

Victor Eduardo Kalil Gaspar Filho

O Nexo Minerais Críticos Não-Energéticos e Segurança Energética: a transição da segurança energética e o caso dos Estados Unidos

Rio de Janeiro

2021

Victor Eduardo Kalil Gaspar Filho

O Nexo Minerais Críticos Não-Energéticos e Segurança Energética: a transição da segurança energética e o caso dos Estados Unidos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Estudos Marítimos da Escola de Guerra Naval, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Estudos Marítimos.

Área de Concentração: Segurança, Defesa e Estratégia Marítima.

Orientador: Prof. Dr. Thauan dos Santos

Rio de Janeiro

2021

G249n Gaspar Filho, Victor Eduardo Kalil

O nexu minerais críticos não energéticos e segurança energética: a transição da segurança energética e o caso dos Estados Unidos. / Victor Eduardo Kalil Gaspar Filho.- Rio de Janeiro, 2020.

130 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Escola de Guerra Naval, Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos (PPGEM), 2020.

Orientador: Thauan dos Santos

Bibliografia: f. 123- 130

1. Minerais críticos. 2. Segurança energética – Estados Unidos. 3. Terras raras-elementos. 4. Transição energética. I. Escola de Guerra Naval (Brasil). II. Título.

CDD 333.85

Victor Eduardo Kalil Gaspar Filho

O Nexo Minerais Críticos Não-Energéticos e Segurança Energética: a transição da segurança energética e o caso dos Estados Unidos

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Estudos Marítimos da Escola de Guerra Naval, como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Estudos Marítimos.  
Área de Concentração em Segurança, Defesa e Estratégia Marítima.

Aprovada em 18 de março de 2021.

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. Thauan dos Santos  
Doutor da Escola de Guerra Naval

---

Prof. Dr. Marcelo Mello Valença  
Doutor da Escola de Guerra Naval

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Monica Esmeralda Bruckmann Maynetto  
Doutora da Universidade Federal do Rio de Janeiro

---

Prof. Dr. Bernardo Salgado Rodrigues  
Doutor da Universidade Federal do Rio de Janeiro

# DEDICATÓRIA

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

A Claudia, Victor e Ana, por todo amor e carinho recebido ao longo da vida. Por estarem sempre juntos comigo e desejarem o meu melhor. Por toda educação que recebi em casa e por todo apoio que me deram em cada etapa de minha formação. Pelo amparo recebido durante esse tempo difícil em que ainda assim pude concluir meu trabalho de dissertação.

A Neide e Antônio Pedro, meus avós, também pelo amor e por participarem de minha formação ao longo de todos esses anos. Por serem meu primeiro e maior exemplo da conciliação entre o que se desenvolve na academia e o que é trabalhado no mundo real. Por me darem motivos para me orgulhar do que vocês construíram juntos.

A Henrique Linhares e Matheus Guarino, pela amizade de vocês ao longo de todos esses anos. Hoje, como alunos de pós-graduação, seguimos dividindo nossas experiências ainda que em áreas distintas. Continuar a acompanharmos juntos as nossas conquistas é algo verdadeiramente inestimável.

A Lucas Gabrich, pelo nosso convívio desde sempre. Por estar sempre presente e ser tão companheiro. A Ivo Wilson, Mariana Lima, Carol Costa e Bruna Alves pela amizade de todos vocês. Por nos mantermos próximos ainda que virtualmente durante o período de quarentena. Por tornarem esse momento de quarentena mais leve e dividirem essa etapa comigo.

A Franco Alencastro, para além de nossa amizade, por nossos debates e trocas sempre frutíferos. Por sempre me ajudar com todas as questões e pelos seus sempre pertinentes pontos de vista. Por me apresentar à EGN e ao NAC; pela nossa parceria desde a graduação.

Ao professor Thauan Santos, por toda a atenção dada durante o mestrado. Sou extremamente grato por sua orientação, motivação e incentivo. Pela sua disponibilidade em me auxiliar e atenção dada a cada texto entregue. Por acreditar em mim ao participarmos de eventos juntos e por me convidar para o LSC em meu primeiro ano de mestrado. Por participar do meu percurso da pós-graduação desde antes de meu ingresso, quando me motivou a me inscrever para o processo seletivo após ter sido meu professor na graduação do IRI/PUC-Rio.

Ao Comandante Leonardo Mattos, por me receber no primeiro grupo de pesquisa que já participei. Este trabalho de dissertação teve início em um texto escrito para o Boletim Geocorrente em 2018, em que abordei pela primeira vez o tema de minerais críticos. O ambiente de pesquisa do NAC fez com que eu decidisse por entrar para o meio acadêmico.

Agradeço pela confiança em mim, por me encorajar a cursar o PPGEM, por todo o conhecimento compartilhado e todas as oportunidades oferecidas.

À Professora Fernanda Delgado, por nossa colaboração continuada que rende frutos de pesquisa. Por ser sempre atenciosa, me incentivar e me ajudar a crescer como pesquisador.

À Professora Sabrina Medeiros, pela riqueza dos debates conduzidos em sala de aula. Por seu estímulo a consolidar o Alumni-PPGEM. Pela sua contribuição ao Programa e por nossa colaboração no ERABED-SE.

Ao Comandante Claudio Corrêa, por me receber no LSC em 2019 e por ser sempre zeloso ao buscar promover o melhor ambiente de pesquisa em nosso laboratório. Pela constante ambição em promover novas iniciativas buscando a divulgação do conhecimento científico.

A pessoas que encontrei em meu caminho com as quais tive trocas valiosas, como Jéssica Barreto, João Victor Marques, Mariana Kalil, Rita Feodrippe, Carolina Ambinder, Marcelle Bessa, Leonardo Vichi e tantos outros.

À equipe do Alumni-PPGEM pelo precioso trabalho que construímos juntos.

A Valdir e Marisol, por serem sempre solícitos na secretaria do curso.

À Fundação de Estudos do Mar, pelo financiamento de minha pesquisa.

À banca examinadora deste trabalho, pelos excelentes comentários que me endereçaram em minha qualificação. Por se dedicarem a avaliar os meus escritos e me auxiliarem a aprimorar os resultados de minha pesquisa.

À Badra, pelo nosso amor, por estar sempre presente e por nos querer bem. Por ser quem me ouve e traz paz nas circunstâncias mais inquietantes. Por me fazer sempre feliz e viver tudo isso ao meu lado.

## EPÍGRAFE

“O Oriente Médio tem petróleo. A China tem terras-raras.”  
(Deng Xiaoping, 1987)

## RESUMO

Buscamos neste trabalho estudar os minerais críticos sob a ótica da teoria de segurança energética, tendo como ator de referência os Estados Unidos. Estabelecemos as terras-raras como parâmetro de pesquisa sobre minerais críticos não-energéticos e procuramos identificar a relação existente entre a segurança energética e a necessidade destes minerais. O método aplicado na obra é a análise documental seguido de um estudo de caso. Através de pesquisa investigativa, empreendemos uma revisão bibliográfica acerca dos estudos de segurança tradicionais e seu desdobramento no campo da segurança energética. Analisamos documentos governamentais do Executivo Federal estadunidense voltados para o setor de minerais críticos no recorte temporal de vinte anos, cobrindo o período 2001-2020. Por meio de dados primários de agências especializadas no setor energético como a IRENA, o GEI e a EIA, buscamos identificar tendências da transição energética para os Estados Unidos. Partimos da hipótese de que a transição energética, em que pese sua consequente redução da dependência de importações de petróleo, ocasionaria uma transferência dessa dependência para outros países, fenômeno que denominamos “transição da segurança energética”. Estabelecemos que, diferentemente do habitualmente abordado pela literatura *mainstream*, a abordagem do ciclo de vida dos produtos deve ser realizada de maneira holística. Nos resultados, identificamos que a transição energética para matrizes limpas possui como fator limitante a disponibilidade de minerais não-energéticos a um nível de preços acessível. Desta forma, propomos a existência de um nexo entre segurança energética e minerais críticos não-energéticos. Para além disso, identificamos que a transição energética de um Estado pode resultar na dependência de novos atores externos como fornecedores de minerais críticos, provocando a transição da segurança energética.

**Palavras-chave:** Segurança Energética; Minerais Críticos; Transição Energética; Terras-Raras; Estados Unidos.

## ABSTRACT

We seek in this work to study critical minerals from the energy security theory standpoint, defining the United States as the reference actor. We have established the rare-earths as this research's parameter on non-fuel critical minerals and have sought to identify the existing relationship between energy security and the need for those minerals. The method applied in the work is a document analysis followed by a case study. Through investigative research, we undertook a bibliographic review about traditional security studies and their unfolding into the field of energy security. We have analyzed administrative documents from the U.S. Federal Executive aimed at the minerals sector in the twenty-year time frame, covering the period between 2001 and 2020. Through primary data from specialized agencies in the energy sector such as IRENA, GEI, and EIA, we seek to identify trends in energy generation for the United States. We raise the hypothesis that a shift of dependence on oil, despite the reduction of dependence on oil imports, would possibly cause a transfer of this dependence to other countries, a phenomenon which we call “energy security transition”. We established that, unlike what is usually addressed by mainstream literature, a product's life cycle approach should be carried out holistically. In the results, we identified that an energy transition to clean matrices has as a limiting factor the availability of non-energetic minerals at an affordable price level. In this way, we propose the existence of a link between energy security and non-energy minerals. Furthermore, it identifies that a state's energy transition can result in the dependence of new external actors as external suppliers of minerals, causing an energy security transition.

**Keywords:** Energy Security; Critical Minerals; Energy Transition; Rare-Earths; United States.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Quadro 1 - Dimensões dos estudos de segurança energética, segundo Santos (2018).
- Quadro 2 - Componentes da segurança energética, segundo Sovacool e Mukherjee (2011).
- Quadro 3 - Critérios definidores de segurança energética, segundo Ang *et al.* (2015).
- Quadro 4 - Minerais essenciais às energias limpas.
- Quadro 5 - Documentos de cada administração contemplados no presente capítulo
- Quadro 6 - Definições de minerais críticos presentes nos documentos abordados
- Quadro 7 - Definições de cadeias produtivas presentes nos documentos abordados
- Gráfico 1 - Reservas de terras-raras (em toneladas) em 2020 de acordo com a USGS.
- Gráfico 2 - Produção internacional (em toneladas) de terras-raras em 2020.
- Gráfico 3 - Preço em dólares por quilo de terras-raras com valores inferiores a US\$ 800.
- Gráfico 4 - Preço em dólares por quilo de terras-raras com valores superiores a US\$ 800.
- Gráfico 5 - Importações de terras-raras pelos Estados Unidos em toneladas entre 2001 e 2017.
- Gráfico 6 - Importações de terras-raras pelos Estados Unidos em dólares entre 2001 e 2017.
- Gráfico 7 - Exportações de terras-raras pelos Estados Unidos em toneladas e dólares.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Reservas de terras-raras por países de 2001 a 2020.

Tabela 2 - Produção internacional de terras-raras (em toneladas) de 2001 a 2020.

Tabela 3 - Estoque nacional de terras-raras (em toneladas) e requisições feitas nos anos de 2017 a 2021.

Tabela 4 - Aplicações industriais das terras-raras nos Estados Unidos de 2001 a 2020.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BID	Base industrial de defesa
BLM	<i>Bureau of Land Management</i>
BOEM	<i>Bureau of Ocean Energy Management, Regulation and Enforcement</i>
C&T	Ciência e tecnologia
CENR	<i>Committee on Environment and Natural Resources</i>
CENRS	<i>Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability</i>
CEQ	<i>Council on Environmental Quality</i>
CSMSC	<i>Critical and Strategic Mineral Supply Chains</i>
DoD	<i>Department of Defense</i> (Departamento de Defesa)
DOE	<i>Department of Energy</i> (Departamento de Energia)
DOI	<i>Department of the Interior</i>
EEC	Elemento energeticamente crítico
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
ENR	<i>Bureau of Energy Resources</i>
ER	Energia renovável/energias renováveis
EUA	Estados Unidos da América
FA	Forças Armadas
FAST	<i>Fixing America's Surface Transportation</i>
FY	<i>Fiscal Year</i>
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNL	Gás natural liquefeito
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEEPA	<i>International Emergency Economic Powers Act</i>
MMS	<i>Minerals Management Service</i>
MoU	<i>Memorandum of Understanding</i> (memorando de entendimento)
NDC	<i>Nationally determined contributions</i> (contribuições nacionalmente determinadas)
NDS	<i>National Defense Stockpile</i>
NEA	<i>National Emergencies Act</i>
NEPA	<i>National Environmental Policy Act</i>
NRC	<i>National Resources Council</i>

NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
NSTC	<i>National Science and Technology Council</i>
NAS	<i>National Academy of Sciences</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
P&G	Petróleo e gás
P&D	Pesquisa e desenvolvimento
PIB	Produto Interno Bruto
PV	Fotovoltaica
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMC	Organização Mundial do Comércio
REEs	<i>Rare-earth elements</i> (elementos de terras-raras)
REO	<i>Rare-earth oxide</i> (óxido de terras-raras)
RFI	<i>Request for Information</i> (requisição de informação)
SE	Segurança Energética
SI	Sistema Internacional
TE	Transição Energética
UE	União Europeia
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
USFS	<i>United States Forest Service</i>
ZEE	Zona Econômica Exclusiva

## **LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA**

b	Barril
bbl/d	Barril por dia
GW	Gigawatts
kWh	Quilowatts por hora
MW	Megawatt
t	Toneladas
tcf	Trilhões de pés cúbicos
US\$	Dólares estadunidenses

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>Capítulo 1: O nexso segurança energética-minerais críticos.....</b>	<b>22</b>
1.1. A Segurança como conceito essencialmente contestado .....	22
1.2 Segurança Energética.....	28
1.3 Transição Energética.....	37
1.4 Minerais críticos.....	41
1.5 O nexso Segurança Energética-Minerais Críticos .....	46
<b>Capítulo 2: Análise de Relatórios do Setor Energético e do Setor de Mineração.....</b>	<b>52</b>
2.1 Relatórios do setor energético.....	52
2.1.1 <i>A New World - The Geopolitics of the Energy Transformation</i> (2019).....	53
2.1.2 <i>Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects</i> – IRENA (2019).....	59
2.1.3 U.S. Index of Energy Security Risk (Index) 2020 .....	62
2.1.4 <i>Annual Energy Outlook 2020</i> (AEO2020).....	65
2.2 Dados do setor mineral .....	67
2.2.1 Reservas internacionais de terras raras .....	68
2.2.2 Produção internacional.....	72
2.2.3 Nível de preços .....	75
2.2.4 Importações de terras-raras pelos Estados Unidos.....	76
2.2.5 Exportações de terras-raras pelos Estados Unidos.....	78
2.2.6 Estoque estratégico de terras-raras do governo federal estadunidense .....	79
2.2.7 Aplicações das terras-raras consumidas nos Estados Unidos .....	81
2.3 Análise .....	84
<b>Capítulo 3: Análise documental voltada para minerais críticos.....</b>	<b>88</b>
3.1. Governo George W. Bush (janeiro de 2001 – janeiro de 2008) .....	90
3.1.1. Iniciativa - <i>Hydrogen Fuel Initiative</i> (2004).....	90

3.2.2. Relatório - <i>Detailed Information on the U.S. Geological Survey - Mineral Resource Assessments Assessment (2003-2008)</i> .....	90
3.2. Governo Barack Obama (janeiro de 2009 – janeiro de 2017) .....	91
3.2.1. Comitê - <i>Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability (2010)</i> .....	91
3.2.2. Relatório - <i>Report on the Review of Minerals Management Service NEPA Procedures (2010)</i> .....	93
3.2.3. Discurso presidencial - <i>America Recycles Day (2010)</i> .....	93
3.2.4. Estratégia - <i>2011 Critical Materials Strategy (2011)</i> .....	94
3.2.5. Iniciativa - <i>Materials Genome Initiative for Global Competitiveness (2011)</i> .....	96
3.2.6. Instituto - <i>Critical Materials Institute (2013)</i> .....	97
3.2.7. Ordem Executiva - <i>National Defense Resources Preparedness (2012)</i> .....	98
3.2.8. Solicitação de informações - <i>New Request for Information to Inform Strategy on Critical Materials (2014)</i> .....	100
3.3. Governo Donald Trump (janeiro de 2017 – janeiro de 2021) .....	101
3.3.1. Ordem Executiva – <i>13817: A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals (2017)</i> .....	102
3.3.2. Ordem Executiva - <i>Regarding the Ocean Policy to Advance the Economic, Security, and Environmental Interests of the United States (2018)</i> .....	104
3.3.3. Estratégia - <i>A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals (2019)</i> .....	105
3.3.4. Determinação presidencial – <i>Presidential Determination Pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended (2019)</i> .....	109
3.3.5. Iniciativa - <i>Energy Resources Governance Initiative (2019)</i> .....	109
3.3.6. Memorando – <i>Memorandum on Ocean Mapping of the United States Exclusive Economic Zone and the Shoreline and Nearshore of Alaska (2019)</i> .....	110
3.3.7. Ordem Executiva – <i>Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries (2020)</i> ..	112
3.4 Análise .....	114

<b>Conclusão.....</b>	<b>119</b>
<b>Referências.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>

## INTRODUÇÃO

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo a análise dos minerais críticos sob uma lente derivada dos estudos de segurança energética. Para tanto, definimos como objeto de pesquisa a segurança energética estadunidense, que, quando confrontada com a *proxy* definida dos minerais de terras-raras, indica um cenário de dependência externa para a obtenção de recursos minerais não-energéticos e equipamentos geradores de energias limpas e sugere que a transição energética pode ocasionar um novo tipo de vulnerabilidade estratégica distinto daquele imposto pela dependência da importação de combustíveis fósseis.

Adotamos neste trabalho um estudo de caso voltado para os Estados Unidos, dado seu histórico de iniciativas voltadas para os minerais críticos, sua relação conturbada com a China (maior produtora internacional de terras-raras e também detentora das maiores reservas) e pelo seu histórico recente de conquista de independência energética (IRENA, 2019a). Partimos da hipótese apresentada por Hensel (2011) e Lepesant (2018) de que a transição energética, ainda que reduza a dependência de importações de petróleo, ocasionaria a criação de dependência diante de outros países, fenômeno que denominamos “transição da segurança energética”. Conjecturamos no corpo deste texto que o acesso a minerais críticos não-energéticos a preços adequados é um fator condicionante da transição energética. Os recursos minerais não-energéticos, além de finitos, são socialmente mediados (SOVACOOOL *et al.*, 2020).

O recorte temporal deste trabalho é definido entre os anos de 2001 e 2020, perpassando três administrações estadunidenses completas. Ao abordarmos todo o século XXI até o momento, o recorte proporciona dados que englobam um distanciamento inicial do advento da extração de petróleo e gás de xisto em solo estadunidense, fenômeno que tornou o país consideravelmente mais seguro energeticamente (IRENA, 2019a).

Acreditamos que a escolha do marco teórico seja um fato novo nos estudos de segurança energética. Ao tratarmos de minerais críticos sob uma lente da segurança energética, estamos expandindo o acervo de assuntos por esta teoria abarcados. Através desta análise, buscamos propor a existência de umnexo entre minerais críticos não-energéticos e segurança energética.

As terras-raras são utilizadas nesta dissertação como uma *proxy* para a discussão sobre minerais críticos, dado o reconhecimento de sua criticalidade por todos os trabalhos relativos

a minerais aqui apresentados. Optamos por trabalhá-las como grupo, observada definição dos dezessete elementos de terras-raras como críticos e seu tratamento por autores e governos sempre coletivamente. A escolha deste parâmetro também foi feita devido ao histórico de oscilações de preços, concentração de mercado e motivações políticas por trás de atitudes governamentais envolvidas em seu mercado.

O primeiro capítulo desta dissertação tem por finalidade a discussão do aporte teórico utilizado através de uma revisão de literatura. Consideramos a segurança como sendo um conceito essencialmente contestado (WOLFERS 1952; SMITH, 2005; WILLIAMS, 2007). Desta forma, buscamos em autores de Relações Internacionais definições que possam auxiliar na compreensão deste conceito relacional e fundamentalmente impreciso. Debates seu desdobramento em segmentos derivados dentro do campo da segurança, com foco na segurança energética, e investigamos quais seriam os fatores capazes de proporcionar a segurança energética de um ator. Para tanto, debatemos autores como Raphael e Stokes (2010), Duffield (2010), Sovacool (2013) e Santos (2018). Adiante, definimos o fenômeno da transição energética e como ela é atrelada a conceitos de economia política. Seguidamente, apresentamos definições de minerais críticos para, por fim, discutirmos a plausibilidade teórica da concepção de um nexos entre segurança energética e minerais críticos não-energéticos.

Consecutivamente, no segundo capítulo, apresentamos relatórios de agências voltadas ao setor energético com foco na elaboração de cenários atinentes ao setor renovável. Examinamos dados relativos ao mercado de terras-raras internacional e histórico dos Estados Unidos como produtor e consumidor desses recursos. A terceira seção é dedicada à análise dos dois setores como complementares, buscando investigar a estabilidade do setor de terras-raras à luz de sua essencialidade à transição energética.

As terras raras são um grupo de elementos de abundância relativa que compreende os 15 lantanídeos, o escândio (de símbolo Sc) e o ítrio (Y). Os lantanídeos são os elementos com números atômicos 57 a 71, na ordem do número atômico: lantânio (La), cério (Ce), praseodímio (Pr), neodímio (Nd), promécio (Pm), samário (Sm), európio (Eu), gadolínio (Gd), térbio (Tb), disprósio (Dy), hólmio (Ho), érbio (Er), túlio (Tm), itérbio (Yb) e lutécio (Lu). A distribuição de óxidos de terras-raras em concentrados minerais varia significativamente de acordo com a fonte mineral e a localização (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2021).

Através de análise documental, no terceiro capítulo, buscamos evidências em documentos oficiais do poder Executivo estadunidense que possam auxiliar a corroborar a existência de um nexos segurança energética-minerais críticos não-energéticos. Para tanto, recorreremos a um arcabouço documental voltado para o setor energético e para minerais críticos do período de três presidentes estadunidenses. Identificamos iniciativas, estratégias e planejamentos do governo Federal que traduzem o grau de relevância dado ao setor dos minerais críticos em cada um dos mandatos abordados. Observamos maior relevância dada ao tema dos minerais críticos quando relacionados ao setor de energias limpas durante a administração Barack Obama.

Em nossa conclusão, almejamos inferir que, após a parte expositiva e analítica, é possível identificar um nexos existente entre minerais críticos não-energéticos e segurança energética. Afirmamos que, diferentemente do habitualmente abordado pela literatura *mainstream*, o ciclo de vida dos produtos deve ser analisado em sua integridade. Manifestamos também que a transição energética não é condicionante da elevação da segurança energética de um ator, dadas as particularidades encontradas em cada Estado e as diferentes métricas existentes para se aferir a segurança energética.

