita, nióbio e urânio – estão presentes no segundo e no terceiro grupos de minerais estratégicos (Pope; Smith, 2023).

Apesar das diferenças no uso dos termos para as classificações dos grupos de minerais – sejam eles críticos ou estratégicos – existem preocupações das elites políticas e empresariais quanto à vulnerabilidade de minerais essenciais na cadeia de suprimentos de produtos tecnológicos e da indústria de alta tecnologia, incluindo a indústria bélica. O Quadro 1 apresenta uma lista que elenca as matérias-primas críticas e/ou estratégicas nos seguintes países e blocos econômicos: Estados Unidos (EUA), União Europeia (UE), Japão, Canadá, Austrália, China e Brasil.

No cenário (geo)político de acesso às matérias-primas minerais críticas, conforme pontua Kalantzakos (2019), as potências econômicas tradicionais, como os Estados Unidos, os países da União Europeia e o Japão, enfrentam uma concorrência crescente de economias emergentes, principalmente da China. Nas últimas décadas, o país asiático vivenciou um intenso processo de transformação socioeconômica, impulsionado pelas mudanças climáticas e pela descarbonização. Nessa perspectiva, a China desenvolveu uma política assertiva de acesso e processamento de minerais estratégicos, a fim de liderar e dominar os mercados de inovação, digitalização e economia verde em escala global.

As matérias-primas minerais críticas, processadas ou com pouco processamento – incluindo os minerais críticos e estratégicos – são substâncias essenciais para o funcionamento das cadeias produtivas e para o desenvolvimento socioeconômico dos países. Essas matérias-primas são vitais e estratégicas na fabricação de produtos inovadores em diversos (sub)setores econômicos, como os de tecnologia, automóveis, energia renovável e defesa/aeroespacial. Na arena da geopolítica da globalização, a pandemia de Covid-19 expôs, de forma mais visível, as fragilidades das cadeias de suprimentos globais, evidenciando a dependência e os riscos de desabastecimento de certos tipos de minerais. As tensões diplomáticas levaram os países, especialmente a China e os Estados Unidos, a intensificar a adoção de medidas protetivas, para aumentar a importância estratégica e assegurar o fornecimento de minerais essenciais para o funcionamento das atividades econômicas (Castro; Peiter; Góes, 2022).

Quadro 1: Lista de classificação de matérias-primas minerais críticas/estratégicas*.

Mineral	Estados Unidos	União Europeia	Japão	Canadá	Austrália	China	Brasil
Alumínio/bauxita	x	x		x		x	x
Antimônio	x	x	x	x	x	x	
Arsênio	x	x					
Barita	x	x					
Berílio	x	x	x		x		
Bismuto	x	x		x	x		
Borato		x					
Césio	x			x			
Chumbo			x				
Cobalto	x	x	x	x	x		
Cobre		x	x	x		x	x
Cromo	x		x	x	x	x	
Diamante			x				
Enxofre							x
Estanho	x		x	x		x	x
Estrôncio	x	x	x				
Feldspato		x					
Ferro						x	x
Fluorita	x	x	x	x		x	
Fósforo		x	x			x	x
Gálio	x	x	x	x	x		
Gás natural		x				x	
Germânio	x	x	x	x	x		
Grafita	x	x		x	x	x	x
Háfnio	x	x			x		
Hélio	x	x		x	x		
Índio	x	x	x	x	x	x	
Lítio	x	x	x	x	x	x	x
Magnésio	x	x	x	x	x		
Manganês	x	x	x	x	x		x
Molibdênio			x	x		x	x
Nióbio	x	x	x			x	x
Níquel	x	x	x	x			x
Ouro			x				x
Platina (Grupo)	x	x	x	x	x		x
Prata			x				
Rênio	x		x		x		
Fosfato		x					x
Silício		x					x
Tântalo	x	x	x	x	x		x
Telúrio	x			x			
Terras raras	x	x	x	x	x	x	x
Titânio	x	x	x	x	x		x
Tungstênio	x	x	x	x	x	x	x
Urânio	x			x		x	x
Vanádio	x	x	x	x	x		x
Zinco	x		x	x			
Zircônio	x		x		x	x	

Fonte: USGS, 2025; European Commission, 2025; Su; Hu, 2022; Pope; Smith, 2023. Org. Autores, 2025.

Nota*: foram excluídos da lista os minerais energéticos (carvão, coque, gás e petróleo). Nas terras raras, foram agrupadas as matérias-primas: Escândio, Ítrio, Lantânio, Cério, Praseodímio, Neodímio, Promécio, Samário, Európio, Gadolínio, Térbio, Disprósio, Hólmio, Érbio, Túlio, Itérbio, Lutécio. No grupo da platina foram incluídos: Irídio, Ósmio, Rutênio, Ródio, Paládio, Ósmio e Irídio. **X:** indica matéria-prima mineral crítica na lista dos países e/ou bloco.

Sob a perspectiva da cadeia de suprimentos da mineração, Achzet e Helbig (2013) argumentaram que o processo de instabilidade no fornecimento de matérias-primas críticas, principalmente as metálicas, gerou uma expectativa de riscos ao abastecimento na cadeia produtiva. Dessa forma, tem-se uma compreensão mais ampla e complexa acerca das matérias-primas minerais críticas que englobam os fatores ecológicos, sociais e econômicos aplicados aos contextos globais, regionais, tecnológicos e industriais. O cenário de incertezas na oferta e na demanda de matérias-primas minerais críticas requer a adoção de medidas que favoreçam também a reciclagem de sucatas, como meio de mitigar riscos e garantir maior sustentabilidade na cadeia de suprimentos.

Diante de abordagens conceituais sobre as matérias-primas minerais críticas produzidas e comercializadas nos principais mercados nacionais e internacionais, buscou-se pesquisar a produção, a exportação e o transporte de lítio, nióbio e terras raras. Essas matérias-primas foram classificadas, nos principais mercados compradores e vendedores internacionais, como essenciais ao funcionamento das indústrias de tecnologia, defesa (aeroespacial) e descarbonização. A cadeia produtiva especializada de matérias-primas minerais críticas assume, portanto, suprema importância para ser debatida e compreendida no campo da Geografia, sobretudo referente às interações espaciais no processo de implantação e expansão das atividades industriais, bem como ao escoamento da produção para os mercados nacionais e internacionais.

2.1. Matérias-primas minerais críticas: a Geografia do lítio, nióbio e terras raras

Ao estudar o setor de matérias-primas minerais críticas na ciência geográfica, com foco no lítio, nióbio e terras raras, o desafio é promover uma abordagem interdisciplinar entre as áreas da Geografia e de outras ciências. Para Franco (1947), o lítio é um mineral raro, embora presente em abundância na natureza. No entanto, sua concentração ocorre em poucos minerais com viabilidade comercial. A terminologia “lítio” tem origem no grego “*lithos*”, que significa “pedra”. A trajetória histórica do lítio se iniciou em 1790 com a descoberta do mineral petalita pelo mineralogista brasileiro José Bonifácio de Andrada e Silva. Em 1817, o lítio foi descoberto pelo químico sueco Johan August Arfwedson, ao analisar uma amostra de pelatita, constatou a presença de sílica, alumina e álcali, descobrindo o lítio (Evans, 2014; Braga; Sampaio, 2008; Santos *et al.*, 2020).

Em 1818, o químico alemão Christian Gottlob Gmelin observou a coloração vermelha dos sais de lítio sob chama. Posteriormente, os britânicos William Brande e Humphry Davy isolaram o metal a partir do óxido de lítio. Em 1855, os químicos Robert Bunsen (alemão) e Augustus Matthiessen (britânico) desenvolveram a técnica de eletrólise do cloreto de lítio, permitindo seu isolamento (Evans, 2014; Braga; Sampaio, 2008; Santos *et al.*, 2020).

Nas argumentações de Braga e Sampaio (2008) e Santos *et al.* (2020), desde 1854, composições isoladas de compostos de lítio foram desenvolvidas na Alemanha. Em 1886, a França se tornou uma liderança comercial por meio da exploração da ambliogonita. Já em 1898, os Estados Unidos passaram a dominar a produção e comercialização de minério de lítio. Ao longo do século XX, a indústria do lítio expandiu em função das inovações tecnológicas em produção industrial e comercialização. Em 1930, na Alemanha, foi produzido o carbonato de lítio a partir do espodumênio por processo alcalino.

Nos Estados Unidos, em 1936, desenvolveu-se a produção de fosfato de lítio-sódio com aproveitamento de salmouras. Em 1942, no período da Segunda Guerra Mundial, passou-se a produzir e utilizar a graxa de lítio em motores de aeronaves. Em 1946, introduziu-se o processo ácido na cadeia produtiva de carbonato de lítio. Em 1986, Argentina e Chile passaram a produzir lítio em áreas de salmouras. Nos Estados Unidos, os custos elevados na exploração do espodumênio levaram à interrupção da produção de lítio (Braga; Sampaio, 2008; Santos *et al.*, 2020).

Nas décadas de 1990 e de 2000, o aumento da demanda por produtos tecnológicos impulsionou o aperfeiçoamento da produção mineral de lítio, com a implantação de novos projetos voltados à extração e ao processamento do mineral. Esse crescimento esteve relacionado à expansão do consumo de equipamentos eletroportáteis, especialmente nos Estados Unidos, países da União Europeia, Japão, Coreia do Sul e outros mercados. A elevação desse consumo estimulou avanços tecnológicos na produção de baterias. A partir de 1992, iniciou-se a comercialização de baterias de lítio, menores, mais leves e com maior eficiência para o armazenamento de cargas maiores de energia. Nesse contexto de descentralização da atividade industrial, os chineses aproveitaram a oportunidade para ingressar na rede global de produção, tornando-se fornecedores de matérias-primas e produtos com a inovação tecnológica nos setores de eletroeletrônicos digitais, carros elétricos e baterias de íon de lítio (Prina Cerai, 2024).

Já no século XXI, a partir de 2015, houve ampliação na produção de carbonato de lítio para fabricação de baterias de produtos eletroportáteis, ferramentas e veículos elétricos. A viabilidade econômica e comercial do lítio depende de sua exploração em áreas com a presença de pegmatitos e granitos, salmouras continentais, salmouras geotérmicas, campos petrolíferos, depósitos vulcano-sedimentares, além de minerais argilosos hectorita e jandarita (Braga; Sampaio, 2008; Santos *et al.*, 2020). A expansão da cadeia produtiva de lítio está associada ao aumento da demanda das indústrias eletroeletrônica e automobilística.

Nos mercados internacionais, segundo dados de 2023, a Austrália foi responsável por 40,8% da produção mundial de lítio, seguida por Chile (22,6%), China (21,3%), Zimbábue (6,8%),

Argentina (3,7%) e Brasil (3,0%). Os demais países representaram somente 1,7% da produção, como mostra o gráfico 1.

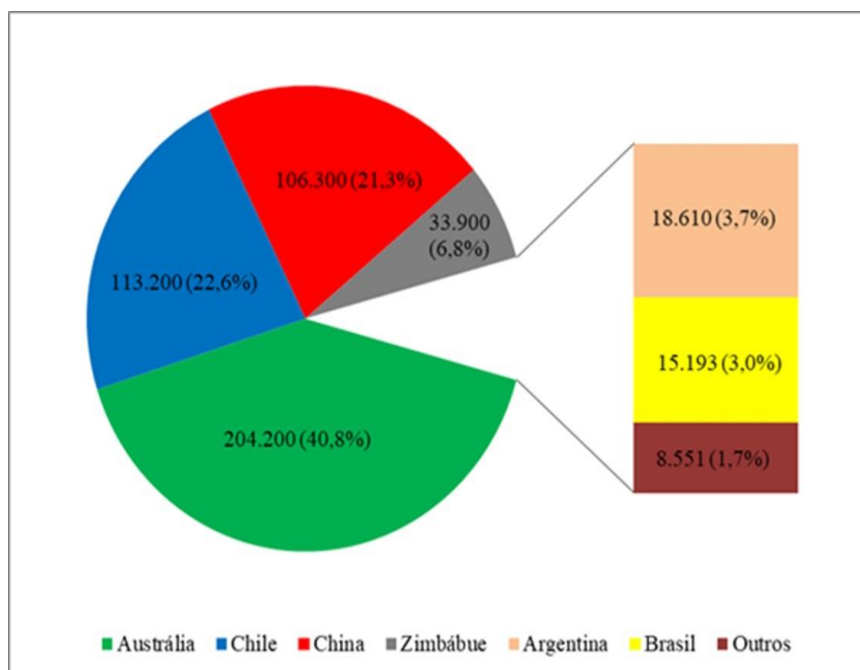


Gráfico 1 – Produção mundial de lítio por países no ano de 2023 (Toneladas e percentual).

Fonte: World Mining Data, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

Esses indicadores revelam a concentração da produção de lítio em três países, o que converge com a argumentação de Prina Cerai (2024), o lítio é uma matéria-prima crítica essencial e seu risco de fornecimento gera vulnerabilidade para o funcionamento de indústrias-chave, como as de eletrônicos, geração de energias renováveis, automóveis, aeroespacial, defesa, equipamentos de saúde e construção civil. Esses setores industriais vêm intensificando a demanda por lítio no mercado global, despertando o interesse na pesquisa sobre a expansão da cadeia produtiva e a dinâmica do mercado de lítio no Brasil.

No território brasileiro, segundo Afgouni e Silva Sá (1977), a primeira referência ao lítio ocorreu no fim do século XVIII – conforme abordado no início desta seção – com a descoberta de gemas de espodumênio presentes em pegmatitos em áreas de Minas Gerais. No século XX, durante a Segunda Guerra Mundial, encontraram-se as primeiras reservas de minério de lítio (pegmatitos), associadas à exploração de berilo, tantalita e columbita no Nordeste brasileiro, principalmente nos municípios cearenses de Quixeramobim, Solonópole e adjacências. Na Paraíba e no Rio Grande do Norte, verificou-se a ocorrência de minerais de lítio em Seridozinho e Alto Marimbondo. Em outras regiões do país, os minerais de lítio também foram encontrados em Itambé, Itaberaba e Vitória da

Conquista, no Sul da Bahia; em Mogi das Cruzes e Perus, em São Paulo; e em Palmeirópolis, Niquelândia, Uruaçu e Serra Dourada, em Goiás.

Em Minas Gerais, a trajetória do lítio se intensificou a partir da década de 1950, próximo a Governador Valadares e São João del-Rei, com a identificação de áreas de exploração de pegmatitos com a presença de diversos minerais de lítio, como espodumênio, amblygonita e lepidolita. Por volta de 1965, no norte de Minas Gerais e no Vale do Jequitinhonha, foram descobertas quantidades relevantes de minérios de lítio (petalita) em áreas no entorno de Araçuaí e Itinga. Em menores proporções, também se verificou a ocorrência de pegmatitos com lítio em Salinas, Rubelita e Coronel Murta (Afgouni; Silva Sá, 1977).