Anexos a este trabalho de conclusão de mestrado estão dados primários que coletamos e organizamos de forma a analisarmos o mercado de terras-raras. Tratam-se de informações obtidas da *United States Geological Survey* (USGS), o serviço geológico estadunidense. O Anexo 1 apresenta uma série histórica do nível de preços de metais de terras-raras como disponibilizados pela USGS. O Anexo 2 detalha as quantidades e as procedências das importações de terras-raras pelos Estados Unidos ao longo do período discutido nesta dissertação. No terceiro anexo, expomos a a lista de minerais críticos definida pelo governo estadunidense em 2017, assim como as principais fontes de sua importação.

## **Capítulo 1: O nexu segurança energética-minerais críticos**

A estrutura do presente capítulo será organizada de forma a apresentar em diferentes seções os principais conceitos basilares necessários à construção do nexu proposto entre segurança energética e minerais críticos. O marco teórico escolhido deriva dos Estudos de Segurança expandidos, no âmbito das Relações Internacionais (RI). Desta forma, em um primeiro momento será apresentado o conceito de segurança tradicional para as RI, oriundo de um contexto histórico em que se prezava por discussões estritamente bélicas, marcado pela busca da sobrevivência de um Estado e sua população. A discussão de autores de diversas escolas é feita para que se apresente diferentes abordagens existentes na literatura. Em seguida, serão abordados autores que tratam do conceito de segurança de forma expandida principalmente após o final da Guerra Fria.

Em um terceiro momento, é apresentado o conceito de segurança energética, ampliando o escopo do campo de estudos. Dessa forma, pretende-se discutir como essa corrente teórica contribui para a atual e futura transição energética. Na quarta seção, as transições energéticas são abordadas de forma a concatenar os conceitos debatidos. Em seguida, o conceito de criticalidade dos minerais é apresentado e discutido para que, por fim, seja feita a principal contribuição teórica deste trabalho: a apresentação do nexu segurança energética-minerais críticos não-energéticos.

### **1.1. A Segurança como conceito essencialmente contestado**

Não existe apenas um conceito de segurança no campo das Relações Internacionais: “segurança nacional”, “segurança internacional” e “segurança global” referem-se a diferentes conjuntos de questões e têm origem em diferentes contextos históricos e filosóficos (HAFTENDORN, 1991). Na linguagem mais técnica das ciências sociais, a segurança é frequentemente referida como um conceito essencialmente contestado para o qual, por definição, não pode haver consenso quanto ao seu significado (WOLFERS 1952; SMITH, 2005; WILLIAMS, 2007). É inerentemente um objeto de disputa, porque nenhuma definição neutra se mostra possível (SMITH, 2005). Embora, em certo sentido, isso seja verdadeiro, em um nível abstrato, a maioria dos estudiosos das RI encara a segurança como algo que envolve o alívio de ameaças a valores estimados (WILLIAMS, 2007).

Para Wolfers (1952), segurança é um valor o qual uma nação pode possuir em maior ou menor grau e aspirar tê-lo também em diferentes graus. Possui relação com outros valores como poder ou riqueza. Porém, enquanto riqueza é a medida das dotações materiais de uma nação, e poder, de sua habilidade de controlar as ações de terceiros, segurança seria a medida da ausência de ameaças para valores adquiridos. Em um sentido subjetivo, ela seria a ausência de medo de que esses valores sejam atacados (WOLFERS, 1952). Todos os conceitos da ordem social são contestados, porém conceitos como “segurança” ou “justiça” têm, adicionalmente, um valor moral atrelado ao seu significado, impedindo que este seja concebido objetivamente (SMITH, 2005).

Williams (2007) coloca que todas as abordagens teóricas dos estudos de segurança necessariamente passam por quatro perguntas fundamentais, ainda que implicitamente: o que é segurança? Segurança de quem? O que configura um problema de segurança? Como segurança pode ser alcançada? Hafterndorn (1991) acrescenta algumas perguntas para a segurança internacional como campo acadêmico: o que deve ser estudado? Como deve ser estudado? Como distinguir os estudos de segurança de subcampos distintos, por um lado, e das Relações Internacionais, por outro?

A primeira grande tentativa de conceber uma história intelectual acerca de como a segurança internacional é estudada argumentou que a interação de cinco forças é particularmente central para compreender como o campo evoluiu: política de grandes poderes, tecnologia, eventos-chave, dinâmica interna de debates acadêmicos e institucionalização (o processo pelo qual as redes se formam e os recursos são alocados) (BUZAN; HANSEN, 2009). Nesta versão, os estudos de segurança são entendidos como um dos subcampos mais importantes do estudo das RI (WILLIAMS, 2007).

A evolução do paradigma de segurança e as mudanças de “segurança nacional” para “segurança internacional” e para “segurança global”, cada uma delas baseadas em diferentes pressupostos teóricos e políticos, está intimamente ligada à evolução do Sistema Internacional (SI) e ao progresso intelectual em sua interpretação. Em cada fase, encontramos interpretações concorrentes, baseadas em diferentes suposições teóricas sobre a natureza do ser humano e o comportamento dos Estados. Frequentemente, há um esforço para preencher lacunas teóricas e desenvolver conceitos convergentes, baseando-se na propensão do ser humano e dos Estados para o comportamento racional (HAFTENDORN, 1991).

Wolfers (1952) aponta que esforços nacionais para alcançar maior segurança poderiam ser, pelo menos parcialmente, uma função entre poder e oportunidade os quais as

nações possuem para reduzir riscos autonomamente. Alguns realistas argumentam que o termo tem uma definição clara: é algo que dialoga tão somente com a dimensão militar da segurança estatal (SMITH, 2005). Porém, o conceito abrange objetivos tão amplos que mesmo políticas altamente divergentes entre si podem ser interpretadas como políticas de segurança (WOLFERS, 1952).

Ullman (1983) coloca que uma ameaça à segurança nacional é: 1) algo capaz de ameaçar drasticamente e em um período relativamente curto de tempo a qualidade de vida dos habitantes de um Estado ou; 2) algo capaz de ameaçar o suficiente para restringir a variedade de opções de políticas disponíveis para o governo de um Estado ou para entidades não-governamentais privadas (pessoas, grupos, empresas) dentro do Estado. Cada conceito de segurança corresponde a valores, ameaças e capacidades específicas para lidar com as ameaças percebidas (HAFTENDORN, 1991).

Os Estudos de Segurança tradicionais, como elaborados desde o início do século XX, tendem a ser voltados para ameaças à sobrevivência, soberania ou integridade de um Estado em um contexto bélico-militar (BUZAN; WÆVER; WILDE, 1998). A experiência e o conhecimento estenderam a fronteira do que se entende por construção da segurança. (HAFTENDORN, 1991).

Da forma em que a segurança foi abordada durante a Guerra Fria, o paradigma dominante poderia ser enquadrado no realismo político e versando acerca dos quatro “S” (dos conceitos em inglês e latim): *states* (Estados), *strategy* (estratégia), *science* (ciência) e *status quo*. O foco nos Estados se devia ao fato de eles serem os mais importantes agentes e objetos de referência no contexto da segurança na política internacional. Tratava de estratégia por ser o núcleo intelectual e prático orientador do emprego do poderio militar. O caráter científico se devia à busca pelo conhecimento autêntico e objetivo fundado por profissionais capazes de articular análises interdisciplinares. O pilar referente ao *status quo* era reflexo de uma preocupação implícita e conservadora em preservá-lo, prevenindo mudanças radicais ou revolucionárias no SI (WILLIAMS, 2007).

Em 1983, com a publicação de *People, States and Fear*, de Barry Buzan, o campo teórico da segurança internacional foi abalado pela forma que a mudança em pelo menos dois dos quatro pilares paradigmáticos. O pilar “Estado” passou a ser abordado de forma mais flexível como “coletividades humanas” e o foco em estratégia como um pilar militar deixou de ser o prioritário, passando a integrar um subgrupo dos estudos de segurança (WILLIAMS, 2007).

Enxerga-se, após a dissolução do bloco soviético, a necessidade de considerar-se as ameaças não-militares que possam resultar no enfraquecimento de um Estado, sendo estas predominantemente oriundas do exterior (ULLMAN, 1983). Entendemos que ameaças existentes durante o conflito bipolar e que, por vezes, foram ofuscadas por interesses das superpotências passaram a ter maior visibilidade. A partir disto, há dificuldades impostas pela epistemologia dos estudos tradicionais de segurança que levam à necessidade da reformulação de bases conceituais no campo (DALBY, 1997).

Buzan, Wæver e Wilde (1998) empreendem esforço para aprofundar a área dos Estudos de Segurança sob a premissa de que a limitação ao militarismo pode ser prejudicial à análise. Devido à expansão do espectro de questões a serem estudadas por este campo das RI, a identificação dessas problemáticas acaba perpassando diversos outros aspectos por vezes menos evidentes do que ameaças militares (BUZAN; WÆVER; WILDE, 1998).

Os autores trazem que em virtude da expectativa de que o SI se tornasse mais descentralizado a partir da década de 1990, os Estudos de Segurança poderiam ser analisados em cinco principais categorias, sendo estas: a militar, a política, a econômica, a ambiental e a societal. Esta divisão é a mesma que Buzan apresenta em *People, States and Fear* (1983). Nesse contexto, entende-se que as relações interestatais são apenas um aspecto da dinâmica de segurança que caracterizam a política internacional. Estados, portanto, não seriam os únicos atores relevantes para a análise, da mesma forma que não são os únicos objetos a ser securizados (WILLIAMS, 2007).

Buzan, Wæver e Wilde (1998) e Smith (2005) apontam que a expansão do campo de segurança para outras temáticas foi recebida com receio por autores tradicionalistas, que afirmavam que isso poderia causar um esvaziamento da relevância do conceito. Em particular, os analistas de segurança durante a Guerra Fria se ocuparam em elaborar teorias de dissuasão nuclear (e guerra nuclear), desenvolvendo análises relacionadas à estrutura das forças armadas e alocação de recursos, assim como aperfeiçoando as ferramentas de gerenciamento de crises (WILLIAMS, 2007).

Mesmo tardiamente durante a Guerra Fria, era possível encontrar teóricos que se esforçariam para sustentar o confino dos Estudos de Segurança como algo que versasse apenas sobre a prevenção de guerra nuclear entre superpotências (BUZAN; WÆVER; WILDE, 1998). Porém, há discussões que não cabem na visão realista tradicional de segurança (SMITH, 2005). Deste ponto de vista, não apenas o conflito armado na era nuclear seria um dos desafios mais proeminentes que a humanidade enfrentava, mas a ampliação

potencialmente infinita do foco do campo de estudo diluiria sua capacidade de análise e seu poder explicativo (WILLIAMS, 2007).

A inserção de novos temas na agenda dos Estudos de Segurança foi gradativa. Segundo Buzan, Wæver e Wilde (1998), o primeiro passo dessa transição teria sido a compreensão do nexos economia-segurança por autores como Walt (1991), embora ainda fosse algo incipiente, uma vez, que nesse momento, tratava-se de economia como algo pertinente a assuntos estritamente atinentes às FA. Os autores estabelecem que, embora o ator central tradicionalmente seja o Estado nas discussões de segurança, outros objetos de referência devem ser incorporados para uma análise multi-setorial bem-sucedida. Segurança internacional, portanto, pode ser entendida como uma questão relacional (WILLIAMS, 2007), sendo uma temática primariamente sobre como coletividades se relacionam umas com as outras em termos de ameaças e vulnerabilidades, embora por muitas vezes possa dizer respeito a como essas coletividades lidam com ameaças do meio ambiente (BUZAN; WÆVER; WILDE, 1998).

É possível identificar duas principais filosofias nos estudos de segurança que emergem de dois momentos distintos. A primeira enxerga a segurança como sendo essencialmente sinônimo de acúmulo de poder. Nesse sentido, a segurança pode ser encarada como uma *commodity* no sentido em que deve-se ter a propriedade sobre determinados recursos como armas, território ou contingentes militares. Através dessa lógica, quanto mais poder se tiver (em particular, poderio militar), mais seguro se seria (WILLIAMS, 2007). A segunda desafia a ideia de que segurança deriva do acúmulo de poder, enxergando-a como baseada na emancipação: uma preocupação acerca de justiça e direitos humanos. Segurança, neste contexto, é entendida como um fenômeno relacional entre dois atores (WILLIAMS, 2007).

Entendida em um sentido relacional, a segurança envolve confiança em relações através do compartilhamento de compromissos com outros atores, o que, por sua vez, fornece um certo grau de garantia e previsibilidade. Essa visão argumenta que não são as *commodities* específicas que são o fator crucial para entender a equação segurança-insegurança, mas a relação entre os atores envolvidos (WILLIAMS, 2007).

Buzan, Wæver e Wilde (1998), por outro lado, afirmam que segurança é uma prática auto-referenciada, porque é nesta prática que um tema se torna uma questão de segurança. Isto não ocorre porque necessariamente a questão a ser combatida é uma ameaça, mas porque ela está sendo apresentada como tal. Segurança, desta forma, seria um termo genérico com

um significado característico, mas que pode ser morfologicamente variado (BUZAN; WÆVER; WILDE, 1998). A segurança pode ser considerada uma ferramenta política poderosa para tornar determinados assuntos prioritários para os governos. Em tese, o conceito de segurança deve ser enxergado como algo detentor de um caráter negativo, como uma falha em lidar com questões da maneira tradicional da política (BUZAN, 1991).

O campo teórico tem a ambição de aprimorar a compreensão acerca de quem securitiza o quê diante de quais ameaças, com o objetivo de proteger quem, por que, com quais resultados e sob quais circunstâncias. Distingue-se a existência de um ator securitizador, uma ameaça e um objeto de referência (a ser protegido). A impossibilidade de aplicar padrões objetivos de securidade deriva de um aspecto inerente aos argumentos de segurança: todos eles se centram sobre questões futuras. Tratam-se de hipóteses e cenarizações: dizem respeito a consequências futuras decorrentes da inação no presente (BUZAN; WÆVER; WILDE, 1998). As percepções do futuro são para Williams (2007) o principal terreno em que competem as abordagens concernentes à segurança. Isso envolve a interpretação do passado (especificamente como os diferentes grupos pensaram e praticaram a segurança), a compreensão do presente e a tentativa de influenciar o futuro (WILLIAMS, 2007).

Um novo paradigma de segurança deve obedecer às seguintes demandas: deve explicar a diversidade - as diferenças em diversas regiões, a transição de um conceito dominante para outro e transformações sistêmicas; e deve ser multi-focal - não sendo limitado a uma única área temática ou a um único nível de análise (HAFTENDORN, 1991). Muitos dos problemas de segurança atuais são tão complexos e interdependentes que requerem análises e soluções que as RI sozinhas não são capazes de prover (WILLIAMS, 2007).

Ainda que haja uma vasta variedade de atores a se utilizar como referência nos estudos de segurança, este trabalho será elaborado distinguindo o Estado como ator central. Isto porque no estudo de caso a ser elaborado, o Estado é o decisor de suas políticas energéticas domésticas e também o agente de maior influência no mercado energético internacional. Consideram-se, entretanto, conceitos que fogem ao cunho tradicional e bélico dos Estudos de Segurança: restrições de exportações, falta de controle sobre cadeias produtivas, segurança energética e sustentabilidade. Para tratar o conceito a partir de uma ótica estadocêntrica, no terceiro capítulo serão trazidos documentos oficiais do governo federal estadunidense.

## 1.2 Segurança Energética

Uma das ramificações existentes nos estudos de segurança é a segurança energética. Da mesma forma que tratamos no segmento anterior sobre a falta de consenso acerca da definição do que é segurança, a segurança energética também se apresenta como um conceito contestado. A possibilidade de existência de uma definição singular para esse verbete pode ser ainda mais remota, uma vez que a segurança energética é necessariamente um conceito interdisciplinar que dialoga com a economia, a geografia, e também com áreas técnicas voltadas para a energia.

Vastas quantidades de energia são vitais para as operações de sociedades industrializadas. Quando não há recursos energéticos suficientes à disposição, o imperativo de obter acesso a estes pode exercer influência significativa sobre as políticas externa, militar e de segurança de um Estado. Da mesma forma, aqueles que possuem recursos energéticos que são necessários ou cobiçados por terceiros podem utilizá-los como ferramentas de políticas de segurança nacional ou mesmo como armas políticas (DUFFIELD, 2010).

Um grande desafio para se conceitualizar segurança energética é a ampla gama de adversidades políticas, geográficas, econômicas e sociais inerentes ao setor energético. São observadas também dificuldades em mensurar a performance nacional de segurança energética, bem como em identificar as melhores práticas a se implementar. Muitos estudos se baseiam em definições incompletas ou inconsistentes de segurança energética focadas em aspectos técnicos e econômicos como a segurança da oferta de combustíveis fósseis ou preços ao consumidor, excluindo fatores sociais e políticos como governança (SOVACOOOL, 2013).

Raphael e Stokes (2010) apontam o campo da segurança energética como uma interseção de uma série de tendências, como a demanda global por energia, receio de uma oferta declinante de energia, instabilidade em regiões exportadoras de combustíveis e preocupação acerca do esgotamento dos recursos ou devastação derivada de mudanças climáticas. Para os autores, o quadro de segurança energética é consolidado e estabilizado quando há fontes de energia vastas o suficiente para atender às necessidades da comunidade política, onde estão incluídas todas as Forças Armadas, a atividade econômica, bem como a social (onde devem ser garantidos níveis de bem-estar).

A segurança energética de um ator é um objetivo complexo que perpassa questões sobre como prover serviços energéticos justos, acessíveis, fiáveis, eficientes, ambientalmente benignos, devidamente governados e socialmente aceitos. É mais do que a soma de suas partes, sendo um concerto sinérgico dependente de dimensões interconectadas semelhantes a um ecossistema complexo (SOVACOOOL; MUKHERJEE, 2011). Cenários de falta de autonomia no setor energético podem emergir por diversos fatores, como instabilidade geopolítica, desastres naturais, terrorismo, desenho regulatório precário ou falta de investimentos (REDGWELL, 2004 *apud* ÖZDAMAR, 2010).

A segurança energética foi definida por Deese (1979) como uma condição na qual uma nação percebe uma alta probabilidade de que ela possuirá provimentos energéticos adequados a preços acessíveis. Preços são definidos como acessíveis uma vez que não sejam potenciais causadores de interrupções nas atividades econômica e social de um Estado. Líderes devem detectar com meses de antecedência que seus Estados terão quantidades apropriadas de energia a preços acessíveis (DEESE, 1979 *apud* DUFFIELD, 2010).

Destacamos que o conceito é diverso ao analisar países desenvolvidos e em desenvolvimento (SANTOS, 2018). No caso dos Estados Unidos, país desenvolvido do Norte Global, a infraestrutura robusta existente faz com que o problema da segurança energética se manifeste de maneira particular (RAPHAEL; STOKES, 2010). Os autores apontam que em uma tentativa de estabilizar a oferta, grandes potências globais estão gradativamente militarizando sua abordagem para garantir a segurança energética. Nos países do Norte Global, a segurança energética é intimamente relacionada com segurança econômica e pode afetar dinâmicas de segurança internacional, com o potencial de provocar conflitos interestatais por recursos estratégicos (RAPHAEL; STOKES, 2010).

Incrementar a segurança energética, seja pelo lado da demanda ou da oferta, significa mitigar riscos e incertezas inerentes ao futuro do mercado energético. A crescente interdependência de países produtores e consumidores impõe novos desafios à segurança energética, tornando necessária uma resposta abrangente para que se incremente a performance dos mercados e se reduzam as incertezas. Fazem-se necessários dados mais precisos acerca de reservas, produções, estoques e consumo (VAN DER HOEVEN, 2011).

Escrevendo no início da década passada, Raphael e Stokes (2010) apontam que o rápido crescimento populacional e econômico indiano e chinês seria um dos motivos mais importantes para a drástica mudança do mapa do consumo internacional de energia. É de grande relevância o fato de que os maiores consumidores de energia não têm produção

interna suficiente para garantir seu consumo, o que significa que (com poucas exceções) as maiores potências internacionais são dependentes de fornecimento externo de energia por outros países (RAPHAEL; STOKES, 2010).

Energia não é uma *commodity*, mas sim uma pré-condição para todas as *commodities*: um fator básico equivalente ao ar, à água e à terra (SCHUMACHER, 1977 *apud* SOVACOOOL; MUKHERJEE, 2011). Para Bielecki (2002), segurança energética pode ser considerada um bem público. De fato, há comunicação entre setores nos Estudos de Segurança, como a segurança econômica ou a segurança dos recursos naturais. Entretanto, a opção por tratar dos minerais não-energéticos através da lente da segurança energética neste trabalho ocorre pela não tão clara, porém existente, relação entre a produção de energia limpa e minerais críticos não-energéticos.

Raphael e Stokes (2010) colocam que é possível aplicar diferentes lentes teóricas das Relações Internacionais ao campo da segurança energética, sendo as principais o Liberalismo, o Realismo e o Materialismo Histórico. De acordo com a corrente Liberal, os principais atores tendem a buscar a maximização da estabilidade do fluxo de petróleo para o mercado e minimizar flutuações dos preços. Esse interesse comum não é dependente da posição geográfica das fontes de energia, mas sim do mercado como um todo. Para os adeptos desta corrente, não existiria incentivo para conflito entre grandes potências em virtude de recursos energéticos desde que a condição de estabilidade do mercado se mantivesse (RAPHAEL; STOKES, 2010).

Teóricos realistas, por sua vez, são crescentemente céticos diante da longevidade da estabilidade da ordem liberal corrente e apontam para tendências de abalo da mesma que podem indicar o retorno a uma época de relações beligerantes, provocando as Guerras por Recursos, como são chamadas por Michael Klare (2001). A corrente Realista aponta sobretudo para a China como possível desestruturadora da atual distribuição de poder em decorrência de sua busca por acordos bilaterais firmados com nações produtoras de petróleo, transformando o modo como esse mercado se estruturara por anos (RAPHAEL; STOKES, 2010).

Para a corrente materialista-histórica, adota-se a leitura de que o Estado capitalista nada mais é do que um instrumento de poder das classes econômicas dominantes, com a Política Externa sendo uma ferramenta orientada pela lógica da maximização de lucros. Nesse sentido, seriam os Estados Unidos uma espécie de administrador internacional da ordem capitalista de forma a garantir o bom funcionamento da economia global em benefício

dos atores envolvidos. O materialismo-histórico enfatiza a importância do controle sobre as reservas internacionais de energia para o desenvolvimento do capitalismo global, examinando a manutenção desse sistema pelos principais atores. Teóricos do materialismo-histórico enfatizam a íntima relação entre segurança energética e a manutenção da ordem econômica capitalista e ponderam a probabilidade de um conflito futuro.

Heshmati e Abolhosseine, (2017) afirmam que é importante a distinção entre segurança energética e outros conceitos como aceitação ambiental e interdependência, confiança da oferta e benefícios geopolíticos. Para a maioria dos autores, a segurança energética é alcançada quando fontes estáveis de energia são disponibilizadas a preços acessíveis. Teorias sobre pico do petróleo, elevação de preços e pobreza energética se tornaram preocupações pujantes no contexto de elaboradores de políticas públicas e investidores, como também o nexos entre segurança energética, desenvolvimento sustentável e crescimento econômico (SOVACOOL; BROWN, 2010).

Heshmati e Abolhosseini (2017) trazem o conceito de segurança energética como sendo uma questão nacional ou internacional que pode levar a tensões transnacionais. Os autores colocam que mudanças climáticas e questões ambientais estão no cerne da discussão de políticas de energia e de segurança energética. A importância do desenvolvimento de energias renováveis foi frisada pelas mudanças climáticas e questões de segurança energética através do consumo excessivo de combustíveis fósseis. Instabilidades políticas no Oriente Médio, região de grandes produtores de petróleo cru internacional, geram incertezas acerca da estabilidade da oferta, sendo a economia de escala crucial para a redução dos preços das unidades (SANTOS, 2018).

Preço e garantia de demanda de fontes primárias como petróleo e gás (P&G) influenciam de forma significativa a literatura da disciplina e a promoção da segurança energética significa a mitigação de riscos e gestão de incertezas relacionadas ao futuro dos mercados de energia (VAN DER HOEVEN, 2011). Para Thauan Santos (2018), é possível distinguir as diferentes dimensões dos estudos de segurança energética em três principais dualidades:

**Quadro 1. Dimensões dos estudos de segurança energética, segundo Santos (2018).**

<b>Dimensão histórica</b>
Estudos Clássicos e Contemporâneos de Segurança energética são distintos em suas

abordagens. Nas décadas de 1970 e 1980, o conceito tinha como objetivo principal a estabilização do provimento de petróleo a baixos custos. Nos estudos contemporâneos, há a incorporação de inúmeros outros fatores, como mitigação de mudanças climáticas, acordos regionais, provisão equitativa de serviços energéticos, estabilidade sociopolítica e desenvolvimento sustentável (CHERP *et al.*, 2014, 2012; GOLDTHAU, 2014; YERGIN, 2006 *apud* SANTOS, 2018)

#### **Dimensão do desenvolvimento**

Para Estados em diferentes patamares de desenvolvimento, a segurança energética possui diferentes aspectos e significados. Em Estados desenvolvidos, o conceito significa um sistema energético resiliente com disponibilidade ininterrupta de recursos energéticos a preços acessíveis (WINZER, 2012 *apud* SANTOS, 2018). Em países menos desenvolvidos, o conceito toma forma de busca pelo acesso a serviços energéticos modernos (UNDP, 2011 *apud* SANTOS, 2018). No caso de países em desenvolvimento, segurança energética possui a conotação de fornecimento de energia suficiente a todo momento para todos os cidadãos a um preço acessível e estáveis, de forma a também sustentar uma performance econômica e aliviar a pobreza, alcançando melhor qualidade de vida sem prejudicar o meio-ambiente (MARTCHAMODOL; KUMAR, 2012 *apud* SANTOS, 2018)

#### **Dimensão temporal**

Diz respeito à diferença entre o curto e o longo prazo nos estudos de segurança energética. Santos (2018) aponta que no curto e no médio prazos, a segurança energética costuma focar nos impactos de choques de preço ou rupturas inesperadas da oferta, bem como falhas operacionais. No médio prazo, começa-se a considerar a transição para energias renováveis. O longo prazo é caracterizado por considerar o perfil da demanda, infraestrutura, esgotamento de reservas, inovação tecnológica, mudanças climáticas, adaptação dos sistemas, assim como outras variáveis (KUCHARSKI; UNESAKI, 2014, SMIT; WANDEL, 2006 *apud* SANTOS, 2018). Outros fatores a ser considerados no longo-prazo são a resiliência e a vulnerabilidade técnicas, a dependência econômica e as influências (geo)políticas (KISEL *et al.*, 2016 *apud* SANTOS, 2018).

Fonte: elaboração própria com base em Santos (2018).

Santos (2018) acrescenta que a segurança energética é um tema que demanda ser estudado por uma lente interdisciplinar e que está em consonância com o objetivo do desenvolvimento sustentável (ODS) de número 7 das Nações Unidas, o que procura garantir

acesso a energia confiável, acessível, sustentável e moderna para toda a população. Na ausência de uma ação global para a redução e eliminação de gases de efeito estufa (GEEs) há a possibilidade da temperatura ultrapassar 2 graus celsius de elevação ao final do século XXI (IPCC, 2014 *apud* ARENT *et al.*, 2017). A economia política das transições energéticas limpas é de interesse de países desenvolvidos e em desenvolvimento, principalmente pelo fato de que a mitigação de GEEs deve ser global. Há a expectativa de que os países desenvolvidos liderem a tendência das transições energéticas limpas, onde há condições materiais relativamente confortáveis, arcabouço institucional e *know-how* técnico (ARENTE *et al.*, 2017).

Cherp (2012), por sua vez, afirma que há duas principais maneiras epistemologicamente diferentes de se definir segurança energética. A primeira consiste na análise de sistemas energéticos para a identificação de suas vulnerabilidades. Esse método poderia ser criticado por ignorar questões subjetivas da segurança energética, como o fato de que ela é moldada tanto pela percepção quanto por riscos objetivamente mensuráveis. A segunda forma consiste na abordagem de fraquezas do primeiro sistema, definindo segurança energética a partir da investigação das percepções existentes das performances dos países.

As noções de segurança energética tendem a ser tão estreitas que acabam por excluir a compreensão de desafios energéticos ou tão amplas que perdem precisão e coerência. Não há uma métrica padrão para se avaliar a segurança energética. Uma definição mais compreensiva se faz necessária, da mesma forma que um escopo de análise de políticas voltadas para a segurança energética (SOVACOOOL; MUKHERJEE, 2011).

A segurança energética, segundo os autores, tende a englobar cinco dimensões divididas em 20 componentes de forma a possibilitar a elaboração de um índice:

**Quadro 2: Componentes da segurança energética, segundo Sovacool e Mukherjee (2011).**

<b>Disponibilidade Energética</b>
Composta de segurança da oferta e produção, dependência e diversificação.
<b>Acessibilidade Dos Preços</b>
Composta de estabilidade dos preços, acesso e equidade, descentralização e preços baixos.
<b>Desenvolvimento Tecnológico</b>
Constituído de inovação e pesquisa, segurança ( <i>safety</i> ) e fiabilidade, resiliência, eficiência

energética e investimento.
<b>Sustentabilidade</b>
Pautada no uso de terras, água, mudanças climáticas e poluição do ar.
<b>Regulação</b>
Constituída de governança, comércio, competição e conhecimento (SOVACOOOL; MUKHERJEE, 2011).

Fonte: elaboração própria com base em Sovacool e Mukherjee (2011).

Quatro principais benefícios analíticos derivariam dessa metodologia: focar na segurança energética como um conceito multidimensional é um incentivo ao afastamento de descrições estreitas como as que focam meramente na segurança da oferta de combustíveis fósseis. Da mesma forma, propor uma metodologia sistemática de mensuração da performance de segurança energética pode prover insumos informacionais a políticas energéticas e construir capacidade institucional. Ferramentas analíticas como indicadores e métricas empiricamente verificáveis podem ser úteis ao garantir aos analistas a possibilidade de encontrar soluções energéticas mais apropriadas (SOVACOOOL, 2013). O índice também proporciona a identificação de performances de segurança energética individuais ao longo do tempo podendo relacioná-las com grandes eventos como embargos, conflitos militares ou a introdução de tecnologias ou políticas disruptivas. Por último, um índice ajudaria a identificar *trade-offs* perpassando diferentes dimensões da segurança energética e também áreas passíveis de aprimoramento. Seria capaz de aumentar a compreensão da complementaridade entre as cinco dimensões identificadas (SOVACOOOL, 2013).

Daniel Yergin (1988) constrói uma formulação acerca da segurança energética que afirma que seu objetivo é assegurar o fornecimento adequado e confiável de energia a preços razoável e de formas que não ponha em risco valores e objetivos nacionais de magnitude. Mais tarde, Yergin (2005) sugere a existência de dez princípios de sustentação da segurança energética de um Estado: diversificação da oferta; estabilidade dos mercados energéticos globais; capacidade de estocar; mercados menos regulados; relações de cooperação com países produtores e exportadores; diálogo e cooperação com nações consumidoras; estrutura proativa de segurança envolvendo política externa; um público bem-informado; uma indústria energética avançada e tecnologicamente desenvolvida; e comprometimento com pesquisa, desenvolvimento e inovação.

A governança do setor energético é analisada por Van de Graaf e Colgan (2016), de acordo com os quais há três vetores principais para a compreensão desse setor: mercados financeiros; comércio e investimento; e administração do risco da oferta. Os autores defendem a redução do foco na geopolítica no setor energético por serem críticos à visão tradicional de que o mercado global de energia seria um jogo de soma-zero em que a disponibilidade energética de um país implica necessariamente na carência de terceiros. Para os autores, há três principais tendências e transformações no mercado global de energia: mudanças climáticas; mudanças geopolíticas; e volatilidade crescente no mercado internacional de óleo e gás (VAN DE GRAAF; COLGAN, 2016).

Em 2015, Ang *et al.* se dedicam a um trabalho investigativo no campo da Segurança energética partindo da análise documental de 105 textos, entre artigos em periódicos e relatórios oficiais de governos e agências elaborados entre 2001 e 2014 com fins a identificar as maiores semelhanças e distinções entre essas publicações. A partir da análise feita, os autores puderam elencar os sete principais temas encontrados nos documentos conforme suas ocorrências. Abaixo, estão estes critérios em ordem decrescente de ocorrências nos documentos analisados por Ang *et al.* (2015):

**Quadro 3: Critérios definidores de segurança energética segundo Ang *et al.* (2015).**

<b>Disponibilidade energética</b>
Diz respeito à diversificação das fontes energéticas como uma forma de contornar cenários de escassez derivados principalmente de tensões geopolíticas. A diversificação pode se manifestar na forma de diferentes fontes de importação; ou como a construção de diferentes usinas ao longo do território de um país; ou como no investimento em diferentes matrizes energéticas. Há também a possibilidade de diversificação das tecnologias aplicadas para geração de energia ou na forma de transportar os combustíveis, reduzindo a possibilidade de se depender de determinadas rotas.
<b>Infraestrutura</b>
Capacidade de prover energia de forma estável e ininterrupta. Diz respeito às plantas de transformação energética (refinarias, por exemplo), ou instalações de transmissão (como dutos). Trata-se de um aspecto da Segurança energética progressivamente dependente de sistemas computadorizados, acentuando a discussão acerca da cyber-segurança das instalações de energia.

<b>Nível de preços no mercado energético</b>
Determinam a acessibilidade do fornecimento de energia. Pondera o preço absoluto, a volatilidade e o grau de competitividade nos mercados de energia.
<b>Efeitos sociais</b>
Discussão acerca do bem-estar da população derivado da estabilidade e universalidade do fornecimento de energia para a população. Diz respeito também a impactos sociais de novos empreendimentos energéticos.
<b>Ambiente</b>
Corresponde a questões ambientais principalmente relacionadas a emissões de gases poluentes e causadores de efeito-estufa. Outras questões ambientais relacionadas a segurança energética seriam inundações causadas por empreendimentos hidrelétricos ou derramamentos de óleo durante a prospecção.
<b>Governança</b>
Políticas públicas voltadas para a área de energia podem evitar rupturas no setor no curto-prazo. Se relaciona com o papel do governo na elaboração de políticas, na diplomacia e na coleta de informações apropriadas.
<b>Eficiência energética</b>
Tecnologias para aumento da eficiência elevam a segurança energética. A intensidade energética de uma firma pode ser traduzida como a quantidade de energia necessária para a produção de uma unidade daquilo que ela produz. A redução da quantidade de energia necessária é considerada um incremento da segurança, uma vez que reduz o consumo e aumenta a eficiência energética (ANG <i>et al.</i> , 2015).

Fonte: elaboração própria com base em Ang et al. (2015).

Distinções são encontradas entre as definições de segurança energética propostas por estudos quantitativos e qualitativos. A partir de estudos quantitativos, a segurança energética pode ser mensurada através de indicadores como intensidade energética ou níveis de preço. Nos estudos qualitativos, há outros fatores a explorar, como geopolítica e governança. Dentre os estudos quantitativos mencionados por Ang *et al.* (2015) está o *Index of U.S. Energy Security Risk*, que será abordado no Capítulo 2. Os autores trazem que quanto menos indicadores são utilizados no conjunto escolhido para a mensuração do grau de segurança energética, mais o resultado está sujeito a flutuações de acordo com variações em um dos indicadores. Adiante, os autores apresentam o conceito de trilema energético, sendo este

definido como um *trade-off* existente entre segurança energética, competitividade e sustentabilidade.

É possível traçar um paralelo entre a segurança energética e a abordagem de segurança dos recursos naturais, trazida por Motoori *et al.* (2018), uma vez que este segundo conceito foca em fatores para além do preço do insumo, como estabilidade da oferta, impactos ambientais, armazenagem e nacionalização dos recursos. De acordo com os autores, o conceito de estabilidade da oferta inclui elementos como autossuficiência, intensidade de importações ou substituíbilidade de materiais e de origens de importações. Dentro da discussão de materiais substitutos deve ser considerada também a possibilidade de reciclagem dos materiais e seu ciclo de vida (MOTOORI *et al.*, 2018).

Para a elaboração deste trabalho, enxergamos como apropriada a definição de segurança energética apresentada acima por Raphael e Stokes (2010), em que um ator é seguro energeticamente quando há fontes de energia vastas o suficiente para atender às necessidades da comunidade política. Isto posto, optamos por destacar a possibilidade de utilizar de recursos naturais como uma arma política por atores que os detém, apresentada por Duffield (2010). Cabe ressaltar também que a ótica estadocêntrica dos autores é congruente com o recorte escolhido para o presente trabalho. Argumentamos que há a possibilidade de se traçar um paralelo entre a disponibilidade de recursos energéticos proposta por Raphael e Stokes como necessária para um cenário de estabilidade energética de um ator com a necessidade de se ter acesso a recursos não-energéticos ao se tratar de energias renováveis.

### **1.3 Transição Energética**

A compreensão clássica de transição energética engloba mudanças no suprimento nacional de energia ou a descoberta de novos recursos energéticos. Na atualidade, também são incluídas transformações na logística do mercado energético, questões como aparelhos utilizados pelo consumidor final e sistemas utilizados nas redes elétricas (GRUBLER *et al.*, 2016; SOVACOOOL, 2016; BAZILIAN; SOVACOOOL; MOSS, 2017).

Alguns estudos caracterizam a transição energética como uma mudança no principal combustível utilizado, mas também há de se abordar as dimensões socioeconômicas e políticas da transição energética (SINGHA *et al.*, 2019). Ela pode ser a consequência de transformações tecnológicas e econômicas, bem como de decisões políticas (SABBATELLA;

SANTOS, 2020). Fouquet e Pearson (2012) a descrevem como uma mudança de um sistema econômico dependente de uma ou uma série de fontes energéticas e tecnologias para outro.

Enquanto sistemas energéticos sempre estiveram em transição, a sofisticação de sistemas tecnológicos, o comércio energético a nível global, a grande quantidade de custos irrecuperáveis e a urgência das mudanças climáticas determinam a complexidade, a escala e o ritmo da atual transição energética (SINGHA *et al.*, 2019). Energias renováveis alteram as arenas de inte(g)ração de energias, transformando mercados e modificando parceiros comerciais e padrões de cooperação e conflito entre países (SCHOLTEN *et al.*, 2019).

Para Arent *et al.* (2017), a transição energética para matrizes limpas pode oferecer uma perspectiva de elevação da segurança energética de um ator (em especial em países em desenvolvimento) uma vez que ele deixe de ser dependente da importação de combustíveis. Esta pode ser compreendida como uma mudança estrutural no sistema de oferta de energia e sua utilização. Energias renováveis garantem aos importadores de combustíveis fósseis uma forma de diversificação de sua matriz energética e mais autonomia diante do mercado energético global (SCHOLTEN *et al.*, 2019).

A discussão da atual transição energética se insere no contexto da chamada Quarta Revolução Industrial, ou o advento da Indústria 4.0. De acordo com Schwab (2016), esta revolução tem como principais características a velocidade, a amplitude, a profundidade e o impacto sistêmico das transições tecnológicas ocorridas. Desta deriva também a fusão de tecnologias e a interação entre os domínios físicos, digitais e biológicos. Os impactos das transformações ocorrem sobre sistemas inteiros entre países, empresas, indústrias e toda a sociedade.

A transição energética atual pode ser caracterizada pela necessidade de celeridade nas mudanças desejadas, em grande contraste com circunstâncias passadas. Para além do caráter tecnológico atrelado à transição energética, há dimensões socioeconômicas, políticas, ecológicas e geopolíticas (BAZILIAN, 2018; SINGHA *et al.*, 2019), não somente pela relação entre esse processo e a redução da desigualdades sociais, mas também pela mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, implicações para a segurança nacional, crescimento econômico e comércio energético internacional (SINGHA *et al.*, 2019). De maneira geral, a transição energética possui uma orientação doméstica: governos estão interessados em selecionar os tipos de tecnologias a ser promovidas (centralizadas ou descentralizadas) e localizar novas oportunidades industriais (SCHOLTEN *et al.*, 2019). O incentivo à transição em direção a matrizes limpas se fortaleceu recentemente não somente em virtude dos

benefícios percebidos na redução da pegada de carbono, como também pelo desejo de se reduzir a dependência de outros países em produtos derivados de petróleo (HENSEL, 2011). Uma transição energética moderna e eficaz inclui uma mudança tempestiva em direção a um sistema energético mais inclusivo, sustentável, acessível e seguro que seja capaz de prover solução para desafios energéticos globais. Singha *et al.* (2019) incorporam à discussão da transição energética um triângulo chamado de “pontos-chave da performance dos sistemas energéticos”: crescimento e desenvolvimento econômico; acesso universal a fontes confiáveis de energia; e sustentabilidade.

A mitigação da emissão de GEE é um elemento principal no campo das políticas energéticas. Nesse sentido, estudos derivados das ciências do clima combinados a uma gama de tecnologias promissoras para a redução da emissão de gases não são suficientes para catalisar uma transição para energias limpas. Há um ciclo em que a política influencia a formulação de políticas, políticas impulsionam tecnologias e o avanço tecnológico influencia novamente a política. Esse círculo hoje é visto por Arent *et al.* (2017) como virtuoso.

A partir de 2015, o Acordo de Paris e a definição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) podem ser encarados como os principais norteadores institucionais na adoção de medidas capazes de frear as mudanças climáticas a nível internacional. O Acordo de Paris, assinado em 2016, foi responsável por vincular os países signatários a um compromisso de mitigação da emissão de GEEs de forma a limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2 graus célsius nesse século. Dada a impossibilidade de se alcançar um consenso acerca da forma de se mitigar emissões, foi acordado que cada Estado seria responsável por definir suas próprias metas para o período 2020-2030 (SABBATELLA; SANTOS, 2020).

Tecnologias voltadas para a produção de energias renováveis são uma alternativa para geração de energia, redução de dependência e mitigação das emissões. Entretanto, o lucro no ramo das energias renováveis depende dos preços no campo das energias não-renováveis (HESHMATI; ABOLHOSSEINE, 2017). O recente renascimento do setor de óleo e gás nos Estados Unidos reforçou a noção de independência energética e segurança nacional são a mesma coisa (BAZILIAN; SOVACOOOL; MOSS, 2017).

Mercados de energias renováveis não são fortemente consolidados pelos custos desvantajosos das tecnologias empreendidas, além de existir subsídios para combustíveis fósseis. Políticas econômicas podem ser usadas como incentivo para incrementar a produção e o uso de energias renováveis. Taxação sobre emissões, da mesma forma, apresenta-se como

uma política para o emprego de tecnologias de geração de energia renováveis (HESHMATI; ABOLHOSSEINE, 2017).

À medida em que os custos de produção de tecnologias de energias limpas se tornam mais competitivos, sobretudo nas energias eólica e solar, consegue-se alimentar a inovação energética e o avanço tecnológico. Em muitos casos, o preço de um parque eólico ou de uma instalação solar atingiu um custo inferior a alternativas fósseis, embora os preços sejam oscilantes. Enquanto a tecnologia é um fator determinante, há clareza crescente de que a disponibilidade tecnológica não é suficiente para a acelerar a transição energética: estratégias nacionais específicas para o uso das tecnologias considerando fatores como políticas públicas e regulação, reformas do mercado, engajamento do setor privado e ferramentas de análise são fundamentais. Faz-se necessária a implementação de diversas políticas para fomentar a transição e essas políticas devem ser eficazes em todo o mundo (ARENT *et al.*, 2017; IRENA, 2019a; IRENA, 2019b).

Tecnologias renováveis oferecem um prospecto de redução da dependência de importação de combustíveis. Com a natureza geograficamente variada das matrizes limpas, o projeto das plantas de produção de energia está mudando em termos de desenho, operação e governança. A natureza dispersa da energia renovável pode ser particularmente relevante para zonas rurais e localidades de baixa demanda energética nos arredores das plantas produtoras (ARENT *et al.*, 2017; SCHOLTEN *et al.*, 2019). Avanços em sistemas de dados, tecnologias de comunicação e redução dos custos de armazenamento de energia estão acelerando a descentralização e acentuando a heterogeneidade do setor energético (ARENT *et al.*, 2017).

Scholten *et al.* (2019) apontam que a transição em direção a recursos mais geograficamente dispersos sugere um deslocamento rumo a um mercado global menos oligopolístico. A maior parte dos países possui algum tipo de energia renovável disponível, que os coloca diante de um *trade-off* que consiste em optar entre uma produção doméstica segura ou importações a preços baixos. Os autores colocam que isso eclipsa a distinção entre importadores e exportadores, criando um mundo de países prosumidores<sup>1</sup> (SCHOLTEN *et al.*, 2019).

Considerando o horizonte temporal necessário à transição energética, é pertinente que se tenha em consideração os fatores limitantes desse processo. A possibilidade de esgotamento dos recursos naturais figura como uma das limitações decisivas (FIZAINE,

---

<sup>1</sup> “Prosumidor é um neologismo que provém da junção de produtor + consumidor ou profissional + consumidor” (DICIONÁRIO HOUAISS ONLINE, 2021).