De acordo com Afgouni e Silva Sá (1977), nas áreas supracitadas, a produção de lítio ocorria por meio de subprodutos correlacionados com outros minerais hospedados nos pegmatitos. Naquela época, o lítio era utilizado principalmente na fabricação de cerâmicas, esmaltes e vidros especiais. Parte da produção de lítio era exportada para os Estados Unidos e Japão. No estado de Minas Gerais, especialmente em Araçuaí e Itinga, a empresa Arqueana de Minérios e Metais foi pioneira nas atividades de prospecção, extração e comercialização do lítio. Como parte de sua estrutura de distribuição e logística, a empresa Arqueana implantou um pátio de estocagem mineral às margens da BR-116 (Rio-Bahia), na cidade de Itaobim.

Em 1985, foi criada, também em Minas Gerais, a Companhia Brasileira de Lítio (CBL), visando viabilizar a produção e o beneficiamento de lítio. A criação da empresa foi motivada pela disponibilidade de matéria-prima, expectativa de mercado promissor e incentivos dos governos federal e estadual para investimentos no setor produtivo. Desde 1991, a CBL tem uma produção contínua de minério de lítio em minas subterrâneas localizadas em Itinga e Araçuaí. Após a extração, o espodumênio é transportado para beneficiamento em carbonato e hidróxido de lítio na unidade industrial da CBL, localizada nas margens da BR-116, no município de Divisa Alegre (Braga; França, 2013; CBL, 2025).

No século XXI, os investimentos e a operacionalização da cadeia produtiva brasileira do lítio estão totalmente concentrados no território mineiro. Conforme Chaves, Dias e Cardoso (2018), as reservas e as extrações de lítio se concentram no Distrito Pegmatítico de Araçuaí, principalmente nos municípios de Itinga e Araçuaí. Além dessas localidades, há a presença de reservas em campos de pegmatitos de Virgem da Lapa, Coronel Murta, Rubelita e Curralinho. No leste de Minas Gerais, as reservas e a produção de minerais de lítio estão concentradas em Governador Valadares, Santa Maria do Suaçuí, Galileia, Conselheiro Pena, Resplendor, Divino das Laranjeiras e Mendes Pimentel. No Centro-Sul de Minas, há extração de lítio em pegmatitos minerados da cassiterita e da columbita-tantalita (nióbio) no Distrito Pegmatítico de São João del-Rei. Esse distrito engloba

também Nazareno, São Tiago, Resende Costa, Conceição da Barra de Minas, Ritópolis e Coronel Xavier Chaves.

No Brasil, a produção mineral de lítio está concentrada nos municípios mineiros de Itinga, Araçuaí e Nazareno. Em Divisa Alegre (MG), os minerais de lítio são processados e transformados em carbonatos e hidróxidos de lítio. Após a extração e o processamento, o lítio e seus derivados são comercializados nos mercados brasileiro e internacional. Em Minas Gerais, além do lítio, destaca-se a extração e o processamento de nióbio, outro mineral considerado crítico. A estrutura produtiva do nióbio é estratégica para indústrias que demandam aços de alta resistência, usados na produção industrial.

Os aspectos históricos da descoberta e da exploração do nióbio, associados às suas aplicações industriais, remontam à Inglaterra, em 1801, quando o químico Charles Hatchett descobriu o elemento, nomeado inicialmente como colúmbio. Em 1802, o químico sueco Anders Gustaf Ekeberg identificou um novo mineral, o tântalo. Já em 1809, o químico britânico William Hyde Wollaston pesquisou e comparou os elementos, constatando semelhanças químicas entre o colúmbio e o tântalo. Na década de 1840, o químico alemão Heinrich Rose concluiu existir outro elemento associado ao tântalo, ao qual deu o nome de nióbio. Assim, em 1865, nióbio e colúmbio passaram a ser classificados como pertencentes à mesma categoria (Alves; Coutinho, 2015; Seer; Moraes, 2018).

Em 1933, ocorreu a aplicação industrial do nióbio como matéria-prima na produção e na estabilização de aços inoxidáveis, visando evitar a corrosão intergranular. Em 1950, o nome “nióbio” é oficialmente adotado pela União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC). A partir da década de 1970, com o avanço da tecnologia, houve a incorporação do nióbio em microligas e superligas especiais para o melhoramento da resistência de aços. Essas aplicações passaram a suportar altas temperaturas em diversas escalas industriais (Alves; Coutinho, 2015).

A aplicação do nióbio se expandiu para diversas indústrias, como automotiva, construção civil, em aços estruturais de obras de infraestrutura, dutovias (tubulações), aços inoxidáveis, superligas para turbinas de aviões e sistemas de energia, ímãs supercondutores para equipamentos médicos de diagnóstico e semicondutores. Adicionalmente, o nióbio passou a ser usado em indústrias não siderúrgicas, com destaque para estes setores: lentes de precisão, vidros, cerâmicas, catalisadores químicos, produtos com propriedades ferromagnéticas, usinas nucleares, equipamentos médicos, produção de joias e confecção de moedas (Alves; Coutinho, 2015; Seer; Moraes, 2018).

Segundo Linnen, Trueman e Burt (2014), os depósitos de nióbio são distribuídos globalmente, entretanto, o Brasil concentra mais de 90% da produção mundial, com operações industriais com

unidades de extração e de processamento nos municípios de Araxá (MG) e Catalão (GO). Em razão disso, verifica-se que essa concentração limita o número de fornecedores e torna os consumidores internacionais dependentes das exportações praticamente de um único país. Desde a década de 1980, consoante Gonçalves e Milanez (2020), a maioria da produção mineral de nióbio extraída em território brasileiro é transformada em produtos semiacabados, especialmente o ferronióbio e outros compostos, sendo exportados e posteriormente transformados em mercadorias de alto valor agregado no exterior. Destaca-se que o ferronióbio é pouco consumido no mercado interno, concentrando-se a demanda em metalúrgicas localizadas nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Pará.

Na dinâmica da cadeia produtiva global de nióbio, o gráfico 2 demonstra a forte concentração de sua produção no Brasil. Em 2023, o país produziu 109.520 toneladas do mineral, representando a produção mundial. Em seguida, figura o Canadá, cuja produção alcançou 6.700 toneladas, equivalente a 5,7% do total global. Os demais países, somados, produziram 1.655 toneladas de nióbio, correspondendo a 1,3% da produção mundial.

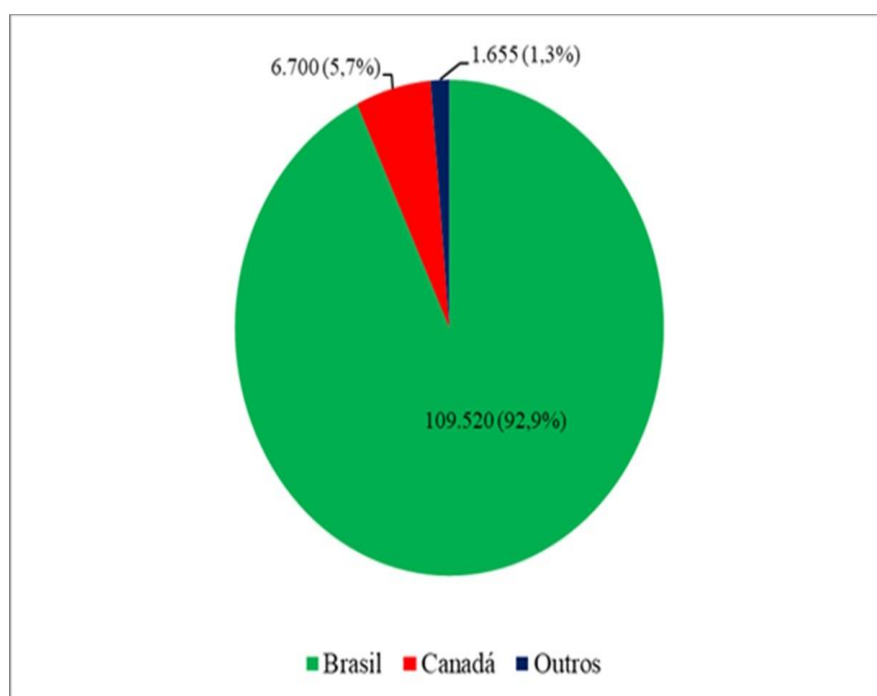


Gráfico 2 – Produção mundial de nióbio por países no ano de 2023 (Toneladas e percentual).

Fonte: World Mining Data, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

O Brasil é um *player* global relevante na produção de ferronióbio e outros compostos desse elemento. Observa-se, nas redes globais de produção e de suprimentos do mercado global, uma concentração e dependência dos exportadores brasileiros, que aumentaram a produção para atender

aos compradores de insumos atuantes em segmentos de tecnologias vinculados à economia de baixo carbono (Gonçalves; Milanez, 2020).

No mercado global de nióbio, conforme Alves e Coutinho (2015), os chineses são os grandes compradores, utilizando o mineral nas siderúrgicas que produzem aços inoxidáveis, principalmente para os setores energético, automotivo e de construção civil. As redes de importação ampliaram a participação do mercado asiático de ferronióbio, com destaque para países como Japão, China, Coreia do Sul, Índia e Cingapura. Na Europa, os Países Baixos (Holanda) também são relevantes nas aquisições de nióbio e seus derivados. Contudo, a absorção do mercado holandês é baixa, sendo o porto de Roterdã utilizado principalmente como porta de entrada e distribuição para o restante do mercado europeu (Gonçalves; Milanez, 2020).

No Brasil, a cadeia produtiva do nióbio está concentrada em Minas Gerais, com destaque histórico para o município de Araxá, que intensificou sua produção para atender à demanda do mercado, por meio da empresa Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM). Em seguida, vem o estado de Goiás, cuja extração/produção está concentrada em Catalão, e o beneficiamento é realizado em Ouvidor, com atuação das empresas Mineração de Catalão e Anglo American Brasil, respectivamente. No estado do Amazonas, ocorre a produção em pequena escala, no município de Presidente Figueiredo, pela empresa Mineração Taboca S/A. Em Rondônia, no município de Itapuã do Oeste, também ocorre a produção de nióbio sob a responsabilidade da empresa Metalmig (Linnen; Trueman; Burt, 2014; Alves; Coutinho, 2015; Gonçalves; Milanez, 2020).

A cadeia produtiva de substâncias agrupadas de nióbio – como a tantalita e a columbita – está concentrada em Araxá (MG), Nazareno (MG), Conceição da Barra de Minas (MG), São Tiago (MG), Catalão (GO), Ouvidor (GO), Ariquemes (RO), Itapuã do Oeste (RO), Itaituba (PA), Presidente Figueiredo (AM), Calçoene (AP), Itambé (BA), Frei Martinho (PB) e Cerro Corá (RN). O nióbio é essencial para o abastecimento principalmente das indústrias siderúrgicas nacional e estrangeira. Em áreas de extração de lítio e de nióbio, é comum também a exploração de elementos de terras raras – tema que será abordado na sequência.

A cadeia produtiva de terras raras é considerada complexa por envolver uma diversidade de minerais em sua composição. Trata-se de uma atividade estratégica para o fornecimento de insumos aplicados na produção de diversos produtos tecnológicos no Brasil e no exterior. Para Spencer (1919), os elementos conhecidos como terras raras correspondem a óxidos metálicos, cujos compostos apresentam propriedades físicas e químicas bastante semelhantes, dificultando sua separação em uma estrutura produtiva. A distribuição espacial desses elementos é dispersa na crosta

terrestre, e somente poucas jazidas contêm concentrações viáveis para extrair, produzir e obter os derivados com alto grau de pureza.

As terras raras são um grupo de minerais que demandam significativos custos operacionais para sua extração e processamento, em virtude das rigorosas exigências tecnológicas para separar e purificar seus elementos nas etapas de extração, produção e industrialização. A viabilidade econômica da exploração desses minerais está atrelada ao uso de tecnologia sofisticada, aplicada em substâncias minerais mais concentradas, como monazita, bastnaesita, xenotímio e em tipos específicos de argilas. Nesse contexto, as terras raras são constituídas por um grupo de 17 elementos químicos da Tabela Periódica: Lantânio, Cério, Praseodímio, Neodímio, Promécio, Samário, Európio, Gadolínio, Térbio, Disprósio, Hólmio, Érbio, Túlio, Itérbio e Lutécio. Além deles, são considerados terras raras os elementos químicos atômicos Escândio e Ítrio. Diante da complexidade na produção e no processamento, as terras raras são matérias-primas estratégicas na fabricação de produtos para os setores militares e para o consumo da sociedade civil (Melo, 2017).

As referências iniciais sobre as terras raras surgiram no século XVIII, em Ytterby, na Suécia, por meio da descoberta de novos óxidos minerais. Em 1751, o químico sueco Axel Frederik Cronstedt descobriu um novo mineral chamado “pedra pesada de Bastnäs”, que posteriormente passou a ser denominado cerita. Em 1787, o sueco Carl Axel Arrhenius deu início à química das terras raras com o descobrimento da iterbita, depois chamada de gadolinita. Em 1794, com base no mineral iterbita, o químico finlandês Johan Gadolin realizou o isolamento das terras ítricas, com uma mistura de óxidos ítricos e lantanídeos pesados (Spencer, 1919; Sousa Filho; Serra, 2014).

Ao longo do século XIX, os materiais inicialmente considerados elementos únicos, como a ítria e a céria, eram, na verdade, constituídos por misturas complexas de vários óxidos, que foram posteriormente separados e nomeados como novos elementos. Em 1803, foi creditada ao químico alemão Martin Heinrich Klaproth e aos químicos suecos Jöns Jacob Berzelius e Wilhelm Hisinger a descoberta do isolamento da céria, uma mistura predominante de óxidos dos lantanídeos leves (Spencer, 1919; Sousa Filho; Serra, 2014). Segundo Spencer (1919), após várias tentativas, em 1828, o químico Jöns Jacob Berzelius realizou o isolamento do tório. De 1839 a 1843, o químico sueco Carl Gustaf Mosander conseguiu separar a lantana da céria. Fundamentado nessa, identificou um novo óxido insolúvel: a didímia. Mosander também descobriu que a ítria é constituída por terras raras, por meio da separação da érbia e da térbia.

Entre 1879 e 1911, várias descobertas foram importantes para a identificação dos minerais de terras raras. Destacam-se, em 1879, o químico sueco Lars Fredrik Nilson, que realizou o isolamento do escândio por meio da itérbia; o químico francês Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran, que, no mesmo ano, descobriu o samário a partir da didímia, e, em 1886, isolou o gadolínio. Em 1885, o

cientista austríaco Carl Auer Von Welsbach separou a didímia em dois diferentes elementos – o neodímio e o praseodímio. De 1896 a 1901, o químico francês Eugène-Antole Demarçay separou e identificou o európio como um novo elemento presente no samário (Spencer, 1919). Já no século XX, o químico francês Georges Urbain, em 1907, por meio da separação do itérbio, descobriu dois elementos distintos: o lutécio e o neoitérbio. Em 1911, ele realizou a identificação do *Celtium* (háfnio) por meio de resíduos obtidos na separação do lutécio. Em 1908, Carl Auer Von Welsbach confirmou a existência do lutécio e do neoitérbio, além de identificar dois novos elementos – o aldebarânio e o cassiopeio (Spencer, 1919).