2014). Em termos industriais, tecnologias de geração de energia limpa entrarão na fase de produção de massa no médio prazo, migrando de tecnologias de ponta atuais produzidas por companhias da vanguarda para produtos feitos para o mercado de massa com economias de escala (SCHOLTEN *et al.*, 2019). Inovação institucional no campo político e mercadológico está se desdobrando a partir da queda dos custos de tecnologias de baixo-carbono. Essas inovações interagem com uma série de atores e interessados, influenciando a economia política das transições energéticas. Em 2014, pela primeira vez, a capacidade de geração de energia de novas tecnologias renováveis ultrapassou a de combustíveis fósseis a nível global, com o mesmo fato se repetindo no ano seguinte (ARENT *et al.*, 2017).

Dentre os fatores limitantes para que se concretize uma transição energética para energias limpas, destacamos no presente trabalho os minerais utilizados na infraestrutura necessária à geração de energia. A concentração geográfica das reservas, da produção ou do refino desses minerais pode levar à criação de novas dependências no contexto da transição energética, uma vez que os países podem se tornar importadores de equipamentos de atores externos que acabam por ser *players* protagonistas do setor de energias limpas podendo se tornar *price makers* desse segmento tecnológico.

#### **1.4 Minerais críticos**

Assim como observado nos conceitos abordados anteriormente, não há uma definição ou metodologia unânime para a categorização de minerais como críticos (JIN; KIM; GUILLAUME, 2016). Alguns dos critérios para designar um elemento como crítico são: escassez física, centralização política da oferta, preços elevados ou dependência econômica (MCLELLAN *et al.*, 2016). Uma forte concentração geográfica na produção, pouca reciclagem de materiais por falta de incentivos, mercados pequenos associados a forte volatilidade da produção e da demanda, incerteza provocada pela falta de indicadores precisos sobre o esgotamento dos recursos são critérios também levantados como responsáveis pelo enquadramento de um mineral como crítico (FIZAINÉ, 2014). É um conceito relativo capaz de determinar quais metais são mais sujeitos a rupturas em seu fornecimento (JIN; KIM; GUILLAUME, 2016). Atualmente, há poucas tecnologias de produção de energia limpa que não utilizam metais raros em algum momento de sua cadeia produtiva (FIZAINÉ, 2014).

Alguns estudos do campo focam na disponibilidade de um recurso mineral na crosta terrestre, escassez física, riscos da oferta e não mencionam precisamente a criticalidade do recurso (JIN; KIM; GUILLAUME, 2016). Outros autores tendem a focar em aspectos dinâmicos pertinentes ao recurso como preço e oscilações da demanda (POULIZAC, 2013). Para Jenkin *et al.* (2015), a importância econômica e o risco na oferta são os principais fatores de definição de um mineral como crítico. Outros fatores considerados pelos autores são a abundância do recurso na crosta terrestre, fatores sociais e geopolíticos. O risco da oferta é mensurado principalmente pela concentração geográfica de sua produção em poucos países, de forma que as nações consumidoras se tornam dependentes inteiramente de insumos importados (JENKIN *et al.*, 2015). Recursos minerais são geologicamente determinados, porém socialmente mediados (SOVACOOOL *et al.*, 2020).

Alguns autores utilizam “crítico”, “estratégico” ou “escasso” como termos intercambiáveis. A criticidade de um mineral, contudo, não é definida estritamente pelo seu caráter estratégico. A metodologia para se identificar minerais críticos e estratégicos é semelhante, mas a avaliação de cada classificação é distinta. Minerais críticos são essenciais às cadeias de valor de uma economia nacional, de um setor ou de uma empresa, e não por sua aplicação militar, como no caso dos minerais estratégicos (FIZAINÉ, 2014). Para a elaboração desta dissertação, será aplicada a definição de minerais críticos como reconhecido pelo governo estadunidense na Ordem Executiva 13.817/2017 a ser abordada no tópico 1.2.2 deste capítulo.

Compreendemos nesse trabalho a *Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals* (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019) como o documento federal estadunidense de maior relevância dos últimos anos dada a gravidade atribuída à insegurança imposta pela dependência no mercado de minerais estratégicos. O documento é dividido em 6 “chamadas para ação”, 24 “metas” e 61 “recomendações” com fins a atingir os objetivos determinados pela Ordem Executiva 13.817/2017. A abordagem deste documento também será expandida no terceiro capítulo deste trabalho.

Dos 35 minerais considerados críticos para o governo estadunidense (presentes no Anexo 3), 31 são importados em maior quantidade do que são consumidos pelos Estados Unidos anualmente. Para 14 destes, não há qualquer produção interna no país (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a). A classificação desses recursos não tem caráter estático e tende a se modificar caso haja mudanças das condições econômicas subjacentes. Ao contrário

de outras taxonomias aplicadas aos minerais, esta em questão, por ser dotada de caráter econômico, está sujeita a mudanças constantes (FIZAINE, 2014).

Para Graedel *et al.* (2015), o debate sobre minerais críticos deve priorizar a comunidade da geologia econômica, pois ela pode fornecer os dados geológicos mais precisos para que as estimativas de criticidade possam se pautar. Uma das limitações encontradas pelas estimativas geológicas é o fato de muitos minerais serem obtidos como subprodutos da exploração de outros, de forma que a obtenção de dados muitas vezes é comprometida. Por vezes, os minerais críticos podem ser encontrados em concentrações menores em rochas de metais maiores (JENKIN *et al.*, 2015).

Segundo Ozdemiroglu (1993), um indicador que desempenhe corretamente seu papel de alerta de escassez exige o cumprimento de três pré-requisitos:

- a) Deve refletir a escassez passada do recurso, mas acima de tudo antever a evolução da escassez futura e, portanto, ser um indicador precoce da escassez;
- b) Deve ser comparável para permitir avaliações do nível de escassez de vários recursos substituíveis; e
- c) Deve ser calculável, ou seja, deve se beneficiar da coleta de dados e de um método de cálculo simples e confiável.

A maior parte das metodologias existentes compartilha de uma mesma característica essencial: a criticalidade é mensurada como uma função de alguma estimativa da probabilidade de rupturas na oferta e uma estimativa das consequências dessa ruptura. A partir de um limiar pré-definido, os recursos que se situarem acima deste, serão definidos como críticos (LØVIK; HAGELÜKEN; WÄGERA, 2018). Fatores não-geológicos também podem contribuir para o aprimoramento dos processos mencionados. Dentre eles, pode-se sugerir mudanças nos cenários políticos e infraestrutura desenvolvida (JENKIN *et al.*, 2015).

Fizaine (2014) traz que a maior parte dos minerais críticos, como é o caso das terras-raras, também pode ser chamada de metais menores. São aqueles que possuem produção e utilização relativamente pequenas, com ocorrência em pequenas concentrações na natureza e que não são comercializados na maior parte das bolsas internacionais. O risco de ruptura do fornecimento de um metal é avaliado por diversos critérios e caso esse seja apresentado como alto da mesma forma que sua essencialidade à cadeia de produção de determinados equipamentos essenciais, ele pode ser considerado como crítico (FIZAINE, 2014).

Os metais menores são quimicamente distintos mas agrupados pela convergência de alguns fatores comuns. Sua produção é pequena e concentrada em um pequeno número de

países, o que constitui um risco de ruptura do fornecimento. Para tanto, faz-se necessário o aporte constante de dados necessários à classificação desses metais. Os metais raros reforçam a eficácia de tecnologias geradoras de energia em diferentes etapas das cadeias de valor: da produção de energia a seu uso final. A utilização em grande escala de metais raros e sua integração às cadeias de produção é um fenômeno relativamente novo, pouco desenvolvido no início dos anos 1980. Quando aplicados aos metais de base, os metais raros normalmente têm a função de aumentar a resiliência do equipamento, aumentando sua resistência térmica, mecânica e à corrosão (FIZAINE, 2014).

De acordo com Jin, Kim e Guillaume (2016), o primeiro estudo acerca de materiais críticos data de 1974 e foi formulado pela Casa Branca (EUA). Tratava-se de um memorando sobre *commodities* não-energéticas. Após 34 anos, o *National Research Council* estadunidense desenvolveu uma matriz de criticalidade para enquadrar minerais como críticos a partir de uma lista de candidatos. Os principais critérios considerados foram a variação da demanda, dependência de materiais importados, pressão social ou ambiental, medidas políticas e concentração da produção (JIN; KIM; GUILLAUME, 2016). A Universidade de Yale foi responsável pelo desenvolvimento de um modelo aprimorado do desenvolvido pelo *National Research Council* que é pautado em três dimensões: risco da oferta, implicações ambientais e vulnerabilidade a restrições da oferta (GRAEDEL *et al.*, 2015).

A atenção a minerais críticos foi negligenciada pela comunidade acadêmica por um longo período em função de sua importância econômica limitada até o passado recente. Um novo contexto para a pesquisa científica com fins ao levantamento de dados acerca de diferentes ambientes geológicos é capaz de alterar a nossa compreensão da distribuição global desses recursos (JENKIN *et al.*, 2015). No caso europeu, a primeira lista de *Critical Raw Materials* foi publicada em 2011, com revisões em 2014, 2017 e 2020. O documento trata de materiais primários, não se restringindo apenas a minerais. A revisão de 2017 conta não só com uma lista atualizada, como também com metodologia aprimorada (LØVIK; HAGELÜKEN; WÄGERA, 2018).

A temática da disponibilidade dos recursos minerais tem menos exposição no final dos anos 1980 em virtude de uma baixa generalizada dos preços das *commodities*. A partir dos anos 2000, com a elevação dos preços, o tema volta a ganhar mais evidência (FIZAINE, 2014). O levantamento de dados acerca do ciclo de vida dos recursos minerais será essencial para a estimativa de criticidade desses metais bem como análises de fluxo dos materiais, utilizadas para planejamento de longo prazo e redação de políticas relacionadas à segurança

da oferta de minerais. Da mesma forma, essas informações serão imprescindíveis para contornar potenciais cenários de escassez desses recursos minerais (JENKIN *et al.*, 2015).

Essa tipificação de minerais como críticos procura quantificar os critérios discriminantes, um elemento muitas vezes ausente de outras taxonomias econômicas dos metais (FIZAINÉ, 2014). Lusty e Gunn (2015) apontam que um cenário de escassez técnica se apresenta pela obtenção de alguns metais ser dependente da produção de outros. Nesse caso, mecanismos de oferta e demanda do mercado podem não ser eficazes no alívio do cenário de escassez.

Apesar de poder-se aplicar o Index Herfindahl-Hirschman (HHI)<sup>2</sup> de forma a medir a parcela de produção de um determinado produto por um determinado Estado em um mercado, uma análise posterior deve considerar riscos políticos (HESHMATI; ABOLHOSSEINE, 2017). Em uma abordagem qualitativa, ao tratar do caso estadunidense, é importante que se encare as origens dos 35 minerais listados com distinção entre os riscos políticos atrelados ao relacionamento com o país de seu fornecimento.

Para muitos dos metais geologicamente menos abundantes, há também poucos dados disponíveis acerca de sua ocorrência na crosta terrestre (GRAEDEL *et al.*, 2015). Recursos não-convencionais (energéticos ou não) ou novas regiões (Ártico, Antártica e leito oceânico) são possibilidades de variação de fontes de recursos críticos com possibilidade de suplantarem a necessidade de recursos diante da crescente demanda derivada predominantemente do aumento populacional (FIZAINÉ, 2014). No leito marinho, há grandes concentrações de urânio, cobre, zinco, cobalto, níquel, lítio, terras-raras e fosfato, por exemplo (JENKIN *et al.*, 2015).

Para alguns metais críticos com baixa abundância na crosta terrestre e utilizados em pequenas quantidades, a descoberta de novos tipos de depósito ou novas tecnologias de exploração (possivelmente como subprodutos de outros metais), podem impactar significativamente a oferta futura. Apesar dos avanços em tecnologias de sensoriamento, os últimos 50 anos contaram com um declínio na descoberta de grandes depósitos minerais (JENKIN *et al.*, 2015).

Modelos de depósitos minerais continuarão a evoluir de forma a incrementar a nossa compreensão acerca dos locais em que a exploração mineral deve ocorrer e de que forma ela pode ser mais eficiente. Esse conhecimento terá aplicações na exploração mineral, como em

---

<sup>2</sup> Índice de competitividade responsável por calcular a parcela de atuação de uma empresa em um determinado mercado (RHOADES, 1993).

seu processamento, na administração dos rejeitos e na remediação de locais de exploração (JENKIN *et al.*, 2015).

A criação de listas de minerais críticos nacionais para cada Estado de acordo com suas contribuições nacionalmente definidas (NDC) para o Acordo de Paris, apresentando possíveis *trade-offs* e insuficiências poderia levar a diversos benefícios. Mais esforços dedicados a análises nacionais de materiais críticos poderia resultar em um mapeamento mais preciso de cadeias de produção de minerais, para as quais existem diversas lacunas informacionais, especialmente em países e regiões em desenvolvimento (SOVACOOOL *et al.*, 2020).

### **1.5 O nexo Segurança Energética-Minerais Críticos**

Qual é a viabilidade de uma transição energética dependente de matrizes energéticas renováveis, mas que em sua cadeia de produção há ampla utilização de recursos minerais finitos? Os minerais críticos não-energéticos cumprem funções essenciais na maior parte dos equipamentos de alta tecnologia nas economias modernas (FIZAINE, 2014). A Agência Internacional de Energia (IEA, 2019) estima que em 2040 veremos um aumento de 40% na parcela de energias renováveis utilizadas no mix energético internacional. Assegurar um fornecimento estável de minerais críticos a um preço acessível é essencial para que se realize a transição energética, em especial para a construção de torres eólicas *offshore*. Atualmente, todo o setor eólico *offshore* é contemplado com tecnologias que empregam ímãs permanentes feitos de terras-raras (CARRARA *et al.*, 2020; HENSEL, 2011).

Apesar dos benefícios associados ao emprego de tecnologias geradoras de energias limpas, alguns recursos naturais são importantes em suas cadeias produtivas e podem impor limitações físicas. Da mesma forma que é possível observar riscos associados à cadeia produtiva de derivados de petróleo, riscos também estão presentes na dependência de insumos nas cadeias de valor da energia limpa (HENSEL, 2011). Essas tecnologias, bem como mudanças de caráter sistêmico em eletrificação e digitalização do meio energético possuem perfis muito distintos em termos de seus requisitos de minerais críticos quando comparadas ao portfólio existente (BAZILIAN, 2018).

Semelhantemente ao trilema energético apresentado por Ang *et al.* (2015), pode-se enxergar um *trade-off* existente no mercado de minerais críticos que diz respeito ao equilíbrio entre independência na produção de minerais e competitividade. Isto se coloca pela

necessidade de capital inicial significativa para tornar viáveis determinados empreendimentos mineradores e de processamento. A viabilidade econômica muitas vezes não é alcançada na produção em baixa escala, mas em se tratando de um investimento estratégico, este não se deve ser ponderado como qualquer firma.

Scholten *et al.* (2019) apontam que a demanda por materiais críticos em meio à transição energética deve ser acomodada nos limites dos sistemas energéticos existentes, uma vez que a porção atual das energias limpas no mix energético internacional ainda é pequena. Para os autores, os impactos da escassez estrutural de minerais críticos seriam sentidos com menor magnitude no curto prazo. No médio prazo, o mapa da energia será fundamentalmente redesenhado.

Há autores críticos (como WANG *et al.*, 2019; WATARI *et al.*, 2019) da abordagem *mainstream* da transição energética pelo fato dela não considerar o ciclo de vida dos produtos. Isso se dá porque muitas vezes os trabalhos da área não ponderam o consumo de recursos finitos na construção de equipamentos ou mesmo os impactos socioambientais provocados por etapas de suas cadeias produtivas.

O uso de minerais e metais críticos e conhecimento especializado em tecnologias limpas pode elevar a competição por acesso a estes entre países que buscam a liderança em produção industrial internacional. Energias renováveis requerem minerais como cobalto, lítio, neodímio e disprósio. Ao contrário da disponibilidade dos recursos energéticos renováveis, a distribuição desses minerais pela crosta terrestre não é homogênea, e tampouco é a capacidade de extração e refino entre os Estados (SCHOLTEN *et al.*, 2019).

Além disso, há diversas ponderações a ser feitas por empresas antes do engajamento na atividade mineradora. A exploração de recursos minerais frequentemente resulta em impactos ambientais significativos, além do deslocamento de comunidades locais. Deve-se considerar também que o processo de mineração em si é intensivo em consumo energético e difícil de ser descarbonizado (SOVACOOOL *et al.*, 2020).

Os Estados Unidos possuíram plantas produtivas de minerais como lítio ou terras-raras no passado, mas a falta de possibilidade de concorrer com preços praticados no mercado internacional levou ao fechamento dessas instalações. O resultado disso é a criação de novas dependências de outras nações com uma orientação mais forte para a manufatura (HENSEL, 2011).

A *Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals* (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a) enfatiza a importância do comércio com

aliados e parceiros, embora não considere onde é ecologicamente mais eficiente buscar os minerais nela dispostos. Buscar a descarbonização paralelamente aos princípios de uma economia circular, aos mecanismos de transparência de mercado e à elaboração de pareceres sobre o ciclo de vida dos produtos proveria benefícios socioambientais significativos (SOVACOOL *et al.*, 2020).

Autores como Tanzer (1980) e Maull (1984) situam a discussão da segurança energética num escopo ainda maior de escassez de recursos, sem distinção entre recursos energéticos e não-energéticos. Colocam a questão como potencial causadora de conflitos entre atores (DUFFIELD, 2010). O autor aponta que apesar da diversidade da literatura sobre energia e segurança, diversas limitações de diferentes ordens podem ser nelas identificadas. Em vista dos eventos críticos envolvendo questões energéticas ao longo do século passado, a literatura prezou por versar a respeito de riscos e desafios associados à dependência de petróleo, apesar do uso do termo “energia” (DUFFIELD, 2010), sugerindo falsa sinonímia.

O mapeamento de demandas de minerais atrelado a políticas energéticas nacionais poderia levar a novas parcerias e ao aumento da conscientização sobre a questão, gerando ganhos em particular para políticas voltadas para o clima e para os estudos de energia. A mitigação de efeitos das mudanças climáticas deveria ser acompanhada da questão da segurança dos minerais e estratégias industriais de forma a gerar benefícios mais amplos, como no campo ambiental, político e econômico (SOVACOOL *et al.*, 2020).

Se uma tecnologia energética dependente de terras-raras fosse ser largamente empregada, de forma a realizar grande contribuição para o setor energético, grandes quantidades desse material seriam necessárias e ultrapassariam sua produção atual. Esse recurso poderia ser encarado como um elemento energeticamente crítico (EEC). Os EEC são uma classe de elementos químicos críticos à cadeia de produção de equipamentos geradores de energia elétrica e limitados a equipamentos onde são aplicados desde muito recentemente (JIN; KIM; GUILLAUME, 2016).

Fatores macroeconômicos podem limitar o crescimento da demanda por terras-raras para usos particulares. Desemprego elevado e manifestado durante extenso período de tempo poderia reduzir a busca por carros elétricos. Austeridade fiscal em diferentes áreas do orçamento poderia impactar na quantidade de subsídios governamentais ao setor eólico e solar ou outras tecnologias emergentes dependentes de terras-raras (HENSEL, 2011).

Observa-se que mesmo que os minerais pudessem ser um objeto alheio às políticas públicas, estes passam a pertencer a esse domínio, uma vez que são contemplados por

decretos presidenciais, estratégias nacionais e memorandos de entendimento com fins à garantia da Segurança Nacional. No entanto, mesmo que se observe a presença de documentos estatais contemplando a relevância dos minerais para a segurança nacional, estes normalmente focam na necessidade de controlar e proteger a cadeia de produção da indústria bélica, e não a de equipamentos destinados à produção de energia, que se insere no foco deste trabalho.

No passado recente, foram publicados documentos como a Ordem Executiva 13.817/2017, de autoria do então presidente estadunidense Donald Trump, propondo uma definição para minerais críticos, e a *Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals* (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a), publicada em meio à Guerra Comercial promovida entre os Estados Unidos e a China, quando foi suscitada a possibilidade de se restringir as exportações chinesas de terras-raras (minerais definidos como parâmetro para este estudo) para os Estados Unidos (GASPAR FILHO, 2019; GASPAR FILHO; SANTOS, 2019).

A Ordem Executiva 13.817/2017 define os minerais críticos como:

*(...) a mineral (1) identified to be a nonfuel mineral or mineral material essential to the economic and national security of the United States, (2) from a supply chain that is vulnerable to disruption, and (3) that serves an essential function in the manufacturing of a product, the absence of which would have substantial consequences for the U.S. economy or national security.*<sup>3</sup>

Dessa forma, a dependência de minerais críticos para a economia, energia e defesa se apresenta como um potencial causador de insegurança (GASPAR FILHO; SANTOS, 2019; DELGADO; MARQUES; GASPAR, 2020). No caso estadunidense, isso se apresenta de forma mais evidente através da forma que o governo chinês pronunciou em 2019 a ameaça de cortes à exportação de terras-raras para o país, indicando uma demonstração de poder durante a guerra comercial corrente (GASPAR FILHO, 2019; GASPAR FILHO; SANTOS, 2019).

Há um precedente de restrições a importações no caso das terras-raras. Em setembro de 2010, em virtude de uma crise diplomática envolvendo a China e o Japão acerca da soberania sobre as Ilhas Senkaku, a China deixou temporariamente de exportar esses recursos para o Japão, provocando a necessidade de busca de alternativas e causando impactos no

---

<sup>3</sup> Ver: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-executive-order-federal-strategy-ensure-secure-reliable-supplies-critical-minerals/>

curto-prazo na cadeia produtiva de eletrônicos (MOTOORI *et al.*, 2018). A redução abrupta das cotas de exportação de terras-raras chinesas para o Japão provocou a elevação do preço desses recursos em mais de 400% em relação a seus preços originais. Essa crise ilustra um importante alicerce da transição energética: a impossibilidade de dissociar a disponibilidade energética de materiais primários (FIZAINE, 2014).

A rede de interdependências entre nações em termos de reservas e produção de minerais críticos para tecnologias geradoras de energias limpas distribui o risco entre países produtores e consumidores. A chave para desenvolver uma estratégia de mitigação de risco na cadeia produtiva deve envolver a compreensão das interrelações entre os papéis de diversos países nas cadeias de valor e a necessidade de flexibilização contínua na reformulação de estratégias nacionais voltadas para recursos naturais (HENSEL, 2011). Scholten *et al.* (2019), ao contrário, afirmam que a disputa por minerais críticos passará no curto prazo pelo seu momento mais intenso.

Pell *et al.* (2019) apontam que os custos ambientais e sociais associados à produção de terras-raras devem ser avaliados com a consciência da necessidade desses minerais para a transição para matrizes energéticas limpas, pela essencialidade desses minerais na construção de equipamentos de alta tecnologia e geradores de energias limpas. Em estudo elaborado pelo *Center for Strategic and International Studies*, Ladislaw, Carey e Bright (2019) apontam a possibilidade de em 2050 haver cinco vezes a quantidade de instalações de plantas de energia solar foto-voltaica e três vezes a quantidade de plantas de energia eólica internacionalmente.

Hensel (2011) coloca que a chave para desenvolver uma estratégia para mitigar a o risco na cadeia de produção deve envolver a compreensão das relações entre os diferentes papéis de vários Estados produtores, consumidores e detentores dos direitos de propriedade intelectual das tecnologias aplicadas.

Pode-se supor que ao reduzir a dependência de importações de petróleo, estar-se-ia transferindo a dependência de outro setor para outros fornecedores (HENSEL, 2011; LEPESANT, 2018). Denominamos neste trabalho este fenômeno como transição da segurança energética, onde a transição energética acaba por ocasionar um novo cenário de dependência para o ator que a empreende. Nesse sentido, devemos considerar o que Fizaine (2014) aponta como impossibilidade de se dissociar a disponibilidade energética da disponibilidade de materiais primários.

Graedel *et al.* (2015) indicam um conceito associado à transição da segurança energética: a base material da sociedade moderna. O conceito abarca a riqueza de materiais

utilizada em equipamentos modernos, a consideração do ciclo de vida dos recursos naturais, a criticalidade dos minerais, a baixa possibilidade de substituição. A criação do conceito de transição da segurança energética se beneficia da produção científica anterior por autores que perceberam a necessidade da aplicação de recursos finitos a tecnologias geradoras de energias limpas. Ademais, não somente observa-se a concentração da produção de recursos minerais críticos em poucos Estados como também há poucos atores fabricantes de tecnologias geradoras de energias limpas.

Enquanto discute-se a possibilidade de novos conflitos emergirem entre países majoritariamente importadores desses recursos, é também possível a aceleração do desenvolvimento de reciclagem em grande escala ao final do ciclo de vida dos produtos, de se descobrir novos materiais alternativos ou mesmo novos depósitos (SCHOLTEN *et al.*, 2019). O presente trabalho leva em consideração a possibilidade dos cenários de escassez serem contornados de diferentes formas. Não obstante, acreditamos que a discussão acerca de minerais críticos pode contribuir de forma significativa à literatura da segurança energética através do nexos apresentado. No próximo capítulo, estenderemos a demonstração dessa convergência entre os dois campos através da apresentação de dados do setor energético e mineratório e discutiremos sua complementaridade.

## **Capítulo 2: Análise de Relatórios do Setor Energético e do Setor de Mineração**

O presente capítulo será dividido em duas seções principais: a primeira, com conteúdo expositivo e analítico derivado de relatórios voltados para o setor energético internacional e dos Estados Unidos, apresenta cenários e propostas de mensuração da segurança energética estadunidense atual e futura. Apresentamos relatórios voltados para identificação de tendências de futuro para o setor energético, visando a reconhecer as direções pelas quais as energias renováveis devem seguir. Buscamos um diálogo entre os dados apresentados e os autores contemplados no primeiro capítulo; e a segunda apresenta inicialmente dados do mercado internacional de terras-raras, como nível de preços, produção e reservas. Posteriormente, a partir de uma ótica estadunidense, expomos dados de importação, exportação e aplicações industriais dos metais nos Estados Unidos.

A concatenação posterior tem como propósito identificar a nível prático as evidências para o nexos proposto no primeiro capítulo entre minerais críticos e segurança energética. Os dados apresentados no capítulo são os mais recentes quando da conclusão da redação deste trabalho, buscando referências que tratassem do setor mineral em 2020 e relatórios do setor energético levando em consideração a crise decorrente da pandemia do novo coronavírus. Tratam-se de dados primários obtidos da *International Renewable Energy Agency (IRENA)*, do *Global Energy Institute (GEI)*, da *Energy Information Administration (EIA)* e do *United States Geological Survey (USGS)*.

### **2.1 Relatórios do setor energético**

As informações extraídas dos relatórios expostos são majoritariamente relativas ao setor elétrico da economia estadunidense e internacional. Buscamos, nos relatórios apresentados, informações acerca do setor energético, sobretudo as tendências para os segmentos solar e eólico. Isto devido às grandes taxas de crescimento atuais e previstas da implementação dessas tecnologias, bem como da necessidade de minerais críticos em suas cadeias produtivas. Através da apresentação de tendências internacionais e estadunidenses, procuramos ilustrar alguns possíveis entraves na implementação de novas tecnologias energéticas.

### **2.1.1 A New World - The Geopolitics of the Energy Transformation (2019)**

O relatório de 2019, redigido pela *International Renewable Energy Agency* (IRENA), aponta que muitas tecnologias geradoras de energias renováveis já seriam competitivas em termos de custos com os combustíveis fósseis. Isso, somado às potenciais contribuições para a redução da poluição do ar e consequente desaceleração das mudanças climáticas, criaria uma propensão irreversível para a transformação transição energética global diante da opinião pública, do mercado e dos governos. Embora o aumento da energia eólica, solar e outras energias renováveis tenha ocorrido principalmente no setor elétrico, as novas tecnologias estão possibilitando essa transformação em outros setores (IRENA, 2019a).

O documento afirma que há três aspectos principais que caracterizariam e sustentariam a transição energética internacional:

- 1) Eficiência energética: permitiria o crescimento econômico com menor necessidade de geração energética. No século XX, a taxa média de crescimento da demanda de energia internacional foi de 3%, aproximadamente a mesma taxa de crescimento do PIB global. Em décadas recentes, as melhorias na eficiência energética teria rompido o vínculo entre crescimento econômico e crescimento da demanda energética. A demanda de energia tenderia a crescer 1% ao ano até 2040;
- 2) Crescimento das energias renováveis: as energias renováveis são apontadas como as fontes de energia de crescimento mais rápido de acordo com o relatório. Entre elas, a energia solar e a eólica apresentariam o crescimento mais acelerado, enquanto as outras cresceriam de maneira gradual. A energia solar adquiriu mais capacidade instalada em 2017 do que carvão, gás e usinas nucleares combinadas. Eólica e solar compõem 6% da geração de eletricidade internacional, em contraste com a parcela de 0,2% em 2000. No total, as energias renováveis respondem por cerca de um quarto de geração global de eletricidade; e
- 3) Eletrificação: a eletricidade é responsável por 19% do consumo total de energia final e sua participação tende ao crescimento conforme o progresso da eletrificação dos setores de uso final. Sendo assim, a eletricidade se apresenta

como o segmento de demanda de energia final de maior crescimento, incrementando dois terços mais rápido do que o consumo de energia como um todo desde 2000 (IRENA, 2019a).

A agência também aponta determinados fatores que denomina como “forças de mudança”. São eles:

- 1) Custos decrescentes: tecnologias como a solar e eólica teriam ganhado vantagens competitivas como resultado de avanços tecnológicos e do aumento dos investimentos. De acordo com o relatório, as energias solar e eólica podem superar as tecnologias convencionais em termos de custo em muitos dos principais mercados do mundo, ainda que sem o auxílio de subsídios. Desde 2010, o custo médio da eletricidade proveniente da energia solar fotovoltaica (PV) e eólica diminuiu 73% e 22%, respectivamente. A IRENA estima que até 2025 o custo médio ponderado global da eletricidade pode cair em 26% com a energia eólica *onshore*; em 35% com a energia eólica *offshore*; em pelo menos 37% com as tecnologias de energia solar concentrada; e em 59% com a energia solar PV (IRENA, 2019a). As inovações institucionais no âmbito governamental e empresarial alavancadas pelos custos decrescentes das novas tecnologias são fatores influenciadores do andamento da transição energética (ARENT *et al.*, 2017).;
- 2) Poluição e mudanças climáticas: consequências decorrentes do consumo de combustíveis fósseis, como poluição do ar e as mudanças climáticas, teriam sido motivo para reconhecimento da necessidade de descarbonizar a economia global para governos, empresas, investidores e o público (IRENA, 2019a). Haveria, no meio de tomadores de decisão, um reconhecimento crescente entre o nexo entre segurança energética, desenvolvimento sustentável e crescimento econômico (SOVACOOL; BROWN, 2010). A maioria dos caminhos para uma economia de baixo carbono exigiria a rápida implantação de energia renovável e a duplicação da eficiência energética, visto que o setor de energia é responsável por dois terços das emissões globais. A agência aponta que a implantação de energia renovável combinada com maior eficiência energética seria a maneira mais econômica de atingir a redução de 90% nas emissões ligadas ao setor energético necessária para cumprir a meta do Acordo de Paris;

- 3) Metas de energia renovável: os governos inicialmente apoiaram as energias renováveis por meio de subsídios e legislações, mas estariam progressivamente migrando para leilões competitivos com preços mais baixos. Em alguns países onde os governos centrais se mostram menos eficazes em estabelecer metas de energia renovável, alguns governos estaduais e municipais têm adotado medidas importantes. A Califórnia é uma referência por ter adotado uma meta de 60% de eletricidade renovável até 2030, por exemplo;
- 4) Inovação tecnológica: inovações, incluindo maior eficiência de módulos solares PV e turbinas eólicas mais altas, têm desempenhado um papel importante na aceleração da implantação de energias renováveis no setor elétrico. As taxas de patenteamento seriam indicadores de que mais inovação tecnológica ocorreu no campo de tecnologias de energia limpa quando comparado aos campos de energia tradicionais, como combustíveis fósseis e nuclear. Para Arent *et al.* (2017), haveria um encadeamento de fatores em que a redução dos custos de produção de tecnologias de energias limpas seria capaz de impulsionar a inovação energética e provocar o avanço tecnológico. Isso se daria principalmente no âmbito solar e eólico;
- 5) Ação corporativa e de investidores: a IRENA menciona o apoio de 415 investidores na conferência climática COP24 de 2018 ao Acordo de Paris. Juntos, os investidores representariam mais de US\$32 trilhões. O grupo teria estimulado governos a estabelecerem a precificação do carbono, abolir subsídios aos combustíveis fósseis e eliminar gradualmente a energia térmica a carvão. Grandes bancos multilaterais de desenvolvimento, como o Banco Mundial, não estão mais financiando investimentos em carvão. As seguradoras globais, como Allianz e AXA, anunciaram o descontinuação da cobertura de seguro para projetos específicos de carvão (IRENA 2019a). Sovacool e Brown (2010) vão além, afirmando que perspectivas sobre o pico do petróleo, receios de elevação dos preços e de pobreza energética passaram a influenciar a decisão de investidores e elaboradores de políticas públicas, o relatório também traz; e
- 6) Opinião pública: a agência afirma que consumidores estão progressivamente optando por adquirir produtos e serviços que tenham uma pegada de carbono

menor, e os movimentos da sociedade civil estão pressionando governos e empresas para reduzir a poluição do ar e as emissões de carbono. Algumas das principais empresas de P&G do mundo estão envolvidas em disputas legais com cidades, Estados e a sociedade civil acerca de seus impactos socioambientais (IRENA, 2019a) O pilar acerca da opinião pública se comunica com um dos dez princípios da sustentação da segurança energética apresentados por Yergin (2005), que seria o público bem-informado.

Sovacool e Mukherjee (2011), ao tratar da acessibilidade dos preços, adicionam um fator fundamental desconsiderado na análise da IRENA (2019a) no tópico 1. Ao pensar a acessibilidade do preços como composta da estabilidade dos preços, de acesso e equidade, descentralização e níveis de preços baixos, enxerga-se que a centralização da produção em um ou poucos atores tanto para minerais críticos quanto para tecnologias geradoras de energias limpas, adiciona-se um risco relevante à mensuração da segurança energética de um ator.

Apesar do atual nível de preços baixo no mercado de energia eólica, nota-se a concentração da produção de terras-raras, insumos necessários à construção de seus equipamentos geradores, por empresas chinesas em 58% em 2020 e atingindo um pico de concentração de 98% em 2010 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2021; ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011). Essa ponderação também é harmoniosa com Ang *et al.* (2015), que, ao tratarem do nível de preços no mercado de energia como critério definidor da segurança energética de um ator, colocam como fator componente a volatilidade e o grau de competitividade do mercado.

Segundo a agência, os EUA estão próximos da autossuficiência energética, muito em função da revolução do xisto. O país se tornou um exportador líquido de gás natural em 2017 e estaria projetado para se tornar um exportador líquido de petróleo no início da década de 2020. A IRENA coloca que os EUA estão bem posicionados na corrida pela energia limpa porque as empresas norte-americanas ocupam posições fortes no desenvolvimento de novas tecnologias, que incluiriam robótica, inteligência artificial e veículos elétricos (IRENA, 2019a).

O relatório aponta que, em uma economia de energia renovável, a maioria dos países será capaz de alcançar a independência energética, maior segurança energética e mais liberdade de tomada de decisões energéticas. Em termos estratégicos, os países importadores de combustível fóssil seriam vulneráveis a riscos de interrupção do fornecimento e

volatilidade de preços causados por instabilidade política e outros motivos (IRENA, 2019a). No documento, afirma-se, ainda, que três categorias de países têm potencial para emergir como novos líderes em energia renovável:

- 1) Países com alto potencial técnico para geração de energia renovável poderiam se beneficiar, uma vez que sejam capazes de se tornar exportadores significativos de eletricidade ou combustíveis renováveis. Alguns países já são exportadores líquidos de eletricidade gerada por energias renováveis. O Brasil, por exemplo, é um grande exportador de eletricidade renovável a partir de hidrelétricas;
- 2) Países ricos em minerais têm a oportunidade de se tornar parte da produção global e das cadeias de valor necessárias para tecnologias renováveis. Isso impulsionaria seu desenvolvimento econômico, desde que implementem políticas e estruturas de governança corretas; e
- 3) Líderes em inovação tecnológica posicionados para obter o máximo da transformação energética global. O relatório aponta a China como o país em melhor posição para se tornar a superpotência mundial em energia renovável. A China é atualmente o maior produtor, exportador e instalador de painéis solares, turbinas eólicas, baterias e veículos elétricos do mundo. Os esforços combinados do país para pesquisar, desenvolver e investir em energia renovável e transporte limpo oferecem à sua indústria a oportunidade de ultrapassar as empresas americanas e europeias. Ao produzir mais de sua própria energia, a China estaria reduzindo sua dependência das importações de combustível e os riscos de interrupção do fornecimento de energia (IRENA, 2019a).

Os ativos construídos do sistema global de combustíveis fósseis são estimados em US\$ 25 trilhões, continuando a adicionar US\$1 trilhão de ativos a cada ano. Uma rede de poços de petróleo, campos de carvão, usinas de energia, oleodutos, petroleiros e refinarias se estende por todo o mundo. Partes desse sistema podem se tornar ativos perdidos como resultado de ações políticas e da queda dos custos das tecnologias renováveis (IRENA, 2019a). Singha *et al.* (2019) apontam também os custos irrecuperáveis como um dos fatores determinantes e condicionantes do ritmo da transição energética corrente.

Segundo o documento, o risco de ativos perdidos pode não estar totalmente refletido no valor das empresas que extraem, processam ou distribuem combustíveis fósseis. Se os

riscos fossem precificados, o valor dessas empresas e as classificações de crédito de certos países poderiam sofrer uma queda repentina. Segundo a agência, pelo menos US\$ 12 trilhões poderiam ser perdidos na forma de ativos improdutivos (IRENA, 2019a).

Alguns atores podem emergir como líderes dominantes em áreas específicas das energias renováveis. Entretanto, estes líderes tenderiam a não adquirir o grau de domínio de mercado que os líderes de combustíveis fósseis possuem. Há um panorama visível para alguns autores em que novas energias proporcionariam a redução da dependência externa de determinados atores, dada a condição geograficamente distribuída das fontes energéticas renováveis (ARENT *et al.*, 2017; SCHOLTEN *et al.*, 2019).

Ao contrário do petróleo e do gás natural liquefeito (GNL), que são comercializados globalmente, a eletricidade seria uma *commodity* com tendência a ser comercializada regionalmente. Com o atual estado da tecnologia, observa-se considerável perda de eletricidade na transmissão de longas distâncias (IRENA, 2019a). Segundo a revisão bibliográfica empreendida por Ang *et al.* (2015), as redes de transmissão devidamente interconectadas e compreensivas sobre um território seriam componentes do segmento de infraestrutura, um dos sete critérios definidores da segurança energética.

A IRENA indica como um dos possíveis gargalos para a construção de tecnologias e baterias associadas a energias renováveis os minerais utilizados em sua produção, indicados no Quadro 4. Observa-se que na lista dos 20 minerais essenciais às energias limpas disponibilizada pela agência, constam 9 dos minerais classificados como críticos segundo o governo estadunidense como constam na relação disponível no Anexo 3.

Como apontado por Bazilian (2018), as tecnologias de geração de energia limpa são dotadas de perfis muito distintos em termos de seus requisitos de minerais críticos quando comparadas ao setor de combustíveis fósseis. A agência apresenta que os países que têm dotações amplas desses minerais essenciais poderiam usá-los para exercer pressão sobre os países que não os possuem. Essa percepção teria ganhado vulto quando a China restringiu o fornecimento de terras raras a compradores estrangeiros. Os mercados reagiram com apreensão e os preços internacionais dispararam, porque a China controla uma parte substancial do fornecimento global de minerais de terras-raras (IRENA, 2019a).

O documento afirma que as maiores reservas de metais e minerais necessários para tecnologias renováveis são encontradas em Estados fracos com registros de governança pobres. Esforços têm sido feitos para abordar a questão dos denominados “minerais de conflito”, de forma a aumentar a transparência e a responsabilidade ao longo da cadeia de

abastecimento global. A OCDE publicou diretrizes para empresas que exploram ou comercializam minerais e o Conselho de Segurança da ONU busca a responsabilização de atores em Estados afetados por conflitos (IRENA, 2019a). Necessário observar que as próprias relações interestatais e dinâmicas de conflitos tendem a mudar a partir da mudança da matriz energética dos países (SCHOLTEN *et al.*, 2019).

**Quadro 4: minerais essenciais às energias limpas.**

<b>Minerais</b>	<b>Tecnologias de geração de energia solar</b>	<b>Tecnologias de geração de energia eólica</b>
Bauxita e alumínio	X	X
Cádmio	X	
Crômio		X
Cobalto		X
Cobre	X	X
Gálio	X	
Germânio	X	
Índio	X	
Ferro	X	X
Chumbo	X	X
Manganês		X
Molibdeno		X
Níquel	X	
Terras-raras		X
Selênio	X	
Silício	X	
Prata	X	
Telúrio	X	
Estanho	X	
Zinco	X	X

Fonte: Elaboração própria com base em dados da IRENA (2019).

**2.1.2 Future of Wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects – IRENA (2019)**

O relatório publicado pela IRENA, também em 2019, é focado em energia eólica em suas diferentes formas, portanto buscamos nesse tópico encontrar as informações relacionadas ao nosso objeto de pesquisa de forma a identificar tendências no consumo de energias renováveis e impactos na segurança energética. A agência afirma que a redução das emissões de CO<sub>2</sub> relacionadas à energia está no centro da transição energética. Uma mudança célere no consumo de combustíveis fósseis seria a chave para que o mundo alcançasse as metas climáticas acordadas. Destacamos desse documento os trechos mais pertinentes ao recorte geográfico dos Estados Unidos.

O relatório aponta como principal fator de transformação do setor energético o rápido declínio nos custos das energias renováveis. O custo médio ponderado global da eletricidade de todas as tecnologias de geração de energia renovável comercialmente disponíveis seguiu em tendência de queda em 2018. Para projetos eólicos *onshore* comissionados em 2018, o custo médio ponderado global da eletricidade atingiu um mínimo de US\$0,056 por quilowatt-hora (kWh), que foi 13% menor do que em 2017 e 35% menor do que em 2010 (US\$0,085/kWh) (IRENA, 2019b). Entretanto, autores como Arent *et al.* (2017) afirmam que a disponibilidade energética não configura um fator suficiente para a aceleração da transição energética. Esta deveria ser acompanhada de um esforço regulatório estatal buscando reformar o mercado e engajar o setor privado.

Os custos da eletricidade eólica *onshore* já seriam competitivos na extremidade inferior da faixa de custo de combustíveis fósseis e estariam reduzindo os novos custos de geração de energias poluentes em muitos casos. Com o rápido declínio dos custos da energia solar PV nos últimos anos (o custo nivelado da eletricidade diminuiu 77% em 2018 em comparação com 2010), a natureza complementar dessas duas tecnologias e a disponibilidade de recursos em diferentes estações do ano poderia resultar em um sistema de custos muito baixo (IRENA, 2019b).

Nos Estados Unidos, recursos de energia renováveis não hidrelétricos, como solar fotovoltaico e eólico, devem ser a fonte de geração de eletricidade de crescimento mais rápido nos próximos dois anos. Uma legislação de energia no âmbito estadual em Massachusetts exige a implementação de 3,2 GW de capacidade eólica *offshore* para contribuir para a redução de GEE. Há vários estados dos EUA, como Maryland, Nova Jersey e Nova York, que almejam uma adição combinada de quase 8 GW até 2030. Nova York, como parte de suas metas para atingir a neutralidade de carbono, estabeleceu uma meta de energia eólica *offshore* de 9 GW em 2035 (CLEANTECHNICA, 2018 *apud* IRENA, 2019b).

A capacidade eólica *onshore* instalada nos EUA aumentaria de 94 GW em 2018 para quase 857 GW até 2050, segundo a agência. Afirma, ainda, que o potencial eólico terrestre total no país é superior a 10.000 GW, equivalente a quase 3,5 milhões de km<sup>2</sup> de terra, exceto áreas protegidas, construídas e recursos hídricos. Este potencial está principalmente concentrado em uma área central do país entre Minnesota e Dakota do Norte ao Texas, que tenderia a ter a maior quantidade de novas instalações eólicas *onshore* (NREL, 2018 *apud* IRENA, 2019b).

Isso exigiria novas linhas de transmissão de forma a acomodar novas capacidades *onshore* no centro do país e integrá-las aos centros urbanos afastados. O crescimento da rede também deve ser considerado uma prioridade para facilitar o intercâmbio inter-regional de energia e simplificar a gestão da rede. A adoção de uma matriz energética limpa necessariamente implicaria em mudanças de caráter sistêmico em eletrificação e digitalização do meio energético, de acordo com Bazilian (2018). Não obstante, um estudo da NREL sobre as redes dos EUA mostra que, mesmo com a expansão limitada da transmissão, as redes de serviços públicos podem operar de forma confiável com uma participação de geração eólica de mais de 35% até 2050, e esse potencial eólico pode contribuir para a segurança energética e trazer benefícios socioeconômicos (NREL, 2017 *apud* IRENA, 2019b).