Do fim do século XVIII ao início do século XX, a descoberta das terras raras foi marcada por diversos anúncios – alguns até mesmo equivocados – de novos elementos, expondo as dificuldades envolvidas na separação das misturas complexas desses minerais em virtude de suas semelhanças químicas. A aplicação de técnicas como a espectroscopia de chama e de métodos analíticos clássicos de recristalizações sucessivas foi imprescindível para o avanço na identificação e purificação dos lantanídeos. Em 1905, Alfred Werner propôs a reorganização da tabela periódica de Mendeleiev. Posteriormente, em 1913, a tabela periódica foi confirmada por Henry Moseley com base no número atômico, e isso foi decisivo para o reconhecimento da série dos lantanídeos (Sousa Filho; Serra, 2014).

Nas palavras de Klinger (2015), desde o fim do século XIX, as terras raras deixaram de ser curiosidades científicas, ocupando um papel estratégico nas agendas políticas e comerciais, em função dos avanços tecnológicos que promoveram aplicações industriais e militares. Em um primeiro momento, as terras raras, em formatos de ligas de cério, foram utilizadas em mantos incandescentes de iluminação. Posteriormente, foram empregadas em ligas metálicas como o *mischmetall*, sendo substâncias essenciais na fabricação de explosivos durante a Primeira Guerra Mundial. Mais adiante, tornaram-se vitais na corrida armamentista nuclear, no período da Segunda Guerra Mundial.

Na década de 1950, os avanços nos métodos de separação, como a cromatografia de troca iônica e a extração por solventes, ampliaram a viabilidade comercial por meio da obtenção de elementos de terras raras de alta pureza, permitindo a expansão de suas aplicações nas indústrias eletrônica e óptica (Niinistö, 1987; Sousa Filho; Serra, 2014). Na concepção de Klinger (2015), a partir das décadas de 1960 e 1970, as inovações tecnológicas nos processos de separação aumentaram a eficiência, reduziram os custos operacionais e expandiram o emprego das terras raras na produção de bens de consumo, destacando-se os televisores e os computadores.

Na década de 1980, o consumo industrial de terras raras estava mais concentrado em aplicações nas áreas de catálise, vidro/cerâmica e metalurgia. Todavia, os elementos de alta pureza

de terras raras começaram a ganhar mais relevância em aplicações nas indústrias eletrônicas, de ímãs e de tecnologias especializadas, com expectativa crescente de utilização em produtos de maior valor agregado (Niinistö, 1987). No século XXI, a China surgiu como protagonista no cenário geopolítico de produção e exportação de terras raras, superando a hegemonia dos Estados Unidos, que perdurava na década de 1960 até o início dos anos 2000, com a ascensão da mina californiana de Mountain Pass, período de relativa estabilização da cadeia produtiva de terras raras (Klinger, 2015).

Por volta de 2010, observa-se o ressurgimento das terras raras como elementos centrais nas disputas geopolíticas, principalmente entre os Estados Unidos e a China. Os chineses passaram a monopolizar a produção e se despontaram como líderes tecnológicos na cadeia de produção e processamento global de terras raras (Klinger, 2015). Para Melo (2017), quando um país concentra mais da metade da produção de matérias-primas, os países importadores se tornam dependentes e esse país passa a atuar na formação de preços nos mercados internacionais. Os Estados Unidos, a União Europeia e o Japão são grandes consumidores e dependem das importações dos elementos de terras raras.

Melo (2017) argumenta que, no século XXI, as terras raras são empregadas em múltiplas atividades industriais em razão de suas propriedades químicas únicas, sendo aplicadas na cadeia produtiva de produtos de alta tecnologia. Destacam-se os setores de equipamentos eletrônicos, iluminação, dispositivos ópticos, ímãs de alto desempenho, catalisadores, baterias recarregáveis, fibras ópticas para comunicação a distância, vidros e cerâmicas espaciais. As terras raras também são aplicadas na metalurgia, na fabricação de ligas metálicas resistentes usadas em motores, aeronaves, turbinas e estruturas resistentes à corrosão. Elas são elementares na produção de supercondutores empregados na eletrônica avançada e equipamentos médicos de precisão.

Na indústria militar, as terras raras são utilizadas na produção de sistemas de radares, guiadores de mísseis, munições de precisão, bombas inteligentes e componentes de aviões militares. Na área médica, são empregadas na fabricação de sondas espectroscópicas, traçadores biológicos, marcadores imunológicos e agentes de contraste em ressonância magnética (Melo, 2017). Segundo Klinger (2015), na maioria das aplicações industriais, os elementos de terras raras são incorporados ou misturados a outros metais, com a finalidade de deixá-los mais fortes, leves e condutores, aprimorando o desempenho das matérias-primas.

Quanto ao mercado mundial de elementos de terras raras, em 2023, a China produziu 255.000 toneladas, respondendo por 66,2% do total – quase dois terços da produção mundial. Em seguida vêm Myanmar, com 56.850 toneladas (14,8%), os Estados Unidos, com 41.557 toneladas (10,8%), a Austrália, com 20.280 toneladas (5,3%), Madagascar, com 4.000 toneladas (1,0%) e o grupo de

outros países, com produção conjunta de 6.354 toneladas (1,6%). O Brasil, por sua vez, foi responsável por 1.280 toneladas, representando somente 0,3% da produção mundial. Essas informações podem ser visualizadas no Gráfico 3.

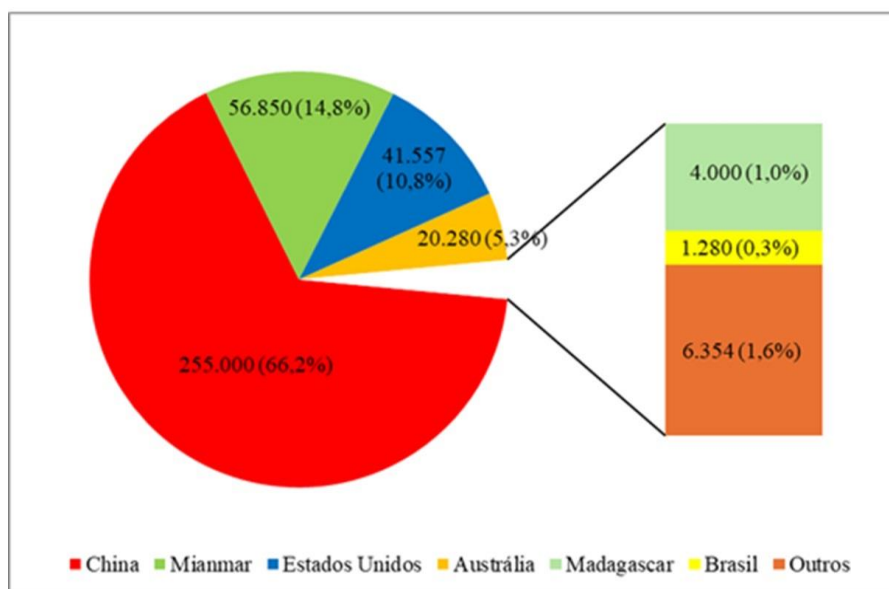


Gráfico 3 – Produção mundial de elementos de terras raras por países em 2023 (toneladas e percentual).

Fonte: World Mining Data, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

Os dados revelam uma elevada concentração da produção de terras raras na China, conferindo ao país poder de mercado para interferir na oferta e nos preços internacionais. Diante de crises geopolíticas e da vulnerabilidade no abastecimento, os países importadores passaram a investir na produção interna de terras raras e a buscar novas fontes de suprimentos em outras regiões, para reduzir a dependência das importações provenientes da China. Nesse contexto, o Brasil tem investido na expansão da cadeia produtiva de terras raras, com iniciativas voltadas para o desenvolvimento e o fortalecimento dessa indústria estratégica.

Na história da produção dos elementos de terras raras no território brasileiro, Lafer (1950) assinala que os primeiros registros sobre terras raras estiveram associados às descobertas feitas, em 1884, pelo exportador de madeira John Gordon, em areias monazitas na localidade de Cumuruxatiba, no município de Prado (BA). Por essa razão, ele iniciou as exportações clandestinas de terras raras para o mercado europeu. Após a descoberta da fraude pelas autoridades brasileiras, Gordon obteve concessão de jazidas para explorar intensamente as areias monazíticas, mantendo as exportações para a Europa. Segundo Sousa Filho e Serra (2014), até 1914, o Brasil foi o maior produtor de terras raras do mundo, posição que perdeu para a Índia, embora tenha continuado como importante fornecedor dessa matéria-prima.

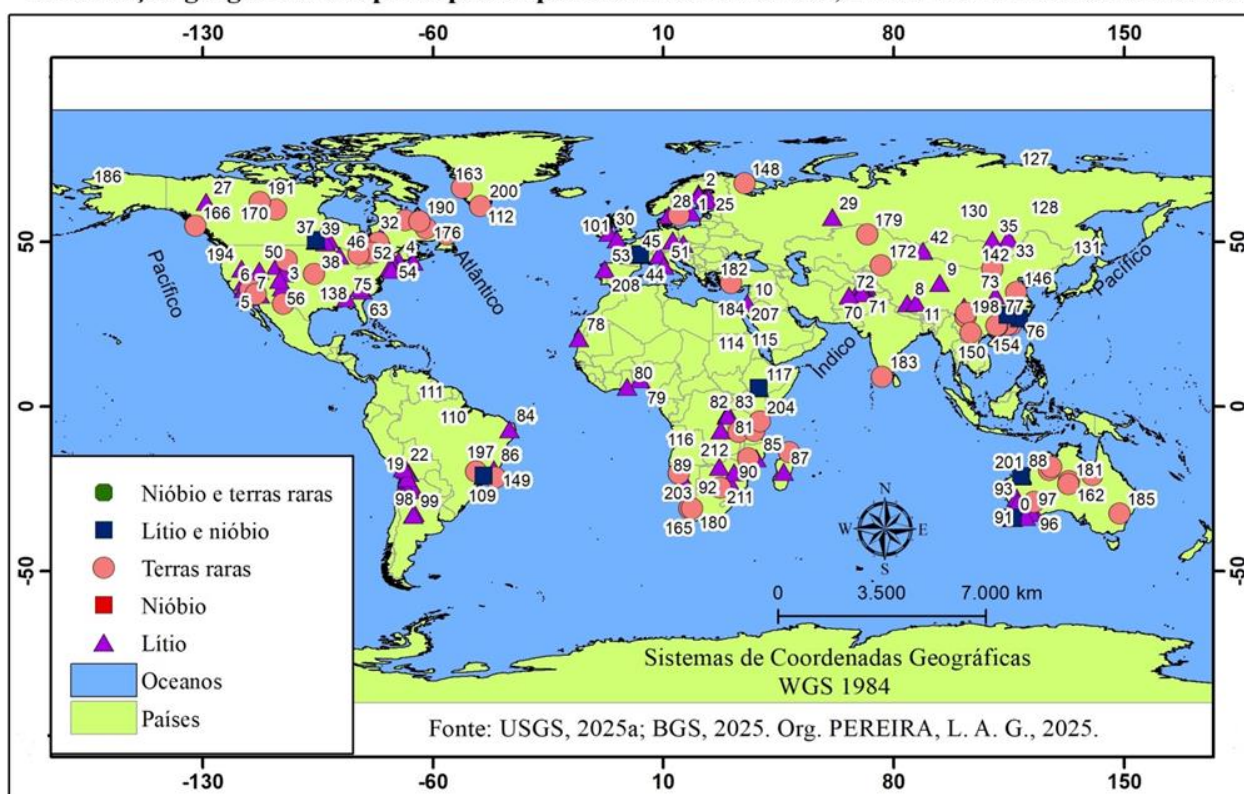
Nas décadas de 1940 e 1950, com a atuação da empresa privada Orquima S.A., o Brasil passou a dominar as etapas de produção, separação e obtenção de óxidos de alta pureza de terras raras. Essa empresa foi estatizada na década de 1960, por se tratar de exploração estratégica, e passou a se chamar Nuclebrás Monazita (Nuclemon) na década de 1970. Em 1988, a empresa se transformou em Indústrias Nucleares Brasileiras (INB). Entretanto, em 2002, a INB interrompeu praticamente a produção de terras raras devido aos custos operacionais, perdendo competitividade em um contexto de expansão das exportações chinesas. Em 2004, a produção de monazita foi reiniciada em Caldas, Minas Gerais (Rosental, 2008; Sousa Filho; Serra, 2014).

Na década de 2010, surgiu o interesse em discutir o papel dos minerais estratégicos, o que resultou na realização de reuniões e de eventos entre o governo, entidades de classe e a sociedade civil. Consequentemente, em 2013, conforme Sousa Filho e Serra (2014), a Comissão de Ciência e Tecnologia do Senado Federal elaborou um projeto de lei voltado para a cadeia produtiva de materiais estratégicos, contemplando as terras raras. Contudo, com o passar dos anos, essa agenda foi desmobilizada. A INB, empresa estatal, passou a negociar com os chineses os estoques de elementos de terras raras armazenados na unidade de Buena, em São Francisco de Itabapoana (RJ), e na unidade de Caldas, na região de Poços de Caldas (MG).

A elevada concentração da produção de terras raras na China levou outros países – principalmente os maiores compradores – a investir na cadeia produtiva em diferentes regiões para diversificar os fornecedores e reduzir a dependência chinesa. Segundo Silva Junior e Campos (2016) e Sousa Filho e Serra (2014), as vulnerabilidades no suprimento de terras raras despertaram o interesse de empresas privadas, inclusive incentivadas pelo Estado, em pesquisar, prospectar, explorar e produzir os elementos de terras raras. No Brasil, as áreas com exploração ativa ou potencial para exploração de terras raras se encontram localizadas nos municípios de Catalão (GO), Minaçu (GO), Mata Azul (TO), Serra do Ramalho (BA), Pitinga/Presidente Figueiredo (AM), Morro de Seis Lagos/São Gabriel da Cachoeira (AM), Morro do Ferro/Poços de Caldas (MG), Rio Sapucaí/Turvolândia (MG), Tapira (MG), Nazareno (MG) e Araxá (MG).

No contexto mundial, a cadeia produtiva brasileira de lítio, nióbio e terras raras é bastante complexa, por apresentar uma grande diversidade de minerais naturais e/ou minerais industriais. Isso demanda um processo produtivo com elevado nível tecnológico, visando à exploração de jazidas com viabilidade econômica em escala internacional. Dessa forma, a Figura 1 apresenta a distribuição espacial dos principais depósitos de matérias-primas minerais críticas – lítio, nióbio e terras raras – em escala mundial.

Localização geográfica dos principais depósitos minerais de lítio, nióbio e terras raras no mundo



- | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 0, Greenbushes | 43, Koralpe | 86, Urucum Pegmatite | 129, Etykinskoye | 172, Kutessay II project |
| 1, Utö | 44, Brissago | 87, Betafo | 130, Vishnyalovskoye | 173, Norra Kärr |
| 2, Varuträsk | 45, Chedeville | 88, Tabba | 131, Voznesenskoye | 174, Round Top |
| 3, Harding | 46, Animikie | 89, Rubicon | 132, Alakhinskoye | 175, TRE project |
| 4, Mount Mica | 47, Brazil Lake | 90, Union | 133, Halzan-Buregtei | 176, Two Tom |
| 5, Clayton Valley | 48, Palermo | 91, Niobe | 134, Yichun | 177, Eco Ridge mine |
| 6, Searles Lake | 49, Beryl Mountain | 92, Homestead | 135, 801 | 178, Milo project |
| 7, Salton Sea | 50, Black Mountain | 93, Edon | 136, Sokli | 179, Plant in Stepnogorsk |
| 8, Zhabuye Lake | 51, Elba | 94, Marion | 137, Beauvoir-Echassieres | 180, Steenkampskraal |
| 9, Tajanier Lake | 52, Clark | 95, Tantalite | 138, Elk Creek | 181, Charley Creek deposits |
| 10, Dead Sea | 53, Covas de Barroso | 96, Bald | 139, Iron Hill | 182, Canakli deposit |
| 11, DXC | 54, Anderson | 97, Deans | 140, Bald Hill | 183, Kerala deposits |
| 12, Salar de Uyuni | 55, Crystal Mountain | 98, Las Cuevas | 141, Mount Deans | 184, Abu Dabbab |
| 13, Salar de Atacama | 56, Quartz Cr | 99, San Luis | 142, Bayan Obo | 185, Dubbo |
| 14, Salar de Hombre Muerto | 57, Talbuzanak | 100, Cattlin | 143, Mutala | 186, Kougark |
| 15, Salar del Rincon | 58, Eshkashim | 101, Meldon | 144, Daluxiang (Dalucao) | 187, Mount Cattlin |
| 16, Salar de Cuachari and Salar ... | 59, Pachighram | 102, Podlesi | 145, Maoniuping | 188, Mountain Pass |
| 17, Salar de Llullaillaco | 60, Kantiway | 103, Blue River | 146, Weishan | 189, Spruce Pine |
| 18, Salar de Copaisa | 61, Panjsher | 104, Tanco | 147, Mount Weld | 190, Strange Lake |
| 19, Salar de Pastos Grandes | 62, Marid | 105, Niobec | 148, Lovozero Deposit | 191, Thor Lake |
| 20, Salar de Maricunga | 63, Kings Mountain | 106, Crevier | 149, Buena Norte mining district | 192, White Picacho |
| 21, Great Salt Lake | 64, Nilaw-Kolum | 107, Oka | 150, Dong Pao mine | 193, Wodgina |
| 22, Salar de Surire | 65, Kurghal | 108, Araxá | 151, Heling | 194, Kings Valley |
| 23, Orrvik | 66, Parun | 109, Volta Grande | 152, Longnan | 195, Black Hills |
| 24, Haapaluoma | 67, Alinghar | 110, Pitinga | 153, Guposhan | 196, Bikita |
| 25, Ullava (Länttä) | 68, Darra-i-Pech | 111, Morro dos Seis Lagos | 154, Huashan | 197, Catalao No. 1 Mine |
| 26, Seinajoki | 69, Darrahe-Nur | 112, Ilmaussaq complex | 155, Bear Lodge | 198, Jiajika |
| 27, Little Nahanni | 70, Shahidan | 113, Ghurayyah | 156, Cummins Range | 199, Kamativi |
| 28, Borkenas-Orust | 71, Surkh-Rod | 114, El Nuweiba | 157, Eldor property | 200, Motzfeldt |
| 29, Lipovy Log | 72, Taghawlor | 115, Umm Naggat | 158, Glenover project | 201, Pilgangoora |
| 30, Leinster | 73, Guanpo | 116, Bonga | 159, Lavergne-Springer property | 202, La Paz |
| 31, Favourable Lake | 74, San Diego | 117, Kenticha | 160, Montviel project | 203, Lofdal project |
| 32, Whabouchi | 75, McAllister | 118, Kanyika | 161, Ngualla | 204, Mfima Hill |
| 33, Orlovka | 76, Nanping | 119, Marropino | 162, Nolans Bore | 205, Songwe Hill |
| 34, Root | 77, Maoantan | 120, Morrua | 163, Sarfartoq | 206, Kibara pegmatite belt |
| 35, Malkhan | 78, Khnefissat | 121, Muriane | 164, Wigu Hill | 207, Nuveibi |
| 36, Greer | 79, Igbebi | 122, Tantalite Valley | 165, Zandkopsdrift | 208, Tamazeght |
| 37, Big Whopper | 80, Kokobin | 123, Three Aloes | 166, Bokan Mountain | 209, Muiane |
| 38, Gullwing Lake | 81, Bijyojyo | 124, Palinesberg | 167, Clay-Howells project | 210, Central Nigerian pegmatite |
| 39, Mavis | 82, Ruhembe | 125, Eagle | 168, Foxtrot project | 211, Pilanesberg |
| 40, Oldrich | 83, Kivuvu | 126, Donsa | 169, Hastings Project | 212, Manono-Kitolo Mine |
| 41, Lacorne | 84, Mamoes | 127, Tomtor | 170, Hoidas Lake deposit | |
| 42, Altai | 85, Alto Ligonha | 128, Katuginskoye | 171, Kipawa | |

Figura 1 - Localização geográfica dos principais depósitos minerais de lítio, nióbio e terras raras no mundo.

Fonte: USGS, 2025a; BGS, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

A exploração e a produção de minerais de lítio, nióbio e terras-raras ocorrem por meio da instalação de empresas nas áreas das jazidas. O processamento desses minerais é realizado em plantas industriais localizadas em regiões estratégicas, próximas ou distantes das jazidas, interligadas por redes de transporte responsáveis pelo escoamento dos minérios extraídos até essas unidades de processamento. Consequentemente, as empresas realizam a distribuição dos produtos semimanufaturados e manufaturados no mercado brasileiro e internacional.

O Brasil possui reservas importantes de lítio e, principalmente, de nióbio e de terras raras. Em 2023, as reservas mundiais de lítio foram estimadas em 28 milhões de toneladas, das quais 390 mil toneladas estão localizadas no território brasileiro, correspondendo a 1,4% do total mundial. Minas Gerais concentra 84% dessas reservas de lítio do país. No caso do nióbio, as reservas mundiais somam 17 milhões de toneladas, das quais cerca de 16 milhões de toneladas se localizam no Brasil – equivalendo a 94% do total. Minas Gerais abriga cerca de 49% dessas reservas brasileiras. As terras-raras apresentam reservas mundiais estimadas em 110 milhões de toneladas, com a China detendo aproximadamente 40% desse volume. Apesar de a produção e das exportações brasileiras serem muito baixas, o país possui reservas estimadas em 21 milhões de toneladas (ou 19,0% do total mundial), ocupando a segunda posição nesse *ranking*. Em Minas Gerais, estão localizadas 48% das reservas brasileiras de terras raras (USGS, 2025b; Franco, 2025).

No estado de Minas Gerais, as principais empresas que atuam no mercado de lítio, nióbio e terras raras são: AMG Mineração S.A., com a unidade de extração/produção localizada em Volta Grande, no município de Nazareno (MG); AMG Brasil S.A., com planta de processamento industrial localizada em Colônia do Marçal, no município de São João del-Rei (MG); Companhia Brasileira de Lítio (CBL), com unidade de extração e produção de lítio na divisa dos municípios de Itinga (MG) e Araçuaí (MG), e planta de processamento industrial às margens da BR-116, no município de Divisa Alegre (MG); Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (CBMM), com unidade de extração/produção, além da planta de processamento industrial, ambas localizadas no município de Araxá (MG); Sigma Lithium, empresa canadense, com a unidade de extração/produção mineral localizada entre os municípios de Itinga (MG) e Araçuaí (MG); Boston Metal do Brasil, corporação norte-americana que instalou uma planta industrial no município de Coronel Xavier Chaves (MG), voltada para o processamento de minerais críticos. Essas empresas dependem da infraestrutura e dos serviços de transportes para o escoamento de seus produtos para exportação – assunto abordado na seção seguinte.

2.2. Exportações e transportes de lítio, terras raras e nióbio em Minas Gerais

Na exportação, a infraestrutura e os serviços de transportes têm um papel relevante no escoamento da produção das matérias-primas minerais críticas. Ao estudar as atividades comerciais na ciência geográfica, Barata Salgueiro (1996) aponta que existe necessidade de troca e transferência de mercadorias para atender os diversos hábitos de consumo em escalas regional, nacional e internacional.

As atividades comerciais se tornaram negócios dependentes de sistemas de transporte eficientes, capazes de viabilizar a movimentação das mercadorias desde o local de produção até os centros de processamento e/ou centros consumidores. As especificidades competitivas de cada modalidade de transporte contribuíram para a especialização produtiva, com o aumento da demanda por matérias-primas, a expansão da atividade industrial e a integração de regiões distantes, onde se encontram comerciantes, produtores e consumidores (Hope, 1965).

Na concepção de Hanson (1970), o comércio disponibiliza os produtos nos mercados para aqueles que querem comprá-los, por meio da distribuição de vários tipos de mercadorias, incluindo matérias-primas, produtos semiacabados e manufaturados. Na complexidade da cadeia de produção e distribuição, os transportes tornaram-se vitais na distribuição de bens vendidos e/ou comprados nos comércios nacional e internacional. Desse modo, a expansão das modalidades de transporte está vinculada aos avanços da industrialização e à ampliação das atividades comerciais em escala global.

As inovações tecnológicas nos sistemas de transporte, especialmente por meio do processo de motorização, transformaram e ampliaram as redes comerciais. Essas passaram a ter mais opções diante das diversas necessidades logísticas, com destaque para os segmentos de transporte marítimo, fluvial, ferroviário, rodoviário e aéreo. As vantagens de cada meio de transporte resultam em escolhas mais adequadas pelos agentes comerciais, que definem a contratação de determinado meio de transporte com base no tipo de mercadoria, no valor de mercado, no custo de frete, na distância a ser percorrida e na urgência na entrega (Hanson, 1970).

Para Martins e Caixeta-Filho (2001), a eficiência do sistema produtivo está relacionada à disponibilidade da infraestrutura de transportes, que potencializa os ganhos da produtividade, reduz os custos de insumos e produtos, e, conseqüentemente, aumenta a lucratividade. Os transportes proporcionam a ampliação dos mercados por meio da disponibilização de mercadorias de qualidade para os consumidores, ao garantir a distribuição de produtos em diferentes regiões, com prazos de entrega definidos em um cenário de inovação tecnológica e de competitividade entre (sub)setores econômicos. As modalidades de transportes se destacam por viabilizar a circulação de insumos e bens que suprem e abastecem os mercados nacional e internacional (Castro, 2001).

Na abordagem de Rojas (2014) e Pereira (2015), o surgimento e a expansão dos modais de transportes ocorreram em momentos de necessidade e de inovações tecnológicas na cadeia de produção e consumo para satisfazer as demandas da sociedade. Com características próprias na circulação de cargas, os transportes são classificados em: aquaviários – marítimo, hidroviário e lacustre –; terrestres – ferroviário, rodoviário e dutoviário (minerodutos, oleodutos e gasodutos); e aéreos – aviões, helicópteros e drones. Esses modais podem ser utilizados de forma segmentada ou em combinações inter/multimodais, conforme as necessidades logísticas para circulação de mercadorias nos mercados interno e externo.

Na comercialização de produtos minerais *in natura* ou processados, os transportes representam custos significativos que podem impactar negativamente a competitividade nos mercados internacionais, especialmente no grupo de produtos minerais de baixo valor agregado. Isso exige conhecimento técnico na escolha do meio de transporte que melhor atende o exportador. Na inter-relação entre transporte e mineração, segundo Dionori e Zehtabchi (2022), as matérias-primas minerais produzidas e comercializadas precisam chegar com segurança aos mercados de destino, que, geralmente, estão localizados em locais distantes das regiões mineradoras.

O transporte de produtos minerais é complexo e dispendioso, na maioria das vezes, sendo considerado um serviço indispensável ao funcionamento da cadeia produtiva mineral, que demanda o uso combinado de diferentes modais de transportes para distribuição nos mercados consumidores. Para Dionori e Zehtabchi (2022), a expansão geográfica da indústria de processamento mineral e a descoberta de jazidas em localidades remotas exigiram a inovação tecnológica dos transportes, que se tornaram estratégicos na circulação em grande escala no segmento dos negócios minerários – conectando e integrando os polos de produção aos usuários finais.

Após a extração e o processamento dos minerais, os produtos são movimentados por rodovias, dutovias (minerodutos), hidrovias, aerovias e ferrovias até as indústrias de processamento (siderurgias, metalurgias, entre outras), no mercado nacional, ou para os recintos aduaneiros (portos, aeroportos, pontos de fronteiras, portos secos, entre outros), no caso dos produtos destinados à exportação. Para chegar às unidades de processamento industrial nos países de destino, as matérias-primas minerais podem circular também por rodovias, aerovias, minerodutos, hidrovias e ferrovias (Pereira, 2015; Dionori; Zehtabchi, 2022).

Na estrutura do comércio global de produtos minerais, Dionori e Zehtabchi (2022) destacam que os países têm ampliado suas vendas, explorando esses produtos em áreas geográficas com maior rentabilidade. Esses bens são transportados por distâncias cada vez maiores para o abastecimento de unidades processadoras localizadas nos mercados interno e externo. Nas operações da mineração, os agentes econômicos tomam decisões com base nos custos operacionais

do transporte entre as áreas mineradoras e as usinas processadoras – fator fundamental na composição dos preços finais das matérias-primas entregues ao exterior. A inovação tecnológica no setor de transportes voltados para atividades minerais tende a assegurar eficiência e segurança operacional, com a automação dos serviços, redução de custos, diminuição do tempo de viagem, minimização dos riscos de avarias, melhorias das condições de trabalho e gestão socioambiental.

Consoante Zhao e Zhao (2025), a circulação de matérias-primas minerais críticas no comércio global é fortemente dependente do transporte marítimo, por sua eficiência na movimentação de grandes volumes – característica dos produtos minerais – e por facilitar conexões com os mercados compradores a menores custos operacionais. Na logística do transporte marítimo, fatores como sanções econômicas, conflitos militares, ataques terroristas e ações de pirataria podem dificultar a exportação de matérias-primas minerais críticas, interrompendo cadeias de suprimento e afetando o sistema de circulação com a elevação dos custos de frete e seguro. Por outro lado, no campo geopolítico, a negociação de acordos comerciais e de transporte pode estimular a competitividade e reforçar a segurança em rotas marítimas vitais para o funcionamento da cadeia global de suprimentos.