Os desenvolvimentos tecnológicos nas fundações dos aerogeradores são um dos principais fatores que permitiriam a implantação acelerada da energia eólica *offshore*, possibilitando o acesso a recursos eólicos mais avançados. As turbinas são instaladas habitualmente em profundidades de água de até 40 metros e até 80 quilômetros da costa. Os Estados Unidos, apesar do alto potencial eólico *offshore*, possui poucas áreas de baixa profundidade em sua plataforma continental (IRENA, 2019b).

Atualmente, busca-se contornar essas limitações físicas com fundações flutuantes. Segundo a IRENA, em dados de 2018, o mundo possuía nove instalações eólicas *offshore* flutuantes - quatro no Japão e cinco na Europa - com uma capacidade instalada acumulada de cerca de 50 MW. Cerca de 13 projetos eólicos *offshore* flutuantes internacionais foram anunciados até 2019, segundo o relatório: 9 na Europa (na França, Portugal e Reino Unido), 3 na Ásia (no Japão e na República da Coreia) e 1 nos Estados Unidos, com US\$1 bilhões investidos na elaboração do projeto (GLOBALDATA, 2019 *apud* IRENA, 2019b).

A agência suscita que cerca de 5–30 GW gerados por instalações eólicas *offshore* poderiam ser instalados em todo o mundo em 2030 (GLOBALDATA, 2019 *apud* IRENA, 2019b), com potencial para crescimento significativo até 2050. Com base no ritmo de

desenvolvimento em várias regiões, fazendas flutuantes poderiam cobrir entre 5 e 15% da capacidade instalada eólica *offshore* global (quase 1000 GW) até 2050. As instalações flutuantes podem oferecer uma alternativa de menor custo às fundações fixas. Ademais, oferecem benefícios ambientais em comparação com projetos de fundo fixo devido à atividade menos invasiva no leito marítimo (IRENA, 2019b).

Com uma média de quase 22 GW de implantação de capacidade eólica anual até 2050, a IRENA argumenta que a manufatura na América do Norte precisa ser fortemente expandida, beneficiando-se de uma combinação de produção doméstica com importações e exportações entre os países vizinhos. Segundo a agência, o Departamento de Energia dos EUA (DOE) anunciou até US\$ 28 milhões em financiamento para novas turbinas eólicas flutuantes *offshore* por meio do programa da Agência de Projetos de Pesquisa Avançada-Energia (ARPA-E) “*Aerodynamic Turbines, Lighter and Afloat, with Nautical Technologies and Integrated Servo-control*” (ATLANTIS, na sigla em inglês) (IRENA, 2016 *apud* IRENA, 2019).

### **2.1.3 U.S. Index of Energy Security Risk (Index) 2020**

Documento publicado pelo *Global Energy Institute* (GEI) já após o início da pandemia do novo coronavírus. Afirma que ainda não há insumos informacionais suficientes para afirmar como a desaceleração econômica e sua consequente queda na demanda por energia afetarão a segurança energética dos Estados Unidos. O relatório coloca que mesmo para países energeticamente seguros como os Estados Unidos, há fatores macroeconômicos presentes na crise corrente que podem impactar severamente a segurança energética estadunidense, como um período prolongado de demanda substancialmente mais baixa, excesso de oferta e volatilidade de preços. Mencionam, também, o risco elevado da produção de P&G de xisto dos EUA não se recuperar e fazer com que uma parte mais expressiva do consumo energético estadunidense passe a ser oriundo de fontes estrangeiras (GEI, 2020).

O Índice GEI apresentado no documento cobre o período histórico de 1970 a 2019 e um período de previsão até 2040. A métrica é composta de quatro subíndices que identificam as principais áreas componentes da segurança energética dos EUA de acordo com o GEI: geopolítica, econômica, confiabilidade e ambiental. Cada uma das 37 métricas é mapeada para um ou mais desses quatro subíndices, que são então ponderados (30% para geopolítico e

econômico, 20% para confiabilidade e ambiental) e combinados para produzir uma pontuação total (GEI, 2020).

Os quatro parâmetros indicados se comunicam com os critérios trazidos por Santos (2018) referentes ao objetivo de desenvolvimento sustentável 7 (ODS 7) das Nações Unidas, que define como meta a energia acessível, confiável, moderna e sustentável para toda a população. Da mesma forma, esses critérios são parcialmente consonantes com os “pontos-chave da performance dos sistemas energéticos” apresentados por Singha *et al.* (2019).

O GEI baseou-se principalmente em dados governamentais da *Energy Information Administration* (EIA), Departamento de Comércio e Departamento de Transporte estadunidenses para desenvolver seu Índice de Segurança Energética dos EUA. A versão de 2020 reflete as revisões dos dados históricos e a nova previsão do *Annual Energy Outlook* (AEO) 2020 da EIA (GEI, 2020).

A pontuação média do Índice para o período de 30 anos de 1970 a 1999 é de 84,9. Isso inclui anos com pontuações relativamente muito altas (100 em 1980) e muito baixas (74,9 em 1992). Segundo o documento, os EUA desfrutaram em 2019 de sua melhor segurança energética desde 1970. Após uma pontuação recorde de alto risco em 2011 de 100,9, a pontuação total de risco dos EUA caiu em sete dos últimos oito anos, atingindo uma baixa recorde de 70,1 em 2019, apresentando queda de 5,5% em relação a 2018. A pontuação de risco total caiu 30,7 pontos desde o recorde de 2011. Nos oito anos desde que a pontuação de risco dos EUA atingiu seu pico em 2011, ela caiu 30% (GEI, 2020).

Não há precedentes de elevação ou redução do risco comparável em um período de tempo tão curto, nem mesmo durante as graves crises geopolíticas e de energia da década de 1970. Isso se deveria, de acordo com o GEI, à revolução do xisto nos Estados Unidos. Os Estados Unidos produziram mais energia total do que consumiram em 2019, tornando-se um exportador líquido de energia pela primeira vez desde 1952. Isso resultou de uma combinação de um aumento expressivo em produção doméstica de P&G além da melhoria da eficiência e conservação energéticas (GEI, 2020). Para Ang *et al.* (2015), enxerga-se elevação da segurança energética de um ator a partir do incremento da eficiência energética dada a redução do consumo de energia necessário para se exercer as mesmas atividades.

A redução dos riscos em 2019 foi ampla, com 21 métricas do índice mostrando quedas de pelo menos 1%, e nove métricas alcançando sua pontuação mais baixa. A maior parte da queda total no risco, no entanto, pode ser atribuída a grandes reduções na importação de combustível. As métricas que medem os gastos com importação de petróleo e gás natural

como uma parcela do PIB e as importações de petróleo caíram entre 75% e 86% e se aproximaram de zero em 2019. Os preços do petróleo continuaram a cair 11,4% em 2019 em relação ao aumento em 2017. A métrica relativa a emissões de dióxido de carbono relacionadas com a energia também caiu significativamente (quase 12%) (GEI, 2020).

A produção doméstica de petróleo bruto cresceu 11,3%, ou quase 1,3 milhão de barris por dia (bbl/d), para quase 12,2 milhões de bbl/d em 2019. O volume produzido em 2019 fez dos Estados Unidos o maior produtor mundial. Dados preliminares indicavam que esses números seriam menores em 2020. Já a produção de gás natural de 2019, também recorde, subiu 10,6% para 40,7 trilhões de pés cúbicos (tcf), liderando a produção de gás natural no ano. Após elevação em 2018, os preços do petróleo bruto caíram 11% em 2019, de US\$ 72,58 para US\$ 64,30 por barril, sem afetar a produção estadunidense de forma significativa. Todas as métricas referentes à eficiência do uso de energia ou a riscos de intensidade mostraram melhorias em 2019 de acordo com o estudo (GEI, 2020).

Os riscos relacionados a todas as métricas no grupo ambiental diminuíram em 2019. As reduções nas emissões do setor de energia têm sido o principal, mas não o único, impulsionador da redução das emissões nos últimos anos. Muitos fatores contribuíram para as reduções neste setor, incluindo a mudança do carvão para o gás natural na geração primária de energia, maior eficiência e aumento da geração a partir de fontes renováveis (GEI, 2020).

Segundo o relatório, os riscos devem permanecer baixos até 2040. Com base no AEO 2020 da EIA, afirmam que há uma probabilidade de média do risco estadunidense de 69,3 entre 2020 e 2040, com oscilação entre 67,9 e 70,4. Estes são os valores mais baixos já projetados pelo GEI usando a previsão anual da EIA. A alta produção de energia doméstica contínua, atrelada à melhor eficiência energética e desempenho ambiental, seriam fatores que contribuíram para esta previsão positiva (GEI, 2020).

A previsão sugeria que três pontuações de risco de métrica adicionais deveriam cair para zero em 2020. Além da métrica para risco de importação de gás natural, que atingiu uma pontuação de zero em 2017, as pontuações de risco para três outras métricas relacionadas à importação foram projetadas para chegar a zero em 2020: risco de importação de petróleo; despesas com importação de petróleo e gás natural; e despesas com importação de petróleo e gás natural por PIB. O relatório afirmava, ainda, que a pandemia de coronavírus poderia atrasar o cumprimento desses marcos (GEI, 2020).

### **2.1.4 Annual Energy Outlook 2020 (AEO2020)**

No documento de prospecção de cenários para 30 anos publicado pelo Departamento de Energia estadunidense em janeiro de 2020, adota-se um cenário-referência a partir de dados da EIA em que o consumo energético dos EUA cresce mais lentamente do que seu produto interno bruto ao longo do período de projeção à medida em que sua eficiência energética continua a aumentar. Este declínio na intensidade energética da economia dos EUA continuaria até 2050 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

Segundo o relatório, o mix de geração de eletricidade estadunidense continuaria a experimentar uma rápida taxa de mudança, com as energias renováveis sendo a fonte de geração de eletricidade de crescimento mais rápido até 2050 devido aos declínios contínuos nos custos para energia solar e eólica, também apoiados por créditos fiscais. A geração de eletricidade nuclear e a carvão dos EUA é apontada como decrescente (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

Os Estados Unidos continuariam a produzir níveis historicamente altos de petróleo bruto e gás natural, segundo o relatório. O lento crescimento do consumo interno desses combustíveis leva ao aumento das exportações de petróleo bruto, produtos petrolíferos e GNL. Depois de caírem durante a primeira metade do período de projeção, as emissões totais de dióxido de carbono relacionadas à energia dos EUA retomariam um crescimento modesto na década de 2030, impulsionadas em grande parte por aumentos na demanda de energia nos setores de transporte e industrial. No entanto, em 2050, preveem que permanecerão 4% abaixo dos níveis de 2019 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

Os efeitos das premissas econômicas sobre o consumo de energia modelado no AEO2020 são abordados nos cenários de Alto Crescimento Econômico e Baixo Crescimento Econômico, que pressupõem taxas compostas de crescimento anual para o PIB dos EUA de 2,4% e 1,4%, respectivamente, de 2019 a 2050, em comparação com o crescimento de 1,9% ao ano no cenário de referência (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b). O crescimento econômico impulsiona o consumo de energia nos cenários apresentados. Os cenários de alto e baixo crescimento econômico abordam esses efeitos, modificando o crescimento populacional e as premissas de produtividade ao longo do período de projeção para produzir taxas compostas de crescimento anual maiores ou menores para o PIB dos EUA (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

O relatório apresenta como incerto o futuro da progressão da redução de custos das energias renováveis. O cenário de Alto Custo de Renováveis não presume nenhuma redução de custo adicional para energias renováveis e o cenário de Baixo Custo de Renováveis assume uma alta taxa sustentada de redução de custo. O cenário de referência considera que as taxas de redução de custos diminuem gradualmente (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

Os preços do petróleo bruto atribuídos pela EIA no AEO2020 são influenciados mais por avaliações dos mercados internacionais do que por suposições sobre recursos domésticos e avanços tecnológicos. No cenário de alto preço do petróleo, a EIA projeta que o preço do petróleo bruto Brent atinja US\$183 por barril (b) em 2050, em comparação com US\$105/b no cenário de referência e US\$46/b no cenário do preço baixo do petróleo (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

À medida em que a demanda de eletricidade cresce modestamente, os três principais motivadores para novas capacidades no cenário de referência são aposentadorias de unidades de combustível fóssil mais antigas e menos eficientes; a disponibilidade de curto prazo de créditos fiscais de energia renovável; e a redução contínua do custo de capital das energias renováveis, especialmente a solar PV. Os baixos preços do gás natural e os custos favoráveis das energias renováveis acabariam por fazer o gás natural e energias renováveis serem as fontes primárias em novas instalações até 2050. O mix de geração futura é sensível ao preço do gás natural e ao crescimento da demanda por eletricidade (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

Embora a demanda de eletricidade de curto prazo possa flutuar como resultado de mudanças anuais no clima, as tendências na demanda de longo prazo tendem a ser impulsionadas pelo crescimento econômico compensado por aumentos na eficiência energética. O crescimento anual da procura de eletricidade é em média de cerca de 1% ao longo do período de projeção (2019-2050) no cenário de referência. O crescimento nas vendas de eletricidade projetadas durante o período de projeção seria maior se não fosse pelo crescimento significativo na geração de sistemas PV de telhado, principalmente em edifícios residenciais e comerciais e sistemas combinados de calor e energia em aplicações industriais e algumas comerciais. Em 2050, a energia solar PV de uso final representa 4% da geração dos EUA no caso de referência (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

O valor da energia eólica se aproxima de seu custo em quase metade das regiões dos Estados Unidos. Estas regiões assistem a novas construções de capacidade eólica no cenário

de referência, principalmente antes da eliminação progressiva do crédito fiscal de produção, ao longo do início da década de 2020. Mudanças nos custos de geração de eletricidade do AEO2020 ao longo do tempo refletem uma série de fatores, às vezes atuando em direções diferentes (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

Tanto para a energia solar PV quanto para a energia eólica *onshore*, o custo nivelado da eletricidade aumenta no curto prazo com a eliminação e expiração do crédito fiscal de investimento. No entanto, diminui ao longo do tempo porque as melhorias tecnológicas tendem a manter os preços baixos por meio de menor custo de capital ou melhor desempenho, parcialmente compensando a perda dos créditos fiscais. Energia solar pode mostrar fortes padrões de geração diária em qualquer região e o relatório aponta que o custo nivelado da energia solar PV diminui com o tempo, à medida em que o mercado fica saturado com geração de recursos com padrões de geração horária semelhantes (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

O AEO2020 coloca que a geração a partir de fontes renováveis aumentará de 18% da geração total em 2018 para 38% até 2050 no cenário de referência. A energia solar PV é a que mais contribui para o crescimento da geração renovável, aumentando de 13% da geração renovável total em 2018 para 46% até 2050. Embora a geração eólica *onshore* mais do que duplique durante o período de projeção, sua participação na geração renovável diminuiria ligeiramente de 37% a 29% entre 2018 e 2050 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

A geração solar PV é a que mais cresce nas regiões Sudeste e Centro-Oeste em quase todos os cenários. Em média, essas duas regiões têm preços de gás natural nos EUA mais altos do que a média, tornando a geração de gás natural uma opção mais cara para substituir o carvão ou a geração nuclear. Como a energia solar PV é gerada principalmente durante o dia, ela pode substituir a geração de gás natural durante os períodos de maior demanda. As regiões com capacidade eólica existente continuam a ter seus parques incrementados até 2050 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020b).

## **2.2 Dados do setor mineral**

Os dados apresentados são todos provenientes do *United States Geological Survey* (USGS), serviço geológico estadunidense. Em sua página eletrônica, USGS publica relatórios anuais sobre cada mineral em formato pdf e xls. Os arquivos em formato xls para o setor de

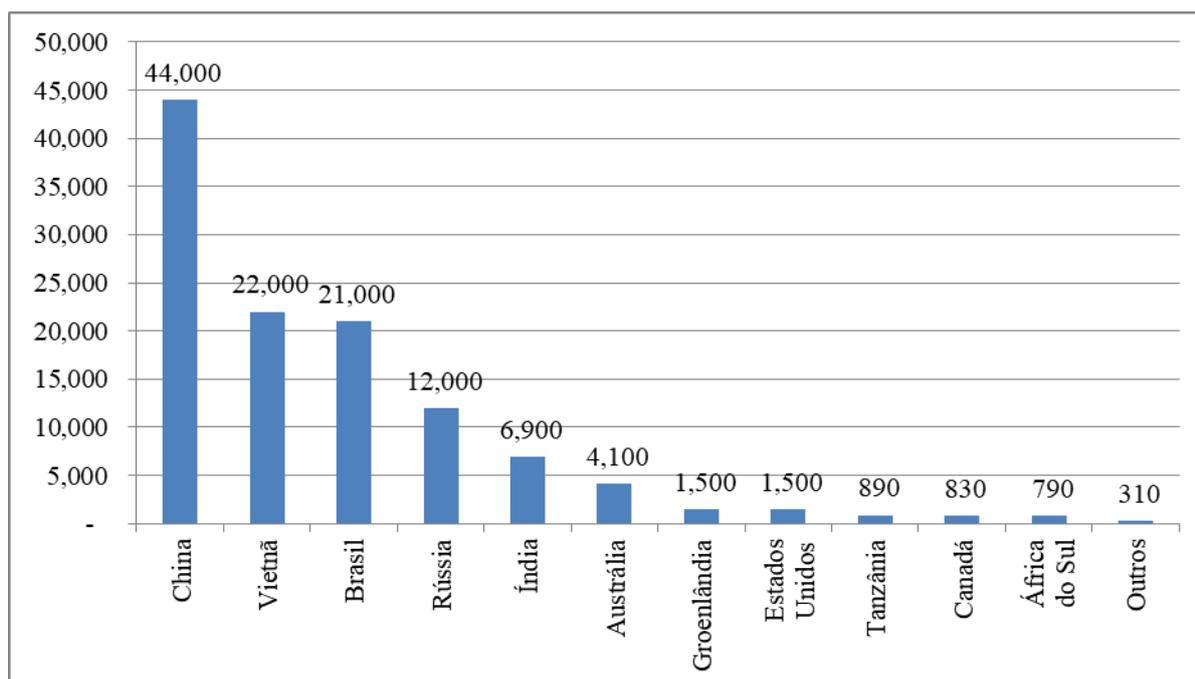
terras-raras, mais detalhados, todavia, tiveram sua última publicação em 2017. Buscamos, assim, conciliar os dados apresentados nos dois formatos de forma a trazer análises e fontes mais atuais e mais detalhadas, embora tenhamos encontrado limitações quanto à disponibilidade destes.

### **2.2.1 Reservas internacionais de terras raras**

As reservas internacionais de terras-raras, isto é, os “volumes rochosos com determinadas características indicativas de seu aproveitamento econômico” (GOMIDE *et al.* 2018) em todos os países, é apresentada pelo serviço geológico estadunidense como totalizando cerca de 120.000.000 toneladas (t). Os cinco países de maiores reservas segundo dados referentes ao ano de 2020 foram apontados pela agência como sendo a China, com 44.000.000 toneladas (36,7% da totalidade internacional), o Vietnã, com 22.000.000 (18,3%), o Brasil, com 21.000.000 (17,5%), a Rússia, com 12.000.000 (10,0%) e a Índia, com 6.900.000 (5,8%) (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2021).

A queda abrupta observada no registro das reservas estadunidenses observada entre os anos de 2013 e 2014 se deve a uma alteração na metodologia de levantamento de dados de reservas. Passou-se a contabilizar como reservas somente os recursos que estariam dentro dos limites permitidos para extração segundo parâmetros internacionais de boas práticas (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2015). A disparidade entre as dotações de cada país fica evidenciada pelo Gráfico 1. Nota-se que a China possui o dobro das reservas do Vietnã, o segundo país de maiores reservas, colocando-a em uma vantagem expressiva devido a suas reservas de terras-raras. Demais países e anos podem ser vistos na Tabela 1.

**Gráfico 1: reservas internacionais de terras-raras de acordo com a USGS, em 2020 (em milhares de t).**



Fonte: Elaboração própria com base em USGS.

**Tabela 1: reservas de terras-raras por países de 2001 a 2020 (em t).**

África do Sul	Outros	Tanzânia	Commonwealth	Ex-URSS	Malawi	Malásia	Sri Lanka	Global
390,000.00	21,000,000.00			19,000,000.00		30,000.00	12,000.00	100,000,000.00
390,000.00	21,000,000.00			19,000,000.00		30,000.00	12,000.00	100,000,000.00
390,000.00	21,000,000.00			19,000,000.00		30,000.00	12,000.00	100,000,000.00
390,000.00	21,000,000.00			19,000,000.00		30,000.00	12,000.00	88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00	12,000.00	88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	22,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		88,000,000.00
	41,000,000.00					30,000.00		99,000,000.00
	41,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		110,000,000.00
	41,000,000.00		19,000,000.00			30,000.00		110,000,000.00
	41,000,000.00					30,000.00		110,000,000.00
	41,000,000.00					30,000.00		140,000,000.00
	41,000,000.00					30,000.00		130,000,000.00
	41,000,000.00					30,000.00		130,000,000.00
860,000.00					136,000.00	30,000.00		120,000,000.00
860,000.00					136,000.00	30,000.00		120,000,000.00
860,000.00	4,400,000.00				140,000.00	30,000.00		120,000,000.00
790,000.00	310,000.00							120,000,000.00
790,000.00	310,000.00	890,000.00						120,000,000.00
<b>Legenda:</b>								
	Presente em "outros"							
	Ausente da lista							

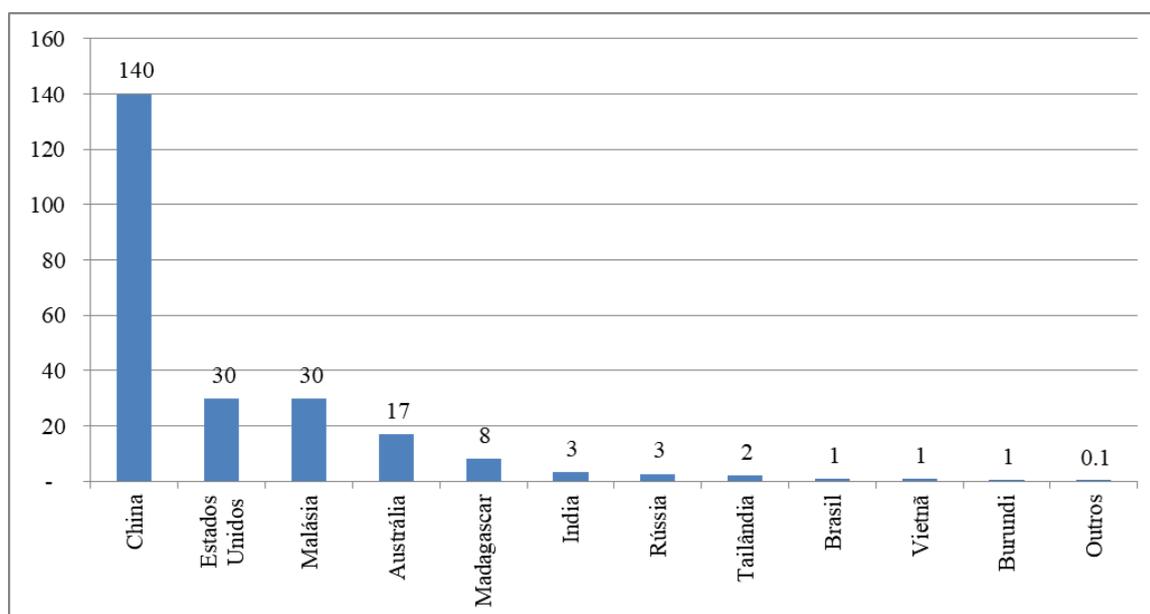


### 2.2.2 Produção internacional

De acordo com dados da USGS, a produção internacional de terras-raras foi liderada pelo mercado chinês em todo o recorte temporal de nosso trabalho. No ano de 2020, os cinco maiores produtores de terras-raras foram a China, com 140.000 toneladas (representando 58% do total), os Estados Unidos, com 30.000 t (13%), Malásia, com 30.000 t (13%), Austrália, com 17.000 t (7%), e Madagascar, com 8.000 t (3%). Como fica evidente, a liderança da China no mercado de terras-raras é expressiva, pela sua produção mais de 4 vezes superior à dos Estados Unidos, na segunda posição. O Gráfico 2 coloca esses valores em perspectiva. É possível observar na série histórica que a produção chinesa é a única a sustentar produção elevada em todo o período contemplado. Os Estados Unidos, por sua vez, apesar de se situarem no segundo lugar do *ranking*, não possuem uma produção regular no período observado.