O transporte marítimo de grânéis sólidos minerais realiza a movimentação de cargas homogêneas, soltas, sem embalagens e sem marcas. A maioria dessas cargas se classifica como produtos de baixo valor agregado, requerendo alto desempenho dos serviços, combinando eficiência na circulação, baixos custos de frete, manuseio ágil em terminais e movimentação eficaz em rotas marítimas internacionais (Magalhães, 2011). Na modalidade marítima, segundo Starr e Slack (1999), os portos se tornaram espaços essenciais e estratégicos para facilitar os negócios e a circulação de produtos nos mercados externos, ao interligarem os fluxos de mercadorias a granel e/ou containerizadas entre as áreas portuárias e as hinterlândias, representadas pelas localizações de minas e fábricas. Em cenários de competitividade e cooperação entre empresas, a infraestrutura e os serviços portuários passaram a interconectar um sistema de transporte inter/multimodal nos intercâmbios inter-regionais e internacionais.

O comércio operacionalizado por meio de portos e vias marítimas criou novos padrões de redes comerciais em cadeias produtivas fragmentadas, com base na flexibilização do consumo e da produção (Starr; Slack, 1999). Os portos e os serviços de transporte marítimo são interconectados em escalas espaciais nacionais e internacionais, exigindo do agente econômico a tomada de decisão na escolha do modal mais adequado para a movimentação de cargas. Na exportação, as matérias-primas minerais críticas são transportadas, majoritariamente, por vias marítimas – interconectadas à infraestrutura e aos serviços portuários – em razão da agilidade e dos baixos custos de frete, sobretudo para produtos de baixo valor agregado (Pereira, 2015).

Além do transporte marítimo, os exportadores podem usar o transporte aéreo para os produtos de alto valor agregado, como ouro e diamantes, ou para o envio de amostras e mercadorias que demandam urgência na entrega. Os transportes terrestres, principalmente o rodoviário e o ferroviário, também são utilizados para envio de matérias-primas minerais críticas entre países interligados por vias terrestres (Pereira, 2015).

Nas conexões e interligações espaciais, os modais e terminais de transporte são essenciais na organização ou na transformação socioespacial das atividades produtivas, demandando constante implantação e reestruturação da infraestrutura para otimização dos fluxos de bens nos mercados interno e externo. Em Minas Gerais, desde o local de produção das matérias-primas minerais críticas até as indústrias de processamento e/ou recintos aduaneiros, os produtos – especialmente os de baixo valor agregado – têm a opção de transporte por rodovias, ferrovias e dutovias. Já os produtos de alto valor agregado são transportados, principalmente, por via aérea (avião e helicóptero). O Mapa 1 apresenta a distribuição espacial da infraestrutura logística e de transporte utilizada pelas empresas no escoamento das matérias-primas minerais críticas exportadas no estado de Minas Gerais.

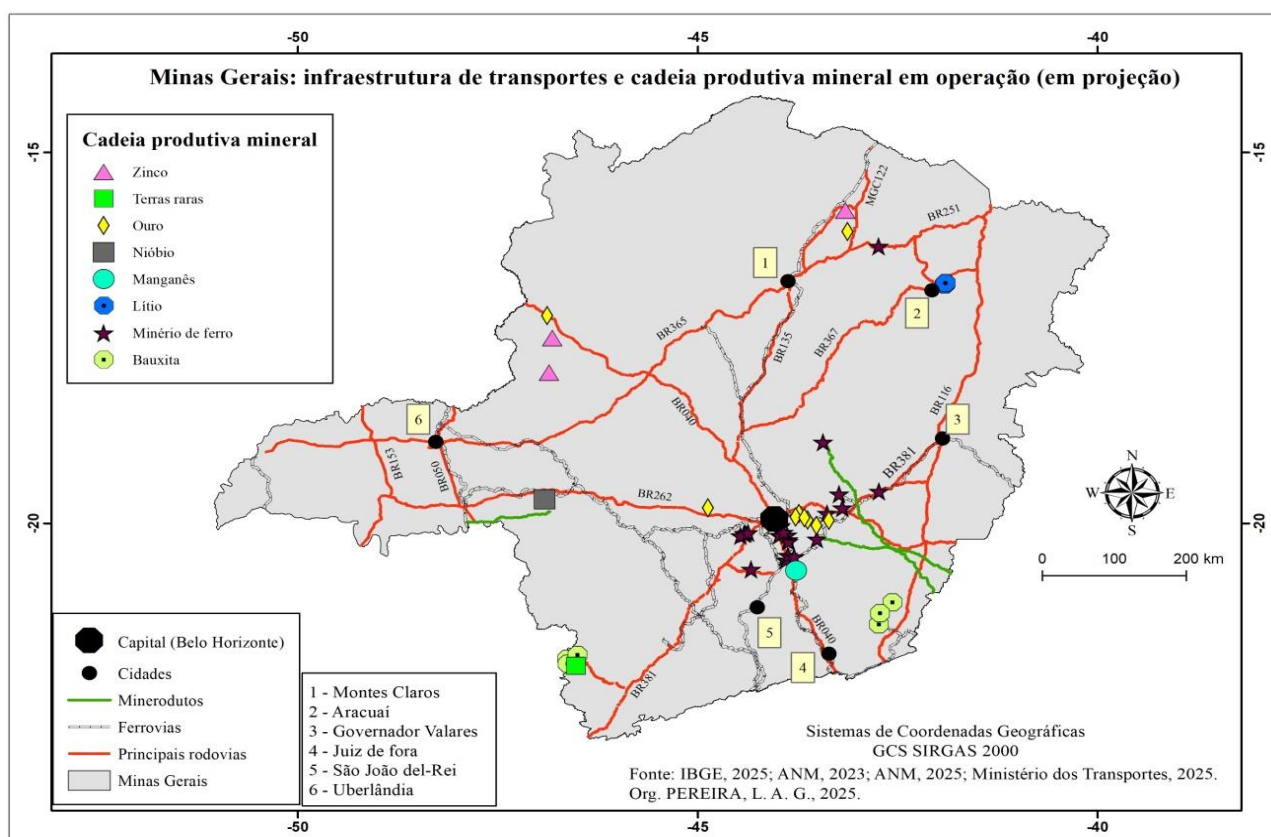


Figura 2 – Minas Gerais: infraestrutura de transportes e cadeia produtiva mineral em operação (em projeção)
Fonte: IBGE, 2025; ANM, 2023; ANM, 2025; Ministério dos Transportes, 2025; Pereira, L. A. G., 2025.

Os meios de transporte são importantes no escoamento das matérias-primas minerais críticas, entre as quais se destacam o nióbio, o lítio e as terras raras, exportadas para empresas localizadas no exterior. Na análise descritiva dos dados de exportações, atinentes ao período de 2006 a 2023, observa-se que o nióbio representou, em média, 96,8% em valor monetário total das exportações e 69,2% das quantidades em quilogramas. O lítio, por sua vez, representou, em média, 3,2% dos valores monetários e 30,8% de quantidades exportadas em peso/volume. Já as terras raras representaram, em média, menos de 0,1% em valor monetário e em peso. Essas informações podem ser verificadas na Tabela 1.

Embora o nióbio seja, entre os três minerais, aquele que apresenta exportações com valores mais expressivos, tendo alcançado US\$ 2,08 bilhões em 2023, o mineral apresentou grandes oscilações nas quantidades exportadas e nos preços por quilograma ao longo do período. Em 2019, as exportações atingiram a maior quantidade (93,9 milhões de quilogramas) e o maior valor (US\$ 2,1 bilhões). Em 2023, as exportações foram cerca de 20 milhões de quilogramas menores em relação a 2019, uma queda de 21,2%. Mesmo que tenha havido forte crescimento entre 2006 e 2007, de 54,0 para 66,6 milhões de quilogramas (ou 23,3%), o incremento foi de somente 11,1% entre 2007 e 2023, quando se situou em cerca de 74,0 milhões de quilogramas. Os preços médios por quilograma exportado de nióbio também apresentaram variações no período, com forte aumento de US\$ 9,59 em 2006 para US\$ 15,15 em 2007, e US\$ 27,10 em 2011. A partir de então, houve redução, chegando a US\$ 21,17 em 2017. De 2018 em diante, os preços médios se recuperaram paulatinamente, atingindo US\$ 28,20 em 2023 – o maior valor da série (Vide Tabela 1).

Quanto ao lítio, observa-se crescimento persistente em valor e quantidade desde 2017, quando as vendas externas eram inexpressivas – apenas 1,1 mil quilogramas. Desde então, as exportações praticamente dobraram a cada ano, atingindo 233 mil quilogramas e US\$ 496,8 milhões em 2023 (Vide Tabela 1). O crescimento acelerado reflete o aumento significativo da demanda no mercado mundial e a expansão da capacidade de extração e processamento do mineral no estado. Por sua vez, as terras raras tiveram pouca expressividade na pauta de exportação de Minas Gerais. No entanto, há expectativa de ampliação dos investimentos em unidades de produção e de beneficiamento de minerais de terras raras, com vistas a promover incremento futuro nas vendas externas mineiras.

Tabela 1: Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas: nióbio, lítio e terras raras, no período de 2006 a 2023 (Valores em US\$ 1.000 /FOB, 1.000 kg e percentuais).

Produto	Nióbio					Lítio					Terras raras				
Ano	MG US\$ /FOB	kg	Preço por Kg (US\$)	Brasil US\$ /FOB	(%)*	Minas Gerais US\$ /FOB	kg	Preço por Kg (US\$)	Brasil US\$ /FOB	(%)*	MG US\$ /FOB	kg	Preço por Kg (US\$)	Brasil US\$ /FOB	(%)*
2006	517.939	54.015	9,59	586.300	88,3	28	0,4	68,17	177	15,6	49	18	2,73	955	5,1
2007	1.009.164	66.617	15,15	1.115.447	90,5	42	0,5	92,47	2.032	2,1	-	-	-	2.187	0,0
2008	1.581.646	67.667	23,37	1.728.426	91,5	84	0,6	150,15	533	15,7	-	-	-	1.553	0,0
2009	922.678	38.459	23,99	1.114.202	82,8	4	0,1	50,89	268	1,4	0,4	0,0	89,40	1.149	0,0
2010	1.502.256	63.054	23,82	1.656.260	90,7	26	0,3	88,52	165	15,5	-	-	-	1.447	0,0
2011	1.833.699	67.660	27,10	1.992.344	92,0	0,7	0,0	32,81	209	0,3	0,3	0,0	59,80	1.081	0,0
2012	1.856.333	69.520	26,70	2.029.631	91,5	26	7	3,62	6.007	0,4	-	-	-	1.996	0,0
2013	1.615.584	60.269	26,81	1.798.022	89,9	24	43	0,57	9.136	0,3	-	-	-	1.099	0,0
2014	1.727.692	66.986	25,79	1.911.492	90,4	1	0,0	516,50	11.224	0,0	4	2	1,68	383	0,9
2015	1.468.705	61.442	23,90	1.699.961	86,4	17	0,1	133,65	6.448	0,3	3	1	1,99	1.399	0,2
2016	1.237.134	56.042	22,08	1.471.475	84,1	6	0,0	127,96	4.196	0,1	115	226	0,51	2.712	4,2
2017	1.462.715	69.079	21,17	1.737.182	84,2	35	1	30,13	1.156	3,0	2	2	1,44	1.777	0,1
2018	1.860.996	83.245	22,36	2.187.291	85,1	1.754	3.061	0,57	3.109	56,4	6	5	1,30	1.647	0,4
2019	2.115.658	93.932	22,52	2.439.350	86,7	13.616	26.555	0,51	14.866	91,6	10	7	1,55	1.335	0,8
2020	1.242.638	55.096	22,55	1.601.750	77,6	17.256	66.817	0,26	20.190	85,5	10	8	1,32	1.622	0,6
2021	1.876.691	77.720	24,15	2.223.553	82,2	63.188	95.347	0,66	65.409	96,6	0,9	0,6	1,47	2.099	0,0
2022	1.828.225	68.438	26,71	2.259.737	80,9	325.959	107.164	3,04	331.689	98,3	-	-	0	3.943	0,0
2023	2.086.332	73.996	28,20	2.509.692	83,1	496.798	233.015	2,13	500.370	99,3	0,7	0,0	0	1.415	0,1
Total	27.746.086	1.193.238	23,25	32.062.115	86,5	918.864	532.011	1,73	977.185	94,0	201	269	0,75	29.800	0,7
(%)*	96,8	69,2	-	97,0	-	3,2	30,8	-	3,0	-	< 0,1	< 0,1	-	0,1	-

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

Nota: (%)*-Indica a participação da exportação de Minas Gerais no Brasil. (%)** - Participação em percentual de cada produto na exportação de Minas Gerais.

Os dados da Tabela 1 revelam ainda que Minas Gerais possui participação relevante nas exportações brasileiras de nióbio e lítio, mas ainda bastante reduzida em terras raras. Além de as exportações de produtos à base de nióbio alcançarem valores mais expressivos em dólar, o estado respondeu por 83,1% das exportações brasileiras em 2023. Contudo, há uma tendência de redução dessa participação: em 2011, representava 92,0%, apresentando declínio desde então – ainda que, entre 2020 e 2023, tenha subido de 77,6% para 83,1%. No valor acumulado entre 2006 e 2023, a participação de Minas Gerais foi de 86,5%. No caso do lítio, houve incremento significativo tanto no valor quanto na participação mineira nas exportações nacionais, especialmente após 2018. Em 2023, o valor das exportações mineiras de lítio foi recorde, e a participação estadual atingiu 99,3%. No período considerado (2006-2023), a participação acumulada de Minas Gerais chegou a 94,0%. Em relação aos produtos à base de terras raras, o valor e a participação estaduais são insignificantes, em um contexto de exportações nacionais igualmente pouco expressivas, sobretudo quando comparadas ao desempenho do nióbio e do lítio. Cabe destacar que, em 2006 e 2016, a participação mineira foi de, respectivamente, 5,1% e 4,2%. O eventual incremento na extração e processamento de produtos de terras raras no estado de Minas Gerais certamente impulsionará essas exportações.

Na análise dos dados de exportações de lítio, nióbio e terras-raras no estado de Minas Gerais, verifica-se que os produtos básicos de lítio e de terras-raras apresentaram valor agregado relativamente baixo, com o quilograma sendo vendido, em média, por US\$ 1,71 e US\$ 0,51, respectivamente. Já os produtos básicos de nióbio tiveram preço médio de US\$ 41,56 por quilograma. Os produtos semimanufaturados de nióbio (ferronióbio) foram exportados com preço médio de US\$ 22,21 – valor inferior ao dos produtos básicos de nióbio. Essa diferença pode estar relacionada à presença de ferro na composição do ferronióbio, reduzindo o valor por quilograma. No grupo de produtos manufaturados, as terras-raras com ferro apresentaram preços médios de US\$ 1,42 e US\$ 2,73 por quilograma, considerados baixos em comparação aos produtos de nióbio e de lítio beneficiados. Os produtos manufaturados de lítio foram exportados com preços médios entre US\$ 27,90 e US\$ 109,65 – valores mais elevados que os das terras-raras. Os produtos manufaturados de nióbio e de terras-raras obtiveram valores médios de exportação entre US\$ 47,41 e US\$ 76,25, respectivamente – preços significativamente superiores aos verificados para terras-raras com ferro, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2: Exportações de lítio, nióbio e terras raras em Minas Gerais por fator agregado*, acumulado no período de 2006 a 2023 (Valores em US\$/FOB, quilogramas e percentuais).

NCM	Fator Agregado	Subsetor	Produto	US\$/FOB	Quilo/kg	US\$/kg
25309010	Básico	Lítio	Espodumênio	909.761.905	531.826.770	1,71
25309030		Terras raras	Minerais de metais das terras raras	114.235	225.146	0,51
26159000		Nióbio	Minérios de nióbio, tântalo ou vanádio, seus concentrados	410.385.970	9.874.069	41,56
72029300	Semimanufaturado	Nióbio	Ferronióbio	25.360.169.699	1.141.697.818	22,21
28053010	Manufaturado	Terras raras	Liga de cério, com teor de ferro inferior ou igual a 5 % [...]	48.725	17.840	2,73
28369100	Manufaturado	Lítio	Carbonatos de lítio	7.528.775	168.402	44,71
28461010	Manufaturado	Terras raras	Óxido cérico	915	12	76,25
36069000	Manufaturado	Terras raras	Ferrocério e outras ligas pirofosfóricas [...]	36.792	25.822	1,42
81129900	Manufaturado	Nióbio	Obras de gálio, háfnio, índio, nióbio, rênio e tálio	1.975.530.002	41.665.733	47,41
85076000	Manufaturado	Lítio	Acumuladores elétricos de íon de lítio	1.218.821	11.116	109,65
85065010	Manufaturado	Lítio	Pilhas e baterias de pilhas, elétricas, de lítio [...]	344.031	4.678	73,54
85065090	Manufaturado	Lítio	Outras pilhas e baterias de pilhas, elétricas, de lítio	10.824	388	27,90
Total				28.665.150.694	1.725.517.794	16,61

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025. Org. PEREIRA, L. A. G., 2025. Nota: *A classificação de produtos por fator agregado é dividida em três categorias: 1ª) **Produtos básicos** são constituídos por mercadorias com baixo grau de elaboração, com características próximas de produtos em estado *in natura*; 2ª) **Produtos semimanufaturados** são agrupados por mercadorias em fases intermediárias na cadeia produtiva e se encontram posicionados entre os produtos básicos e manufaturados, visto que os produtos não estão aptos para o consumo, e, por isso eles precisam ainda de processamento para transformá-los em bens de consumo; 3ª) **Produtos manufaturados** são oriundos de processos de transformações substantivas na cadeia de produtos básicos e de semimanufaturados, tornando as mercadorias mais elaboradas e aptas para o consumo final (Brasil, 2021).

As informações apresentadas mostraram que os produtos manufaturados são comercializados com preços mais elevados do que os produtos básicos, com exceção dos produtos manufaturados com mistura de ferro na composição e dos produtos básicos de nióbio. Ao serem comercializados no exterior, os produtos são transportados por diversos modais, interconectados por portos, aeroportos e pontos de fronteira. Na análise dos dados por Unidades da Receita Federal (URF), considerando o acumulado no período de 2006 a 2023, verificou-se que o porto do Rio de Janeiro (RJ) embarcou 50,2% das matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) em valor monetário e 39,5% em quantidade (quilogramas); o porto de Santos (SP) respondeu por 31,3% em valor monetário e 32,9% em quantidade; o porto de Itaguaí (RJ) escoou 17,2% em valor monetário e 17,8% em quantidade; os portos de Ilhéus (BA) e de Vitória (ES) representaram, respectivamente, 2,3% e 6,7% do volume em quilogramas. As demais URF representaram menos de 0,6% do valor monetário e da quantidade exportada em quilogramas. Essas informações podem ser visualizadas nas Figuras 3 e 4.



Figura 3 – Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) por Unidades da Receita Federal, acumulado no período de 2006 a 2023 (Valores em 1.000.000/US\$ - FOB e percentuais)

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025; IBGE, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.



Figura 4 – Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) por Unidades da Receita Federal, acumulado no período de 2006 a 2023 (Quantidades em 1.000.000/Quilo - kg e percentuais)

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025; IBGE, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

Portanto, o principal meio utilizado para o transporte das matérias-primas minerais exportadas foram os terminais portuários do Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP), Itaguaí (RJ), Vitória (ES) e Ilhéus (BA), que juntos movimentaram 99,7% do valor monetário e 99,2% da quantidade em quilogramas. Esses terminais desempenham um papel fundamental na rede logística que viabiliza o escoamento da produção nacional para o exterior. O transporte marítimo foi responsável por quase 100,0% do escoamento do lítio, do nióbio e das terras raras para o exterior – tanto em valor quanto em quantidade. Os demais modais de transportes internacionais, como o aéreo e o rodoviário, tiveram participação insignificante, como ilustrado no Gráfico 1.

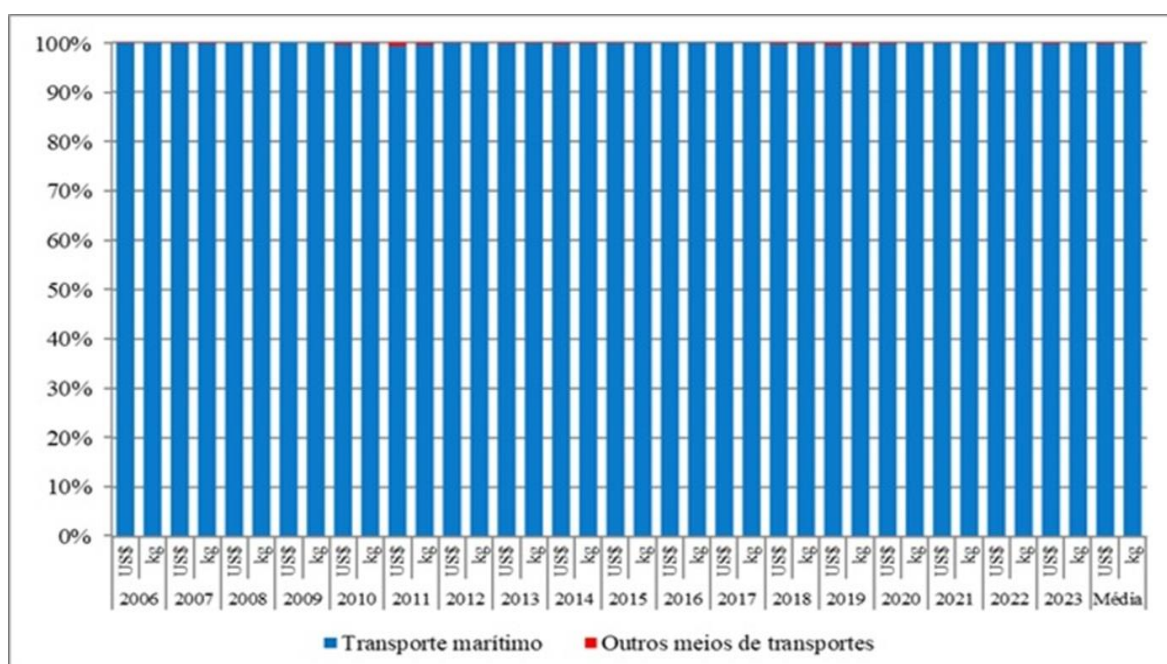


Gráfico 1 – Evolução das exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras) por vias de transportes internacionais, no período de 2003 a 2023 (percentuais)

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

As matérias-primas minerais críticas – lítio, nióbio e terras raras – produzidas em Minas Gerais e embarcadas, sobretudo pelos portos brasileiros, seguem para os seus respectivos mercados importadores. Quanto aos destinos das exportações, os dados das Figuras 5 e 6 mostram que, no acumulado de 2006 a 2023, os mercados asiáticos (exclusive o Oriente Médio) responderam por 54,2% do valor monetário e 67,9% da quantidade exportada, em quilogramas, de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) originadas em Minas Gerais. Para os mercados europeus, foram destinados 28,0% do valor monetário e 20,4% da quantidade em quilogramas. A América do Norte, por sua vez, representou 16,5% do valor monetário e 10,8% da quantidade exportada. Os demais mercados importaram menos de 0,6% em valor monetário e em quantidade de quilogramas.

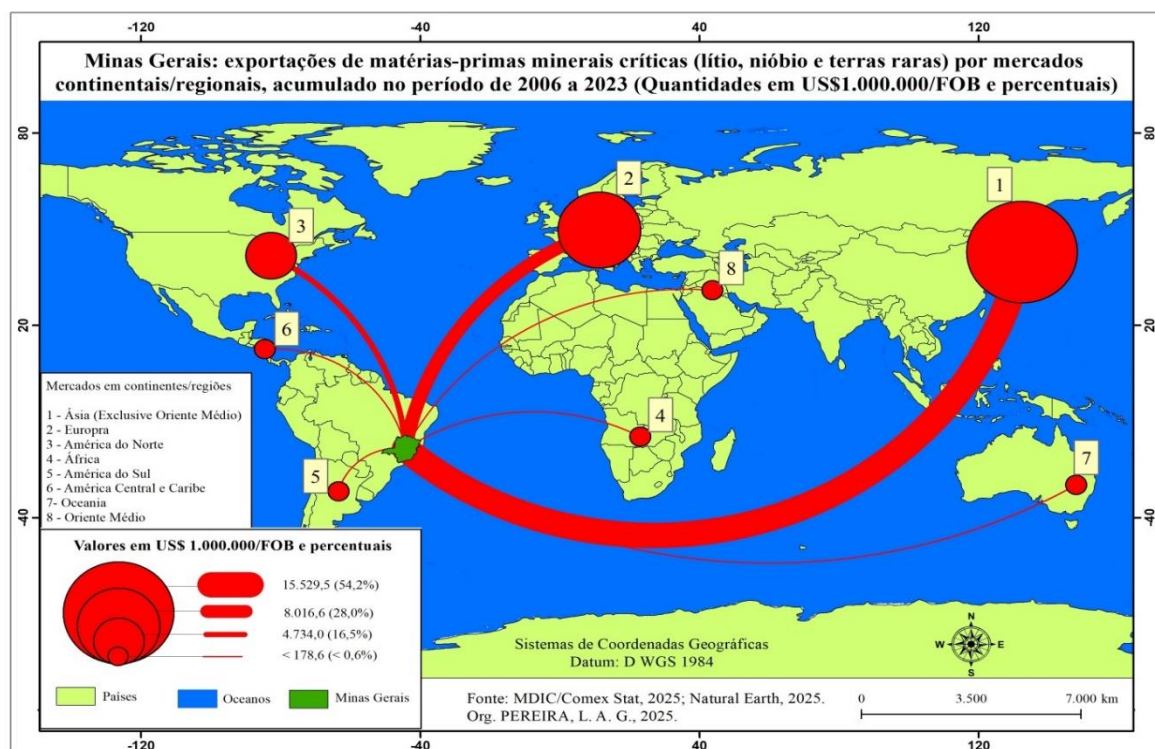


Figura 5 – Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) por mercados continentais/regionais, acumulado no período de 2006 a 2023 (Valores em US\$ 1.000.000/FOB e percentuais).

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025; Natural Earth, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

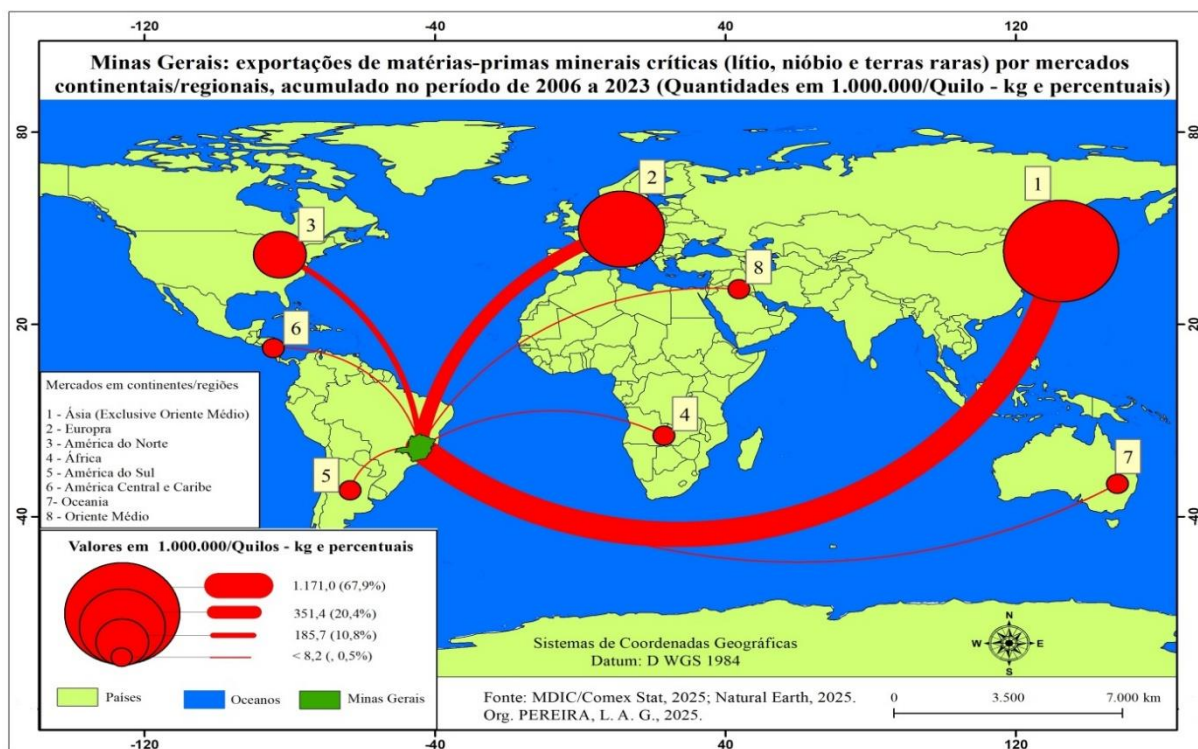


Figura 6 – Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) por mercados continentais/regionais, acumulado no período de 2006 a 2023 (quantidades em 1.000.000/quilo – kg e percentuais).

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025; Natural Earth, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

Ao considerar os fluxos de exportações de matérias-primas minerais críticas realizados pelo estado de Minas Gerais, percebe-se uma forte concentração nos mercados da Ásia, da Europa e da América do Norte, que responderam por 98,7% do valor monetário e 99,1% da quantidade exportada em quilogramas. Conforme ilustram as Figuras 7 e 8, no acumulado de 2006 a 2023, a China foi o principal destino dos produtos exportados, respondendo por 29,3% do valor monetário e 49,9% da quantidade em quilograma. Em seguida, destacam-se os Países Baixos (Holanda), com 25,9% do valor monetário e 18,7% da quantidade em quilogramas; Singapura, com 11,0% em valor monetário e 6,5% em quantidade; e os Estados Unidos, com 14,1% em valor monetário e 8,9% em quantidade. As exportações direcionadas ao Japão representaram 9,1% do valor monetário e 6,5% da quantidade. As exportações destinadas à Rússia, Canadá e Coreia do Sul se situaram na faixa entre 1,3% e 3,8% em valor monetário e entre 1,0% e 2,8% em quantidade. Os demais países, individualmente, absorveram menos de 0,7% em valor monetário e menos de 0,5% da quantidade exportada em quilograma.