O ano de maior concentração chinesa no setor de terras-raras foi 2010, em que sua produção de 130.000 toneladas, correspondendo a 97,7% do total (133.000 toneladas). Os outros países que tiveram alguma produção nesse ano foram a Índia, produzindo 2,800 t (2,1% do total) e o Brasil, que produziu 550 t (0,4%).

Ao analisar os valores da produção internacional ano a ano, vemos que nos três anos que sucederam a publicação da Ordem Executiva 13.817/2017, a produção estadunidense apresentou crescimento, como observado na Tabela 2. Nota-se uma interrupção na produção dos Estados Unidos em 2015. Segundo a USGS, essa parada ocorreu devido à impossibilidade do único empreendimento em funcionamento nos Estados Unidos de mineração e separação de terras-raras nesta época, a mina de Mountain Pass, em concorrer com os preços praticados pelas empresas chinesas (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016). O empreendimento ficou ocioso até suas atividades serem retomadas em 2018 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019).

**Gráfico 2: produção internacional de terras-raras no ano de 2020 (em milhares de t).**

Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

Tabela 2: produção internacional de terras-raras de 2001 a 2020 (em t).

Ano/ pais	China	Estados Unidos	Malásia	Austrália	Madagascar	Índia	Rússia	Taiilândia	Brasil	Vietnã	Burundi	Outros	Malásia	Commonwealth*	Ex-URSS	Malauai	Total aproximado
2001	73,000.00	5,000.00				2,700.00			200.00				450.00		2,000.00		83,500.00
2001	73,000.00	5,000.00				2,700.00			200.00				450.00		2,000.00		83,500.00
2002	88,000.00	5,000.00				2,700.00			200.00	0			450.00	2,000.00	2,000.00		98,300.00
2003	92,000.00					2,700.00		2,200.00					250.00	2,000.00			99,100.00
2004	95,000.00					2,700.00		2,200.00					250.00	2,000.00			102,000.00
2005	119,000.00					2,700.00			750.00			400.00	750.00				123,000.00
2006	119,000.00					2,700.00			730.00				200.00				123,000.00
2007	120,000.00					2,700.00			650.00				380.00				124,000.00
2008	120,000.00					2,700.00			650.00				380.00				124,000.00
2009	129,000.00					2,700.00			550.00				350.00				133,000.00
2010	130,000.00					2,800.00			550.00				30.00				133,000.00
2011	105,000.00			2,200.00		2,800.00			250.00				280.00				111,000.00
2012	100,000.00	800.00		3,200.00		2,900.00	2,400.00		140.00	220.00			100.00				110,000.00
2013	95,000.00	5,500.00		2,000.00		2,900.00	2,500.00	800.00	330.00	220.00			180.00				110,000.00
2014	105,000.00	5,400.00		8,000.00			2,500.00	2,100.00		200.00			240.00				123,000.00
2015	105,000.00	5,900.00		12,000.00		1,700.00	2,800.00	760.00	880.00	250.00			500.00			0	130,000.00
2016	105,000.00			15,000.00		1,500.00	2,800.00	1,600.00	2,200.00	220.00			300.00			0	129,000.00
2017	105,000.00			19,000.00		1,800.00	2,600.00	1,300.00	1,700.00	200.00	0		180.00			0	132,000.00
2018	120,000.00	18,000.00		20,000.00		1,800.00	2,700.00	1,000.00	1,100.00	920.00	630.00		200.00			0	170,000.00
2019	132,000.00	28,000.00		20,000.00	4,000.00	2,900.00	2,700.00	1,900.00	710.00	1,300.00	200.00		66.00			0	220,000.00
2020	140,000.00	30,000.00		17,000.00	8,000.00	3,200.00	2,700.00	2,000.00	1,000.00	1,000.00	500.00		100.00				240,000.00

Legenda:

Sem dados	
Ausente da lista	

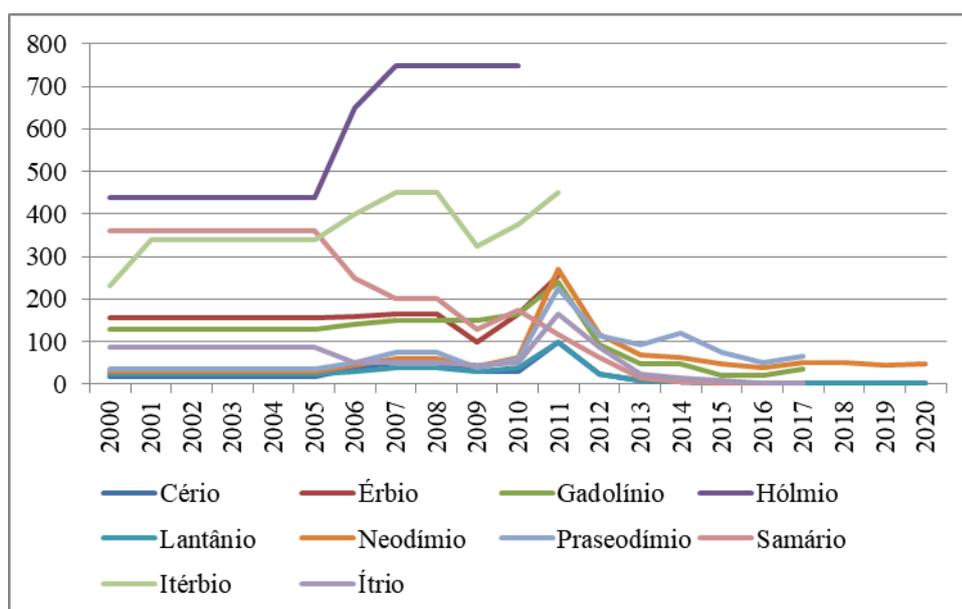
Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

### 2.2.3 Nível de preços

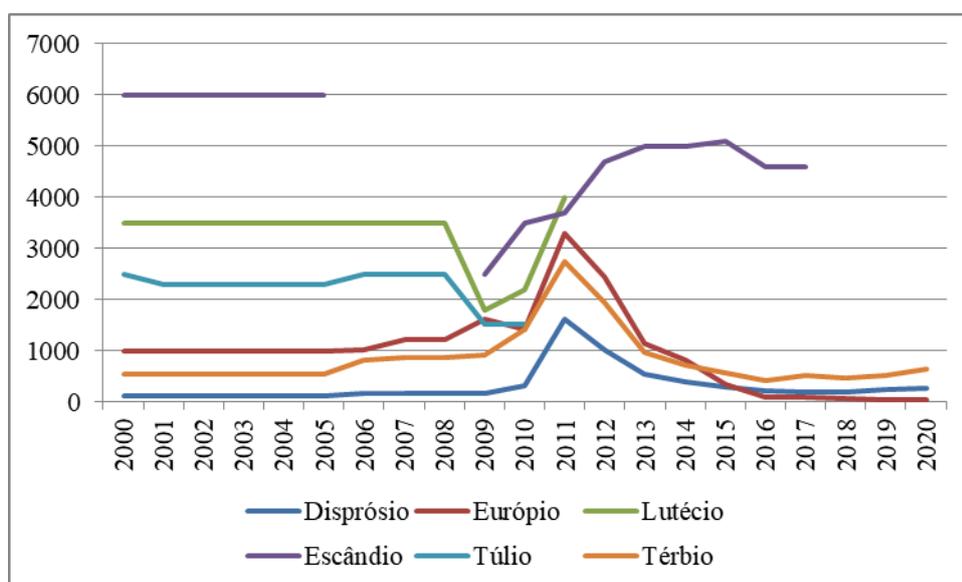
A USGS expõe em seus relatórios o nível de preços anual para cada uma das terras-raras. Os gráficos gerados para este trabalho foram separados em duas categorias: 1) terras-raras que se mantiveram abaixo do valor de US\$ 800/kg em toda a sua série histórica e 2) terras-raras que atingiram esse valor em ao menos um momento do período abordado. A divisão foi realizada estritamente para que a visualização dos dados fosse mais nítida. Os dados coletados foram disponibilizados pela USGS de forma assimétrica, de forma que nem todas as séries temporais puderam compreender todos os 20 anos de nosso recorte temporal. Portanto, os dados da série histórica em forma de tabela com todos os insumos disponibilizados pela USGS estão presentes no Anexo 1 deste trabalho.

Observa-se no decorrer da série temporal uma elevação acentuada dos valores de todos os metais de terras-raras no ano de 2010. Neste ano, a China iniciou uma restrição de exportações de óxidos de terras-raras através de cotas e tarifas de exportações que causaram uma alta significativa nos preços dos produtos. Ao final do ano, os metais tiveram seus preços elevados em mais de 200% em relação à mesma época no ano anterior. O movimento do governo chinês teve como motivação uma regulamentação interna de seu mercado envolvendo novas diretrizes ambientais (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010). Atribui-se, ainda, que as restrições se deram por um contencioso entre China e Japão acerca de uma disputa territorial (GASPAR FILHO, 2019).

A IRENA afirma que nesse episódio, as terras raras foram percebidas como escassas em parte porque, como todos os mercados de *commodities*, os mercados de terras raras são cíclicos. Quando há uma elevação da demanda, a oferta tem resposta vagarosa porque novos projetos de mineração têm prazos de entrega longos. O lapso de tempo faz com que os preços disparem e preços altos podem levar as empresas a investir em excesso. Conforme os preços subiram, o investimento fluiu para projetos de mineração, levando os preços ao colapso em 2012. Em virtude dos acontecimento, em 2014, os EUA, Japão e União Europeia apresentaram um contencioso à OMC, contestando a decisão da China de restringir a exportação dos materiais (IRENA, 2019a).

**Gráfico 3: preço de terras-raras com valores inferiores a US\$ 800 (US\$/kg).**

Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

**Gráfico 4: preço de terras-raras com valores superiores a US\$ 800 (US\$/kg).**

Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

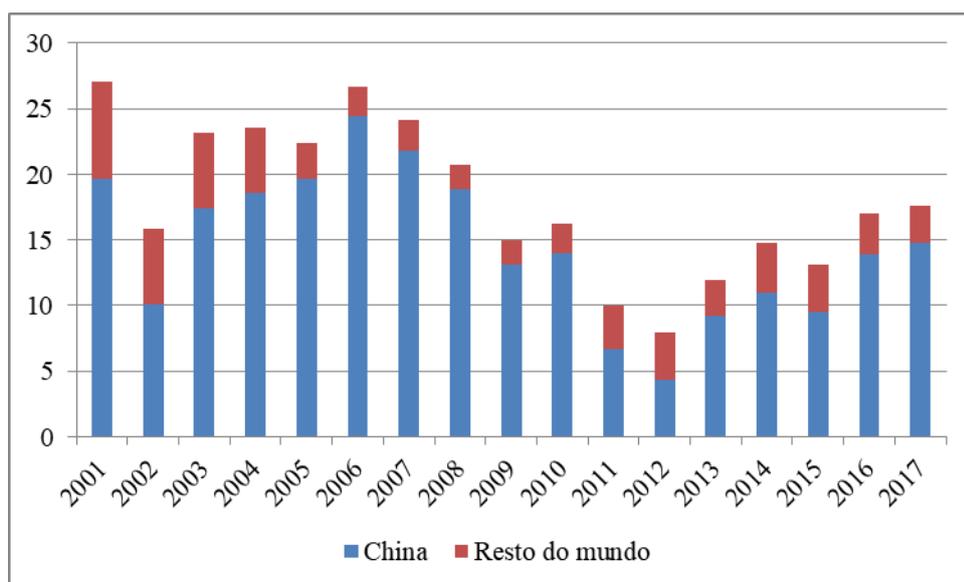
## 2.2.4 Importações de terras-raras pelos Estados Unidos

Em todo o período observado, a China se manteve como principal fonte de terras-raras para os Estados Unidos, em forma de compostos, metais e ligas. Como pode ser observado nos Gráficos 5 e 6, as curvas de importação da China em quilos e em dólares possuem

silhueta extremamente semelhante às mesmas curvas em valores totais, evidenciando a dependência das importações deste país. Com o pico de preços observado na seção anterior no ano de 2010, vemos nos Gráficos 5 e 6 que, apesar de um decréscimo das importações em toneladas na mesma época, houve um crescimento significativo dos preços pagos pelos metais, compostos e ligas de terras-raras.

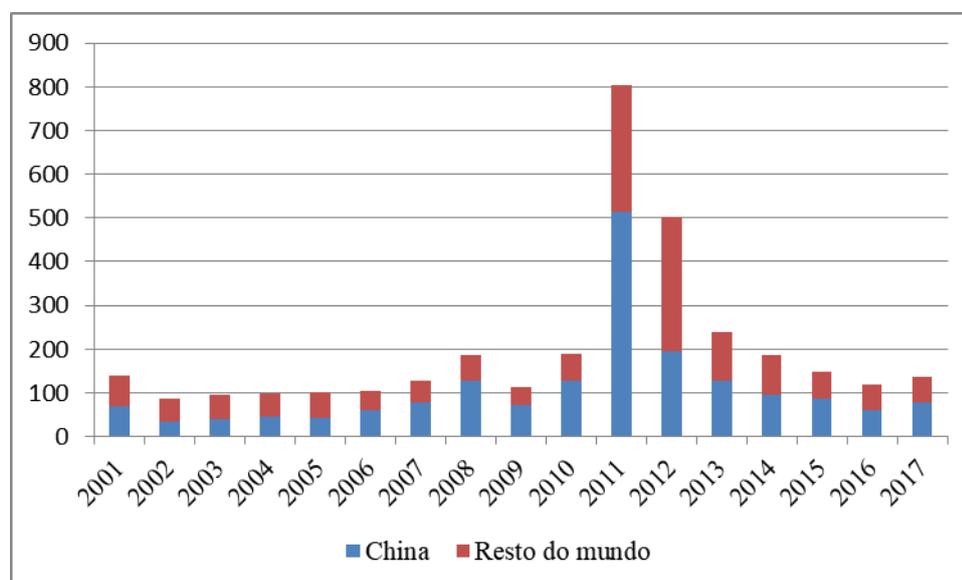
As tabelas detalhadas redigidas a partir de dados disponibilizados pela USGS se encontram no Anexo 2. Os países que figuraram nos primeiros cinco lugares de exportadores de terras-raras para os Estados Unidos ao longo do período detalhado pela USGS (2001-2017) foram a China, França, Japão, Rússia, Áustria, Índia, Estônia, Hong Kong, Malásia e Reino Unido.

**Gráfico 5: importações de terras-raras pelos Estados Unidos, 2001-2017 (em milhares de t).**



Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

**Gráfico 6: importações de terras-raras pelos Estados Unidos, 2001-2017 (em milhões de US\$).**



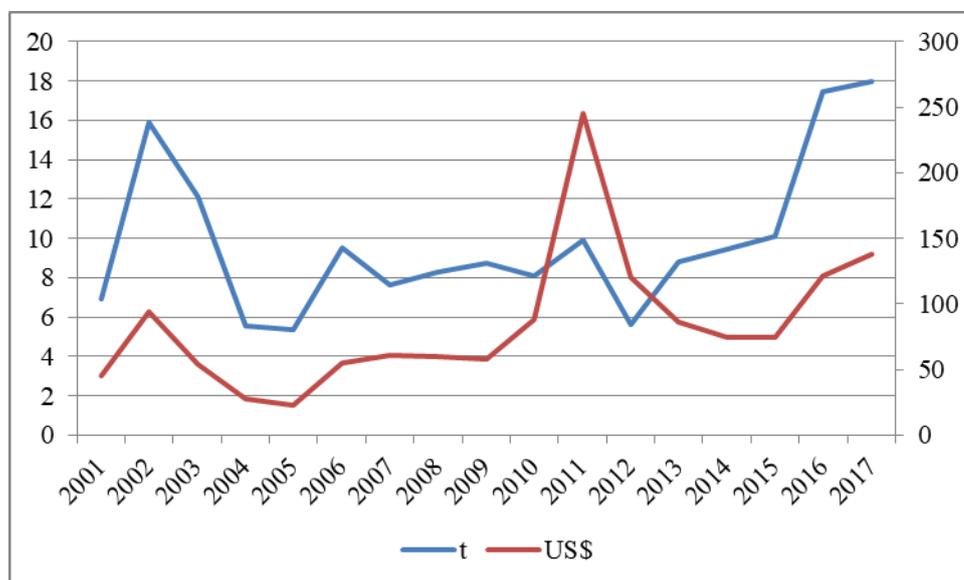
Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

### 2.2.5 Exportações de terras-raras pelos Estados Unidos

Como observado nos gráficos de importações em dólares e toneladas, o momento de maior retorno financeiro dos Estados Unidos na série histórica não ocorreu em seu momento de maior exportação em toneladas. Isso se deu pelo pico de preços que afetou o mercado internacional sem que necessariamente os valores tenham acompanhado uma alta significativa das exportações.

Os países que se apresentaram como cinco maiores importadores de terras-raras estadunidenses ao longo do período histórico observado foram, em ordem decrescente de importações em toneladas: Japão, Canadá, Alemanha, México, China, Estônia, Coreia do Sul, Índia, Arábia Saudita, Turquia, Países Baixos, Egito, Filipinas e Hong Kong.

**Gráfico 7: Exportações de terras-raras pelos Estados Unidos quando (em milhares de t e milhões de US\$).**



Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

### 2.2.6 Estoque estratégico de terras-raras do governo federal estadunidense

De acordo com o *Strategic and Critical Materials Stockpiling Act*, de 1939, a presença de determinados recursos naturalmente em território estadunidense pode ser deficitária de forma a não ser capaz de suprir as atividades econômicas e de Defesa do país. De acordo com esse decreto ainda em vigor, o governo federal pode requisitar ao Congresso nacional a compra para armazenamento de determinados recursos essenciais à Defesa Nacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 1939).

Os dados apresentados abaixo traduzem o estoque mantido pelo governo federal estadunidense de diferentes tipos de terras-raras em seu *National Defense Stockpile*. É possível observar que não há registros anteriores a 2017 desses minerais no estoque estratégico, sugerindo tratamento recente a esses recursos como estratégicos a ponto de serem incorporados ao inventário.

Observa-se também a requisição de potenciais aquisições para os anos fiscais seguintes a cada levantamento do inventário desses recursos minerais. Entretanto, em que pese a necessidade das terras-raras para atividades essenciais à segurança do país, não se observa crescimento significativo do estoque nacional estratégico.

**Tabela 3: estoque nacional de terras-raras e requisições feitas de 2017 a 2021 (em t).**

Elemento/ ano	Inventário em 30/09/16	Ano Fiscal 2016	
		Potenciais aquisições	Potenciais descartes
Cério	0		
Disprósio	0	0.5	
Európio	0		
Ferrodiprósio	0		
Lântano	0		
Terras-raras	0		
Terras-raras para confeção de ímãs	0		
Óxido de ítrio	8.8	10	
	Ausente da lista		
Elemento/ ano	Inventário em 30/09/17	Ano Fiscal 2017	
		Potenciais aquisições	Potenciais descartes
Cério			
Disprósio	0.1	0	0
Európio			
Ferrodiprósio	0.5	0	0
Lântano			
Terras-raras			
Terras-raras para confeção de ímãs			
Óxido de ítrio	24.5	0	0
	Ausente da lista		
Elemento/ ano	Inventário em 30/09/18	Ano Fiscal 2018	
		Potenciais aquisições	Potenciais descartes
Cério			
Disprósio	0.1	0.5	0.5
Európio	7.1	18	0
Ferrodiprósio	0.5	0	0
Lântano	0	0	0
Terras-raras	0	416	0
Terras-raras para confeção de ímãs	0	0	0
Óxido de ítrio	25	10	0
	Ausente da lista		

Elemento/ ano	Inventário em 30/09/19	Ano Fiscal 2019	
		Potenciais aquisições	Potenciais descartes
Cério			
Disprósio		0	0
Európio	0.2	0.5	0
Ferrodiprósio	20.9	35	0
Lântano	0.5	0	0
Terras-raras	0	416	0
Terras-raras para confeção de ímãs	0	100	0
Óxido de ítrio	25	10	0
	Ausente da lista		
Elemento/ ano	Inventário em 30/09/20	Ano Fiscal 2020	
		Potenciais aquisições	Potenciais descartes
Cério	0	900	
Disprósio	0.2	0	0
Európio	20.9		0
Ferrodiprósio	0.5		0
Lântano	0	4,100	0
Terras-raras			0
Terras-raras para confeção de ímãs	0	100	0
Óxido de ítrio	25	600	0
	Ausente da lista		
Elemento/ ano	Ano Fiscal 2021		
	Potenciais aquisições	Potenciais descartes	
Cério	500	0	
Disprósio	20	0	
Európio	0	0	
Ferrodiprósio	0	0	
Lântano	1300	0	
Terras-raras			
Terras-raras para confeção de ímãs	100	0	
Óxido de ítrio	600	0	
	Ausente da lista		

Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.