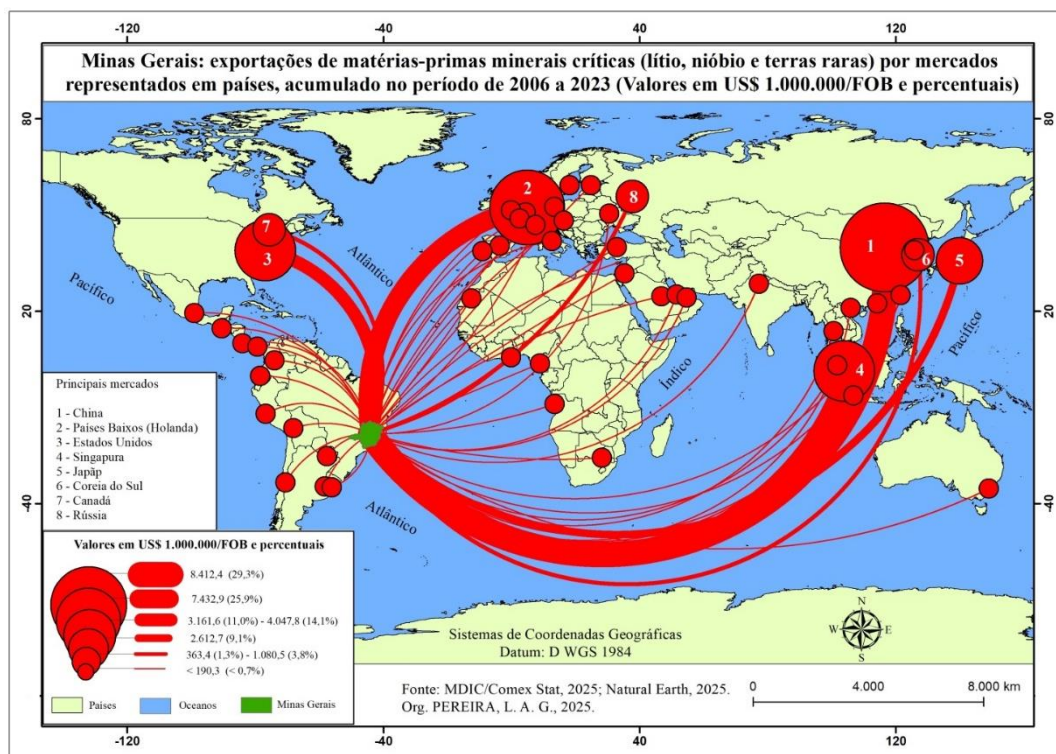


Figura 7 – Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) por mercados representados em países, acumulado no período de 2006 a 2023 (Valores em US\$ 1.000.000/FOB e percentuais).

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025; Natural Earth, 2025.

Org.: Pereira, L. A. G., 2025.

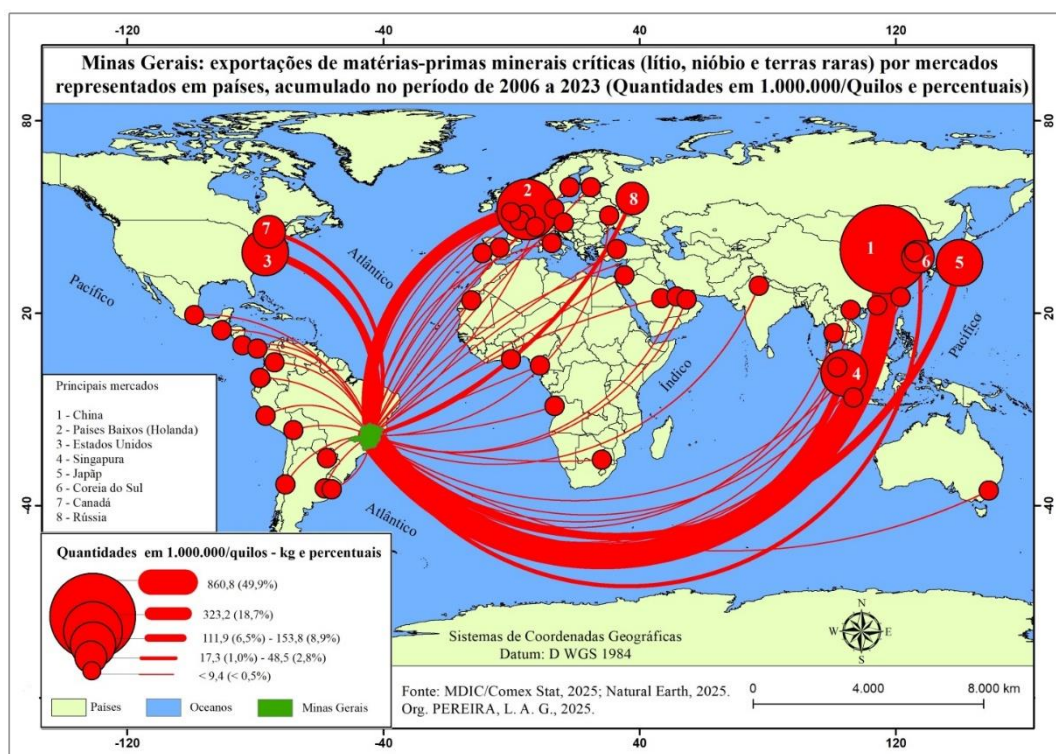


Figura 8 – Minas Gerais: exportações de matérias-primas minerais críticas (lítio, nióbio e terras raras) por mercados representados em países, acumulado no período de 2006 a 2023 (Quantidades em 1.000.000/Quilos e percentuais).

Fonte: MDIC/Comex Stat, 2025; Natural Earth, 2025.

Org.: PEREIRA, L. A. G., 2025.

Na (re)configuração territorial da distribuição espacial dos fluxos de matérias-primas minerais críticas para os mercados internacionais agrupados por continentes/regiões, os indicadores mostram uma forte concentração dos produtos exportados nos mercados asiáticos, europeus e norte-americanos. Ao se analisarem os fluxos de exportação por países, destaca-se a China como o principal mercado dos produtos exportados, especialmente daqueles *in natura* ou com baixo nível de processamento – o que é evidenciado pela correlação entre os preços de mercado (em valor US\$) e as quantidades (em quilogramas). Os Países Baixos (Holanda) ocupam a segunda posição como mercado das exportações, principalmente de produtos processados com valor agregado ligeiramente superior, com destaque para o porto de Roterdã como centro estratégico de entrada para os mercados europeus. Consequentemente, Estados Unidos, Japão, Singapura, Coreia do Sul, Canadá, Rússia, entre outros, também são destinos importantes das exportações das matérias-primas críticas minerais originadas em Minas Gerais.

Cabe salientar que a maior parte das exportações – em valor e em quantidade – se destina a países desenvolvidos, cujas indústrias são líderes em segmentos como eletrônico, automobilístico, aeroespacial e defesa, demandando intensamente essas matérias-primas. Ademais, as exigências geradas pela transição para uma economia verde e de baixo carbono igualmente impulsionam o consumo dessas *commodities* tecnológicas nessas economias.

O setor de matérias-primas críticas minerais – formado por lítio, nióbio e terras raras – concentrou suas exportações em bens semimanufaturados, que representaram 88,5% do valor monetário e 66,2% da quantidade em quilogramas. Já os produtos básicos, geralmente minérios com pouco processamento e baixo valor agregado, corresponderam a 4,6% do valor monetário e 31,4% da quantidade exportada. Por fim, os produtos manufaturados, que apresentam maior agregação de valor, representaram apenas 6,9% do valor monetário e 2,4% da quantidade em quilograma nas exportações do setor.

A estruturação e o funcionamento do setor mineral são caracterizados pela imensa dificuldade de aplicação dos pressupostos de concorrência perfeita como explicação para a interação entre oferta e demanda. Os prazos mais longos para a maturação dos investimentos, os riscos mais elevados, a exposição mais intensa ao mercado internacional e a forte presença do Estado no setor dificultam o ajuste automático entre oferta e demanda e comprometem a eficiência de funcionamento do mecanismo de preços.

O nacionalismo de recursos é um ingrediente adicional que amplifica a complexidade do setor. Essa abordagem rejeita as soluções de mercado para a exploração dos minerais e envolve a adoção de estratégias que vinculam a produção mineral à busca de um conjunto de metas de desenvolvimento nacional. Sob a perspectiva nacionalista, os recursos minerais se tornam a força impulsionadora do sistema econômico e a base de um amplo projeto de desenvolvimento econômico e social. Por essa razão, os governos passam a orientar o setor de mineração, regulando seus modos de interação com o restante da economia doméstica (Humphreys, 2014; Humphreys, 2015; Wilson, 2011; Wilson, 2015).

A China é um exemplo recente e notável do nacionalismo de recursos, evidenciado pela atuação deliberada do Estado para comandar a extração, beneficiamento, aplicação industrial – inclusive, investimentos em pesquisa e desenvolvimento para a descoberta de novos usos – e exportações de matérias-primas minerais, notadamente aquelas classificadas como críticas e/ou estratégicas. Essa ação abarca a concessão de generosos subsídios e incentivos, a manutenção artificialmente reduzida dos preços de insumos (como energia e combustíveis), o controle da entrada de capital estrangeiro no setor e a imposição de restrições às exportações.

Ademais, a bem-sucedida política industrial chinesa manteve uma vinculação muito estreita com a política mineral nacional. Contudo, essa estratégia agressiva (e bem-sucedida) que culminou com o forte incremento da produção e do controle do mercado mundial de importantes matérias-primas minerais, intensifica as incertezas quanto à segurança do abastecimento desses recursos considerados críticos e essenciais para o funcionamento e a expansão da indústria em várias regiões do mundo, incluindo o Brasil.

No contexto da ampliação da importância dos minerais para a produção industrial – especialmente nos segmentos vinculados às tecnologias emergentes – e da multiplicação de novas aplicações, as experiências internacionais, com destaque para a chinesa, trazem evidências irrefutáveis da necessidade de o Brasil mobilizar esforços para fomentar a produção e o aproveitamento de matérias-primas minerais críticas, visando à redução da dependência das importações.

Apesar de o país ainda apresentar atraso relativo na abordagem adequada desse desafio, iniciativas recentes sinalizam que, ao menos, o assunto começa a conquistar atenção do Governo Federal, do Congresso Nacional e de representantes do setor. Em 22 de janeiro de 2024, no terceiro mandato do presidente Lula, foi lançada a **Nova Política Industrial Brasileira** – também chamada de **Nova Indústria Brasil (NIB)**. Trata-se de um plano estratégico do governo federal cujo propósito é reindustrializar o país, estimulando o desenvolvimento produtivo e tecnológico, ampliando a competitividade da indústria nacional, norteando os investimentos, promovendo melhores empregos e impulsionando a inserção qualificada do Brasil no mercado internacional. A NIB contempla o período de 2024 a 2033 e está estruturada em torno de seis grandes missões que estruturam o desenvolvimento industrial em áreas estratégicas, como agroindústria, saúde, infraestrutura urbana, digitalização, bioeconomia e defesa (Brasil, 2024).

O Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI) foi encarregado da formulação e aprovação das diretrizes da NIB. Presidido pelo Vice-Presidente da República, Geraldo Alckmin, o CNDI conta com a participação de representantes de diversos setores, entre eles o diretor-presidente do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), Raul Jungmann. Jungmann defende que a neoindustrialização do Brasil impõe a necessidade de incorporar a economia de baixo carbono, em um contexto de descarbonização e de transição energética – processos que demandam os minerais considerados críticos, como vanádio, minério de ferro, bauxita (alumínio), cobre, tântalo, nióbio, lítio, terras raras, entre outros (IBRAM, 2025). Durante o lançamento oficial da NIB, o presidente do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Aloizio Mercadante, destacou o papel estratégico do IBRAM como parceiro para estruturar um fundo voltado ao financiamento da produção desses minerais, essenciais para viabilizar a transição energética.

No Congresso Nacional, estão em curso ações destinadas à formulação e implementação de políticas públicas para minerais críticos e estratégicos. Entre elas destaca-se o Projeto de Lei n.º 2.780/2024, de autoria do deputado Zé Silva (MG), que institui a Política Nacional de Minerais Críticos e Estratégicos (PNMCE) e cria o Comitê de Minerais Críticos e Estratégicos (CMCE), vinculado ao Conselho Nacional de Política Mineral. Segundo o PL, minerais críticos são constituídos por matérias-primas essenciais ao suprimento de setores-chave da economia brasileira,

e minerais estratégicos se referem àqueles com papel decisivo na política de exportação, contribuindo para a competitividade e para o superávit da balança comercial.

Em 1º de julho de 2025, foi realizada audiência pública pela Comissão de Assuntos Econômicos do Senado Federal sobre o tema. Na ocasião, Raul Jungmann destacou o baixo nível de conhecimento geológico do território brasileiro – apenas 27% mapeado, em contraste com os 90% já cobertos por levantamentos no Canadá e nos Estados Unidos. O representante do Ministério de Minas e Energia, Rodrigo Toledo, confirmou que a Política Nacional de Minerais Críticos será enviada ao Congresso ainda em 2025 (Brasil/Senado Federal, 2025).

Portanto, a implementação efetiva dessa política, articulada com os objetivos da NIB, pode abrir oportunidades concretas para a ampliação dos investimentos em identificação e mapeamento de depósitos minerais, na extração e processamento, e na produção de produtos acabados que utilizam intensivamente matérias-primas críticas. A referida política teria como efeitos a redução da dependência externa e a expansão das exportações de produtos com maior valor agregado, gerando, dessa forma, novos horizontes para a indústria e para as economias das regiões potencialmente produtoras de lítio, nióbio e terras raras, como o Norte de Minas, Vales do Jequitinhonha e do Mucuri, Campos das Vertentes, Sul e Sudoeste de Minas, além do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As matérias-primas minerais críticas são essenciais no atendimento das demandas da cadeia produtiva das indústrias eletroeletrônica, automobilística, aeroespacial, de energias renováveis e de defesa. O estado de Minas Gerais vem se posicionando como importante produtor nacional de minerais como lítio, nióbio e terras-raras – classificados como matérias-primas minerais críticas, sobretudo pelos Estados Unidos e pelos países da União Europeia. Parte expressiva da produção mineira é destinada ao exterior. O processo de exportação exige infraestrutura e serviços de transportes em diversas modalidades, para viabilizar o escoamento dos produtos desde o local de extração/processamento até os pontos de conexão com o mercado internacional, como portos, aeroportos, pontos de fronteira, portos secos, entre outros.

Entre as matérias-primas críticas minerais produzidas e exportadas por Minas Gerais, os produtos à base de nióbio são os que apresentam maior inserção internacional, com destaque para o município de Araxá, principal polo de produção e de processamento. O segmento de lítio está em fase de expansão no estado, com investimentos na cadeia de produção e processamento em Araçuaí/Itinga/Divisa Alegre e Nazareno/São João del-Rei. Os elementos de terras raras, por sua vez, ainda apresentam pouca participação nas exportações, especialmente em produtos

manufaturados. Porém, encontram-se em uma fase incipiente de expansão, com potencialidade de crescimento em Araxá, Tapira e Poços de Caldas. As exportações de matérias-primas críticas minerais se concentraram em produtos semimanufaturados à base de nióbio, seguidos pelos produtos básicos e manufaturados também oriundos dos segmentos de nióbio, lítio e terras raras.

A cadeia de distribuição das matérias-primas minerais críticas envolve uma escala espacial que se estende do local de extração/processamento até os recintos aduaneiros, com o uso predominante do transporte rodoviário. As conexões com os destinos internacionais concentram as movimentações de cargas em portos como Rio de Janeiro, Santos, Itaguaí, Vitória, Ilhéus, entre outros. O uso preponderante do transporte marítimo de cargas para o escoamento da produção de Minas Gerais justifica-se por ser o meio de transporte mais adequado à movimentação de grandes volumes – como produtos minerais – e com maior interconexão com o mercado internacional, resultando em custos menores de frete e maior eficiência logística. Além do transporte marítimo, as empresas exportadoras recorrem ao transporte aéreo, principalmente para pequenas cargas que demandam urgência nas entregas, bem como ao transporte rodoviário, para o deslocamento de mercadorias a países da América do Sul que possuem fronteira terrestre com o Brasil.

Os mercados compradores das matérias-primas minerais críticas oriundas de Minas Gerais se concentram na Ásia, Europa e América do Norte, as quais são as três regiões do mundo que englobam países como China, Japão, Singapura, Coreia do Sul, Rússia, Países Baixos (Holanda), Estados Unidos e Canadá, cujas indústrias são grandes consumidoras desses insumos – especialmente pela importância estratégica dos segmentos eletroeletrônico, automobilístico, aeroespacial, de energias renováveis e de defesa. O forte crescimento desses setores nas últimas décadas confere à cadeia produtiva das matérias-primas críticas minerais de Minas Gerais (e do Brasil) um imenso potencial de expansão e aumento das exportações.

Em Minas Gerais, a ampliação das exportações de matérias-primas minerais críticas dependerá da expansão dos investimentos na cadeia produtiva e da abertura de novos mercados, por meio de uma diplomacia comercial agressiva. Para tanto, são fundamentais o desenho e a implementação de uma política pública específica para o setor, destinada a incrementar o investimento no mapeamento geológico do território nacional. Além disso, é necessário estimular a instalação e/ou expansão de indústrias de processamento mineral, com foco na agregação de valor aos produtos exportados, na geração de empregos qualificados, no investimento em pesquisa, desenvolvimento e inovação, na ampliação da integração dos empreendimentos com a economia local e na adoção de medidas para mitigar os impactos ambientais e compensar as comunidades negativamente atingidas.

No âmbito da referida política, é estratégico o incentivo à produção nacional de produtos e componentes eletroeletrônicos, automobilísticos e de transporte, aeroespaciais, de energias renováveis e de defesa, diminuindo, assim, a dependência de importações e ampliando o mercado interno para a produção das matérias-primas minerais críticas. É igualmente primordial a realização de investimentos em infraestrutura de transportes, para melhorar o escoamento da produção em um cenário de acirramento da competição no mercado internacional.

Por fim, a formulação de uma política pública nacional, integrada à Nova Indústria Brasil (NIB), direcionada ao segmento de minerais críticos e estratégicos, representa uma oportunidade para o Brasil reduzir sua dependência externa, fortalecer sua base industrial e ampliar a segurança no abastecimento de matérias-primas essenciais à transição energética e à inovação tecnológica nos mercados interno e externo. Ao integrar esforços governamentais, legislativos e institucionais, o país poderá avançar no mapeamento, na exploração e no beneficiamento desses recursos minerais. Essa política tem o potencial de promover o desenvolvimento socioeconômico nacional e regional, especialmente em áreas com elevado potencial mineral do estado de Minas Gerais.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro no financiamento de projeto de pesquisa e por conceder a bolsa para Luiz Andrei Gonçalves Pereira.

REFERÊNCIAS

ACHZET, B.; HELBIG, C. How to evaluate raw material supply risks – an overview. **Resources Policy**, v. 38, n. 4, p. 435-447, 2013.

AFGOUNI; K.; SILVA SÁ, J. H. Minério de lítio no Brasil. **Mineração e Metalurgia**, v. 41, n. 392, p. 60-66, 1977.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Produção mineral (exceto água mineral) por município em 2022**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/anm-divulga-dados-de-producao-mineral-por-municipio>. Acesso em: 15 mai. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO – ANM. **Estatística de Economia Mineral**. Brasília: ANM, 2025. Disponível em: <https://p3m.sgb.gov.br/estatisticas.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

ALVES, A.; COUTINHO, A. R. The Evolution of the Niobium Production in Brazil. **Materials Research**, v. 18, n. 1, p. 106-112, 2015.

BRAGA, P. F. A.; SAMPAIO, J. A. Lítio. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais: usos e especificações**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

BRAGA, P. F. A.; FRANÇA, S. C. A. **Lítio: um mineral estratégico**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013.

BGS - BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Mineral commodity profiles**. 2025. Disponível em: <https://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/minerals/commodity-profiles/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

BARATA SALGUEIRO, T. **Do comércio à distribuição: roteiro de uma mudança**. Oeiras: Celta Editora, 1996.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS – MDIC. **Nova Indústria Brasil: forte, transformadora e sustentável**. Brasília: MDIC, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/janeiro/brasil-ganha-nova-politica-industrial-com-metas-e-aco-es-para-o-desenvolvimento-ate-2033>. Acesso em: 10 jul. 25.

BRASIL. SENADO FEDERAL. **Brasil deve acelerar política de minerais críticos, alertam especialistas**. 2025. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2025/07/01/brasil-deve-acelerar-politica-de-minerais-criticos-alertam-especialistas>. Acesso em: 10 jul. 2025.

CASTRO, F. F.; PEITER, C. C.; GÓES, G. S. Minerais estratégicos e críticos: uma visão internacional e da política mineral brasileira. In: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicar – IPEA. **Texto para discussão**. Brasília, Rio de Janeiro: IPEA, 2022.

CASTRO, N. Comércio interno e custos de transportes. In: MARTINS, R. S.; CAIXETA-FILHO, J. V. (Org.). **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2001.

CHAVES, M. L. S. C.; DIAS, C. H.; CARDOSO, D. K. R. Lítio. In: PEDROSA-SOARES, A. C.; VOLL, E.; CUNHA, E. C. (Coord.). **Recursos minerais de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Codemig, 2018.

CBL - COMPANHIA BRASILEIRA DE LÍTIO – CBL. **Nossa história**. 2025. Disponível em: <https://www.cblitio.com.br/a-cbl>. Acesso em: 15 jun. 2025.

CZARNOTA, K.; BRITT, A. F. A review of critical mineral resources in Australia. **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 71, n. 8, p. 1016-1049, 2024.

DIONORI, F.; ZEHTABCHI, M. The Role of Transport-Related Innovation in the Mining Sector. In: DALY, A.; HUMPHREYS, D.; RAFFO, J.; VALACCHI, G. (Ed.). **Global Challenges for Innovation in Mining Industries**. New York: Cambridge University Press, 2022.

EVANS, K. Lithium. In: GUNN, G. **Critical Metals Handbook**. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.

FRANCO, L. **Reservas de minerais em Minas Gerais**. Jornal Hoje. Rede Globo, Lagoa Santa (MG), vídeo: 20min03s. 25 jul. 2025. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/13788741>. Acesso em: 25 jun. 2025.

FRANCO, R. R. Lepidolita: ocorrências e usos. **Engenharia, mineração e metalurgia**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 70, p. 149-151, 1947.

GONÇALVES, R. J. A. F.; MILANEZ, B. A territorialização da rede global extrativa do nióbio em Goiás, Brasil. **Ateliê Geográfico**, Goiânia, v. 14, n. 2, p. 142-162, 2020.

- GRAEDEL, T. E.; GUNN, G.; ESPINOZA, L. T. Metal resources, use and criticality. In: GUNN, G. **Critical Metals Handbook**. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- HAGLUND, D. G. Strategic minerals: A conceptual analysis. **Resources Policy**, v. 10, n. 3, p. 146-152, 1984.
- HANSON, J. L. **The structure of modern commerce**. London: Macdonald & Evans Ltd, 1970. 264p.
- HAYE, S. M.; MCCULLOUGH, E. A. Critical minerals: A review of elemental trends in comprehensive criticality studies. **Resources Policy**, v. 59, p. 192-199, 2018.
- HOPE, R. **Economic Geography**. London: George Philip and Son Limited, 1965.
- HUMPHREYS, D. The mining industry and the supply of critical minerals. In: GUNN, G. **Critical Metals Handbook**. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- HUMPHREYS, D. **The Remaking of the Mining Industry**. New York: Palgrave Macmillan, 2015. 268p.
- IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Mineração é estratégica para a nova política industrial brasileira**. 2025. Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/mineracao-e-estrategica-para-a-nova-politica-industrial-brasileira>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas territoriais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias>. Acesso em: 25 mai. 2025.
- KALANTZAKOS, S. The Geopolitics of Critical Minerals. **IAI - Istituto Affari Internazionali**, [S.l.], v. 19, p. 1-15, 2019.
- KLINGER, J. M. A historical geography of rare earth elements: From discovery to the atomic age. **The Extractive Industries and Society**, v. 2, n. 3, p. 572-580, 2015.
- LAFER, H. Areias monazíticas. **Mineração e Metalurgia**, v. 14, n. 84, p. 155-160, 1950.
- LINNEN, R.; TRUEMAN, D. L.; BURT, R. Tantalum and niobium. In: GUNN, G. **Critical Metals Handbook**. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd, 2014.
- MAGALHÃES, P. S. B. **Transporte marítimo: cargas, navios, portos e terminais**. São Paulo: Aduaneiras, 2011.
- MARTINS, R. S.; CAIXETA-FILHO, J. V. Evolução histórica da gestão logística do transporte de cargas. In: MARTINS, R. S.; CAIXETA-FILHO, J. V. (Org.). **Gestão logística do transporte de cargas**. São Paulo: Atlas, 2001.
- MELO, F. R. A geopolítica das terras raras. **Revista Carta Internacional**, Belo Horizonte, v. 12, n. 2, p. 219-243, 2017.

MIRANDA, J. How China Did not Transform into a Market Economy. In: NEDUMPARA, J. J.; ZHOU, W. (Ed.). **Non-market Economies in the Global Trading System - The Special Case of China**. Singapore: Springer, 2018.

MDIC - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. COMEX STAT. **Dados gerais:** exportação. 2025. Disponível em: <https://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 25 abr. 2025.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **BIT - Banco de Informações de Transportes:** Mapas. 2025. Acesso em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bit-mapas>. Acesso em: 25 mai. 2025.

NATURAL EARTH. **Cultural Vectors:** counties. 2025. Disponível em: <https://www.naturalearthdata.com/downloads/10m-cultural-vectors/>. Acesso em: 10 mai. 2025.

NIINISTÖ, L. Industrial Applications of the Rare Earths, an Overview. **Inorganica Chimica Acta**, v. 140, p. 339-343, 1987.

PEREIRA, L. A. G. **Logística de transportes e comércio internacional:** os fluxos das exportações e das importações de mercadorias no norte de Minas Gerais. 2015. 219 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

POPE, N.; SMITH, P. **Brazil's critical and strategic minerals in a changing world**. Rio de Janeiro: Igarapé Institute, 2023. 51p.

PRINA CERAI, A. Geography of control: a deep dive assessment on criticality and lithium supply chain. **Mineral Economics**, v. 37, p. 499–546, 2024.

ROJAS, P. **Introdução à Logística Portuária e Noções de Comércio Exterior**. Porto Alegre: Bookman, 2014. 212p.

ROSENTAL, S. Terras raras. In: LUZ, A. B.; LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008.

SANTOS, L. L.; BIESEKI, L.; BERTOLINI, L. C.; OLIVEIRA, M. S. M. de. NASCIMENTO, R. M. do; PERGHER, S. B. C.; CAMPOS, V. M. J. S.; SANTOS, W. H dos. **Valorização da cadeia produtiva do lítio:** alternativas para extração de lítio do espodumênio. Natal: EDUFRN, 2020. 169p.

SEER, H. J.; MORAES, L. C. Nióbio. In: PEDROSA-SOARES, A. C.; VOLL, E.; CUNHA, E. C. (Coord.). **Recursos minerais de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Codemig, 2018.

SILVA JUNIOR, A. F.; CAMPOS, M. F. Relevância das terras raras para o setor energético. **Holos**, [S.l.], v. 1, p. 350-363, 2016.

SOUSA FILHO, P. C.; SERRA, O. A. Terras raras no Brasil: histórico, produção e perspectivas. **Química Nova**, v. 37, n. 4, p. 753-760, 2014.

SPENCER, J. F. **The metals of the rare earths**. London: Longmans, Green and Co., 1919.

STARR, J. T.; SLACK, B. Porto como porta de entrada: discutindo a concepção tradicional. In: SILVA, G.; COCCO, G. **Cidades e portos: os espaços da globalização**. Rio de Janeiro: DP&A, 1999.

SU, Y.; HU, D. Global Dynamics and Reflections on Critical Minerals. **E3S Web Conferences**, v. 352, p. 1-5, 2022.

THOMAN, R. S.; CONKLING, E. C.; YEATES, M. H. **The Geography of economic activity**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, Inc., 1968. 672p.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **List of critical minerals**. 2022. Disponível em: <https://www.usgs.gov/news/national-news-release/us-geological-survey-releases-2022-list-critical-minerals>. Acesso em: 15 mai. 2025.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Global Distribution of Selected Mines, Deposits, and Districts of Critical Minerals**. 2025a. Disponível em: <https://www.sciencebase.gov/catalog/item/594d3c8ee4b062508e39b332>. Acesso em: 08 jun. 2025.

USGS - UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Commodity Statistics and Information**. 2025b. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/commodity-statistics-and-information>. Acesso em: 08 jun. 2025.

WILSON, J. D. Resource nationalism or resource liberalism? Explaining Australia's approach to Chinese investment in its minerals sector. **Australian Journal of International Affairs**, v. 65, n. 3, p. 283-304, 2011.

WILSON, J. D. Understanding resource nationalism: economic dynamics and political institutions. **Contemporary Politics**, v. 21, n. 4, p. 399-416, 2015.

ZHAO, P.; ZHAO, T. The relationships between geopolitics and global critical minerals shipping: A literature review. **Ocean & Coastal Management**, v. 262, p. 1-11, 2025.