### 2.2.7 Aplicações das terras-raras consumidas nos Estados Unidos

Dados fornecidos pelo serviço geológico estadunidense nos permitem analisar como as terras-raras são utilizadas pela indústria dos Estados Unidos. A divisão feita na Tabela 4 possui algumas colunas aparentemente redundantes, porém sua disposição reflete a metodologia aplicada a cada ano pela USGS para descrever as atividades que utilizaram os recursos trabalhados.

Para os fins pertinentes a este trabalho, a aplicação de terras-raras se faz necessária primariamente em tecnologias geradoras de energia eólica a partir da fabricação de ímãs-

permanentes aplicados em suas turbinas. Observa-se que a partir do ano de 2015, a confecção desses ímãs passou a não figurar na relação de atividades-fim para esses recursos. Isto porque as empresas estadunidenses deixaram de produzir estes ímãs em função da impossibilidade de concorrer com os preços praticados pelas empresas chinesas no mercado (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).



## 2.3 Análise

A discussão de relatórios do setor elétrico voltados para projeções de cenários nos permite a abordagem do nexo segurança energética-minerais críticos não-energéticos enxergando as tendências existentes envolvendo todos os elementos presentes na elaboração desse nexo. Os relatórios trazidos nos fornecem insumos informacionais apropriados, ao abordarem a temática da segurança energética, da transição energética, dos minerais críticos e das tendências de mudança. A menção feita pela IRENA aos minerais utilizados nas cadeias de produção sugere o reconhecimento do nexo proposto pela agência, ainda que considere o advento das energias renováveis um fator que tende a elevar a segurança energética dos Estados.

A abordagem dos entraves impostos pelos minerais críticos à transição energética é condizente com a necessidade de inserção da análise do ciclo de vida dos produtos trazida por Wang *et al.* (2019) e Watari *et al.* (2019). Indo além, os autores criticam que somente a consideração da necessidade de minerais críticos tende a não sopesar as consequências socioambientais da extração e processamento de minerais. Ao analisarmos a cadeia de produção de maneira holística, como afirma Hensel (2011), propiciamos o desenvolvimento de mecanismos para que se reduzam os riscos existentes. Isso envolveria a mudança de posicionamentos existentes entre Estados detentores de diferentes capacidades de desenvolvimento tecnológico, proprietários de patentes, produtores e consumidores (HENSEL, 2011).

De modo geral, os riscos apontados por todos os relatórios se apresentaram como baixos para a segurança energética estadunidense. Isso se apresenta desta forma pela revolução da extração de P&G de xisto em solo estadunidense, o que tornou os Estados Unidos um exportador líquido de GNL com potencial de também sê-lo no setor de petróleo. Entretanto, tratam-se de combustíveis poluentes que tendem a ter sua utilização reduzida quando do avanço da transição energética.

O Centro-Oeste estadunidense parece ser a região com maior potencial para se beneficiar de torres eólicas *onshore*, pela sua dotação natural de ventos e também pela sua falta de integração presente com demais sistemas elétricos do país. A dimensão continental do país deve ser levada em consideração para fazer análises completas que não desconsiderem a possibilidade do alcance assimétrico da segurança energética dentro do território de um Estado. Como apontado por Arent *et. al* (2017), faz-se necessária a

implementação de diversas políticas para fomentar a transição e essas políticas devem ser eficazes em todo o mundo. Argumentamos que isso incluiria a abrangência estatal da transição.

Segundo a IRENA, as três categorias de países que têm potencial para emergir como novos líderes em energia renovável seriam países com alto potencial técnico para geração de energia renovável, os ricos em minerais e os líderes em inovação tecnológica. Observamos na série histórica apresentada de produção internacional de terras-raras a constância da produção chinesa em todos os anos apresentados, além de observamos nas informações trazidas nos relatórios que a China possui uma vantagem significativa no setor tecnológico voltado para energias limpas, com altos índices de registros de patentes, desenvolvimento de materiais e exportação de equipamentos.

Apesar de os relatórios apresentados apontarem que os Estados Unidos gozam de posição vantajosa no desenvolvimento de novas tecnologias, e de também observarmos que as reservas minerais do país são significativas, o controle do país sobre a cadeia produtiva como um todo não se apresenta como sendo constante. A busca pela segurança sobre as cadeias produtivas é observada em medidas de diferentes administrações. O esforço estatal através da publicação de estratégias e do comprometimento com parceiros estratégicos pode fazer com que os Estados Unidos obtenham maturidade técnica e institucional para se tornar um líder consolidado do setor renovável. É possível notar em uma série histórica de apenas 20 anos, dois hiatos em que a produção estadunidense foi extinta: entre 2003 e 2011 e entre 2016 e 2017.

A mudança na dinâmica de produção de terras-raras após 2017 demonstra uma possível resposta à publicação da Ordem Executiva 13.817/2017 com fins à redução da dependência estrangeira no setor. A continuidade dessa tendência há de ser acompanhada, observada a mudança da administração federal estadunidense. Apesar da redução da atividade econômica em decorrência da pandemia do novo coronavírus, não se observou redução da produção de terras-raras no ano de 2020. Ao contrário, nos Estados Unidos e em mais sete dos dez principais produtores de terras-raras de 2020, observou-se uma elevação em relação aos dados de 2019. Isso pode sugerir a priorização de um setor estratégico das economias.

Todavia, quando comparados os dados de produção de terras-raras do Estados Unidos aos dados de exportação, observa-se que quantias próximas da totalidade produzida são exportadas, revelando pouca utilização pela indústria nacional. O consumo das terras-raras

para a fabricação de ímãs-permanentes, ao ter sido zerado em 2015, revela grave falta de autonomia sobre a cadeia produtiva de energia eólica.

A IRENA coloca como improvável o surgimento de carteis no mercado de energias renováveis visto que a obtenção de minerais pode ser feita de diferentes formas, até mesmo através da reciclagem de materiais já utilizados. Esses fatores, somados às regras existentes do comércio internacional seriam impeditivos para a cartelização do setor (IRENA, 2019a). Contudo, o que se observa não é uma tendência à formação de carteis, mas a concentração da produção internacional de terras-raras tendendo ao monopólio chinês. Isto provocaria uma concentração de poder em um ator em uma etapa inicial da cadeia produtiva de tecnologias geradoras de energias limpas, podendo fazer com que ele se torne um *price-maker* do setor.

Apesar dos dados trazidos pelos relatórios apresentarem a possibilidade de custos tendendo à queda em todos os cenários propostos para energias renováveis, é possível enxergarmos o impacto no nível de preços do mercado de terras-raras em 2010 como um antecedente grave para o setor energético. Esse acontecimento, com elevação superior a 200% em menos de um ano, no mesmo ano em que a produção chinesa de terras-raras compôs 98% da totalidade internacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011), é um antecedente que não pode ser desconsiderado.

Posteriormente, observou-se em 2015 o fechamento de empreendimentos mineratórios estadunidenses devido aos baixos preços praticados por empresas chinesas, prejudicando a concorrência internacional. Ao tratar da estabilidade do mercado de terras-raras, enxerga-se que este possui uma produção extremamente concentrada e com preços com histórico elevado de volatilidade que, quando contrastados com as perspectivas de aumento da capacidade de geração de energias limpas dos atores internacionais, podem compor um risco elevado à concretização de suas metas.

Analisando dados produtivos e de reservas de atores internacionais parceiros dos Estados Unidos, observamos que a Austrália figura como quarto maior produtor de terras-raras nos dados de 2020. O país, ainda que tenha demonstrado queda de 15% entre 2019 e 2020, apresentou elevação constante de sua produção entre 2013 e 2019 e figura como 6º país de maior reserva internacional de terras-raras.

O Canadá, apesar de não apresentar nenhuma ocorrência na série histórica de produção de terras-raras, é o país analisado de 9ª maior reserva de terras-raras do mundo. Hoje, ele e a Austrália são países integrantes da *Energy Resources Governance Initiative* (ERGI), apresentada no terceiro capítulo, voltada para governança no setor de mineração

planejado para insumos para o setor de energias limpas. A cooperação com o Canadá e a Austrália aparenta ser uma possibilidade de se elevar a segurança energética dos Estados Unidos, dada a dotação natural dos recursos minerais em seus solos, a infraestrutura produtiva parcialmente existente e o reconhecimento dos três países como parceiros estratégicos tradicionais.

Os Estados Unidos, ainda que tenham demonstrado uma elevação de 60% de sua produção interna de terras-raras entre 2018 e 2020, não possuem uma série histórica devidamente estável para que possamos antecipar seu futuro em termos de tendências. Entretanto, dados recentes do governo Joseph Biden Jr apresentam uma tendência de continuidade na busca por controle estadunidense sobre as cadeias produtivas de produtos de alta tecnologia. Em 24 de fevereiro de 2021, foi assinada a *Executive Order on America's Supply Chains*, que, dentre outras provisões, requisita às agências competentes atualizações de dados referentes às medidas tomadas desde a assinatura da Ordem Executiva 13953/2020, que declarava uma emergência nacional para impulsionar o setor de terras-raras.

O documento expande esforços anteriores voltados então apenas para minerais de forma a se considerar cadeias produtivas inteiras. Destaca-se a necessidade de se assegurar especialmente a produção de chips para que se atinjam as conquistas tecnológicas da Quarta Revolução Industrial. Ao entrarmos no estudo de caso dos Estados Unidos no próximo capítulo, apresentaremos documentos oficiais que tendem a demonstrar o reconhecimento do setor mineral não-energético como análogo ao setor de energias limpas pelo poder Executivo Federal ao longo da série histórica analisada.

### Capítulo 3: Análise documental voltada para minerais críticos

O propósito deste capítulo é analisar documentos emitidos pelo Executivo federal estadunidense que dialoguem com a temática de minerais críticos, segurança energética e/ou transição energética. O recorte temporal aplicado engloba os anos de 2001 a 2020 de administração federal dos Estados Unidos, sendo esta representada por três presidentes e cinco mandatos: George W. Bush (janeiro de 2001 - janeiro de 2009), Barack Obama (janeiro de 2009 - janeiro de 2017) e Donald Trump (janeiro de 2017 - janeiro de 2021). Os documentos apresentados refletem iniciativas, institutos, discursos, estratégias e, no limite, o interesse manifestado pela administração pública nos temas abordados ao longo dos últimos 20 anos. O arcabouço documental trazido no capítulo oferece uma visão compreensiva das três últimas administrações estadunidenses completas, tendo o terceiro presidente abordado exercido apenas um mandato.

A pesquisa de documentos governamentais partiu da busca pelos verbetes “*critical minerals*”, “*mining*”, “*rare-earths*”, “*critical metals*”, “*critical materials*” e “*rare-earth minerals*” nos portais eletrônicos das três administrações contempladas no capítulo. Buscou-se aspectos relevantes de cada documento pertinentes ao conteúdo da dissertação. Nos textos levantados, tentou-se encontrar as temáticas de minerais críticos, transição energética, segurança energética e particular destaque para as terras-raras, pela sua relevância específica para este trabalho.

Identifica-se, ao longo dos textos abordados, contínua e crescente preocupação com políticas chinesas voltadas para o setor mineral, bem como sua concentração de mercado no setor. Como ficará evidente após a análise documental, o nexos entre minerais/materiais críticos e energias limpas é mais claramente observado em documentos das administrações Bush e Obama, uma vez que durante o governo Trump os documentos revelavam maior tendência a buscar o suprimento contínuo de minerais críticos para a indústria bélica. Ao final do capítulo, há duas tabelas demonstrativas dos conceitos de “minerais críticos” e “cadeias de produção” utilizados em cada um dos documentos oficiais analisados de forma a apresentar a evolução dos conceitos como definidos pelas publicações oficiais.

#### Quadro 5: Documentos de cada administração contemplados no presente capítulo

Administração	Principais documentos contemplados
---------------	------------------------------------

George W. Bush (janeiro de 2001 – janeiro de 2009)	<i>Hydrogen Fuel Initiative</i> (2004); e <i>Detailed Information on the U.S. Geological Survey - Mineral Resource Assessments Assessment</i> (2003-2008).
Barack Obama (janeiro de 2009 – janeiro de 2017)	<i>Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability</i> (2010); <i>Report on the Review of Minerals Management Service NEPA Procedures</i> (2010); <i>America Recycles Day</i> (2010); <i>Critical Materials Strategy</i> (2011); <i>Materials Genome Initiative for Global Competitiveness</i> (2011); <i>Critical Materials Institute</i> (2013); <i>Executive Order - National Defense Resources Preparedness</i> (2012); e <i>New Request for Information to Inform Strategy on Critical Materials</i> (2014).
Donald Trump (janeiro de 2017 – janeiro de 2021)	<i>Executive Order 13.817/2017: A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals</i> (2017); <i>Executive Order Regarding the Ocean Policy to Advance the Economic, Security, and Environmental Interests of the United States</i> (2018); <i>A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals</i> (2019); <i>Presidential Determination Pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended</i> (2019); <i>Energy Resources Governance Initiative</i> (2019); <i>Memorandum on Ocean Mapping of the United States Exclusive Economic Zone and the Shoreline and Nearshore of Alaska</i> (2019); e <i>Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from</i>

	<i>Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries (2020).</i>
--	---

Fonte: Elaboração própria.

### **3.1. Governo George W. Bush (janeiro de 2001 – janeiro de 2008)**

#### **3.1.1. Iniciativa - *Hydrogen Fuel Initiative* (2004)**

Iniciativa desenvolvida a partir do Ano Fiscal de 2004. Foi comandada pelo Departamento de Energia com o propósito de pesquisar e desenvolver células de combustível de hidrogênio. Alocou-se US\$1,2 bilhão distribuídos ao longo de cinco anos para que o este combustível passasse a integrar o portfólio de energias estadunidenses e resultasse na redução da dependência de petróleo importado bem como da emissão de GEE. No cronograma original da iniciativa, a intenção manifestada era de que em 2015 os Estados Unidos tivessem células de combustível de hidrogênio aptas a ser empregadas (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2015).

#### **3.2.2. Relatório - *Detailed Information on the U.S. Geological Survey - Mineral Resource Assessments Assessment* (2003-2008)**

O documento é um relatório acrescido anualmente entre 2003 e 2008 com a finalidade de acompanhar o programa *Mineral Resource Assessments* da U.S. Geological Survey (USGS). Observa-se um esforço para digitalizar os dados geológicos disponíveis à época, bem como para torná-los públicos. Tenta-se catalogar e prover dados acerca da administração de terras da União, utilização de terras no longo prazo e planejamento econômico. Busca-se avaliar novas formas eletrônicas de coleta de dados referentes a minerais. Há dedicação de verba específica para terras do estado do Alasca e para a redação de políticas referentes a materiais críticos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2008).

Iniciado em 2002 e finalizado em 2010, o *Global Mineral Resource Assessment Project* tinha como propósito a cooperação entre diferentes Estados para se aferir recursos minerais não-energéticos globais ainda não descobertos. Pretendia-se redigir a primeira análise global consistente e compreensiva dos minerais supracitados. A partir dos dados

obtidos, os atores envolvidos deveriam planejar a exploração e exploração minerais tendo em vista possíveis impactos econômicos e socioambientais dessas atividades (ZIENTEK *et al.*, 2010).

Os resultados obtidos por esse esforço compõem mapas e relatórios que apontam a probabilidade da existência de depósitos de cobre, potassa, e os seis elementos platinoides em diferentes regiões. A partir dos dados gerados, pretendia-se auxiliar na administração da utilização de terras nos países envolvidos e também se redigir planos econômicos o combate do desemprego, da pobreza e promover desenvolvimento (ZIENTEK *et al.*, 2010).

Dentre as ações anuais revistas pelo relatório, estavam a avaliação da utilização de formulários eletrônicos para coleta de dados de produção e consumo mineral, o direcionamento de fundos do programa a atividades para apoiar o uso da terra e decisões de política econômica de longo prazo e o melhoramento da acessibilidade e a aplicação das informações do programa. Posteriormente, foram incentivadas atividades do programa a apoiar o uso da terra e as decisões políticas de longo prazo, tornar relatórios e dados gerados mais acessíveis e fáceis de usar. Nos anos seguintes (2007 e 2008), foi priorizado o fornecimento de análises necessárias para atender às necessidades federais de gestão de terras e minerais no Alasca, bem como a utilização de fundos do programa para apoiar o uso de longo prazo da terra no Alasca e a políticas relativas a materiais críticos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2008).

### **3.2. Governo Barack Obama (janeiro de 2009 – janeiro de 2017)**

#### **3.2.1. Comitê - *Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability* (2010)**

O Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia (NSTC, na sigla em inglês) criou o Comitê para Meio Ambiente, Recursos Naturais e Sustentabilidade (CENRS, na sigla em inglês) com o intuito de reformar o Comitê para Meio Ambiente, Recursos Naturais (CENR, na sigla em inglês). Houve transferência automática de suas prerrogativas, subcomitês e atividades em andamento. O Comitê serviria como o principal intermediário para o presidente coordenar políticas de C&T (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010).

Seu propósito é aconselhar e assistir o NSTC para aumentar sua produtividade e garantir maior aplicabilidade de esforços federais de pesquisa e desenvolvimento (P&D). O Comitê garantiria um mecanismo formal de coordenação entre agências governamentais dentro das pautas de meio ambiente, recursos naturais, políticas de sustentabilidade e P&D, com abrangência doméstica e internacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).

Destacamos nesse trabalho, dentre os 14 subcomitês do Conselho, o Subcomitê para Cadeias de Produção de Minerais Críticos e Estratégicos (CSMSC, na sigla em inglês). Hoje, reformado, o Subcomitê tem o nome *Critical Minerals Subcommittee*. Sua Carta de criação afirma que esses recursos são cruciais para produção nas áreas de energia, informação e defesa, destacando bens eletrônicos, refino de petróleo, tecnologias médicas e de controle de poluição. O documento apresenta como potencial causador de rupturas nas cadeias produtivas a concentração geográfica desses recursos primários fora dos Estados Unidos, colocando em risco os objetivos de segurança econômica, energética e nacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).

A definição de mineral crítico adotada pela Carta se refere a um mineral que sirva a uma função essencial na manufatura de um produto, na ausência do qual, uma consequência econômica ou social significativa ocorreria, e cuja cadeia produtiva é vulnerável a rupturas. Índícios de criticalidade, segundo o documento, incluem baixa substituíbilidade por outros minerais, dependência de produtores estrangeiros para minério bruto ou refinado, e baixa variedade de fornecedores. Para a Carta, a cadeia de produção engloba a manufatura, incluindo mineração, extração, refino e manufatura (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).

O subcomitê tinha como finalidade auxiliar o CENRS e o NSTC em políticas, procedimentos e planos relacionados à identificação e previsão de criticalidade mineral, bem como a mitigação de riscos na aquisição e processamento dos minerais. O CSMSC deveria redigir, implementar e atualizar metodologias para se aferir a criticalidade de minerais em conjunto com as agências parceiras. Também era dever do Subcomitê analisar e revisar políticas domésticas e internacionais que afetassem o provimento de minerais críticos ou estratégicos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).

O Subcomitê fora composto de 14 departamentos e agências do governo federal. Seis organizações de dentro do Gabinete do Presidente eram também representadas de acordo com a Carta. Renovado na administração presidencial seguinte com pequenas alterações, o

CSMSC foi encerrado em 2017, no primeiro ano da administração Donald Trump (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).

### **3.2.2. Relatório - *Report on the Review of Minerals Management Service NEPA Procedures (2010)***

Publicação do *Council on Environmental Quality* (CEQ) sob o *National Environmental Policy Act* (NEPA) que elenca as revisões ambientais publicadas pelo *Minerals Management Service* (MMS), e o gabinete do *Department of the Interior* (DOI) dedicado a administrar recursos estadunidenses presentes na plataforma continental, como gás natural, petróleo e outros recursos minerais (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010).

O objetivo da publicação e implementação da NEPA é fundado no reconhecimento de que muitas atividades exercidas pelo governo federal afetam o meio ambiente de alguma forma e que este ator deve ser assistido por uma pluralidade de agências e indivíduos de forma a mitigar os impactos. O documento estipulou diversas recomendações de forma à atividade do MMS passar a exercer impactos ambientais mais reduzidos. Entre as recomendações, às quais o *Bureau of Ocean Energy Management, Regulation and Enforcement* (BOEM) também se comprometeu, estão:

- revisar a forma de execução de atividades exploratórias em águas profundas de acordo com a NEPA;

- garantir que documentos da NEPA possam dar aos tomadores de decisão insumos necessários para uma análise de possíveis impactos futuros associados à exploração de petróleo e gás na plataforma continental, ainda que em cenários de baixa probabilidade de derramamentos de óleo;

- revisar a proibição de perfurações da plataforma continental para exploração de óleo e gás (P&G), considerando o estado de desenvolvimento tecnológico da época e os possíveis impactos ambientais; e

- buscar a redução de prazos necessários para que se comece a executar planos de exploração da plataforma continental (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010).

### **3.2.3. Discurso presidencial - *America Recycles Day (2010)***

Considerando a reciclagem como uma etapa essencial da mitigação da dependência externa no setor de minerais críticos, destacamos este discurso presidencial que anunciou oficialmente a criação do *America Recycles Day* no dia 15 de novembro, que sublinhou especificamente a relevância das terras-raras para a indústria de tecnologia. O pronunciamento foi direcionado a indivíduos, comunidades, governos locais e negócios, de forma a incentivá-los a cooperar para reduzir a quantidade de lixo por eles produzido, reciclá-lo e desenvolver maneiras inovadoras de administrar recursos de forma sustentável (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010b).

O presidente afirmou que a reciclagem pode contribuir para a redução da pegada de carbono do país, criar empregos e promover o desenvolvimento econômico e social. A indústria de reciclagem era avaliada em 1 bilhão de dólares à época e poderia contribuir para o avanço da economia das energias limpas, segundo Obama (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010b).

O descarte de eletrônicos é frisado como uma tendência crescente e extremamente danosa ao ambiente e a indivíduos, especialmente quando descartados indiscriminadamente. Obama (2010) afirma que a maior parte dos bens eletrônicos descartados era alocada em aterros ou exportada para outros países, podendo causar impactos em outras localidades. A exportação e o depósito em outras regiões são apontados como uma perda de oportunidade de se recuperar recursos valiosos, como minerais de terras-raras (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010b).

O Governo Federal estabeleceu uma força-tarefa para a redação de uma estratégia nacional dedicada à administração responsável de bens eletrônicos que deveria incluir etapas dedicadas à coleta para reciclagem de aparelhos que contivessem materiais potencialmente danosos ao ambiente. Deveria também garantir a não-exportação de lixo eletrônico para nações em desenvolvimento que não possuíssem capacidade de administrar esses produtos de forma segura (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010b).

#### **3.2.4. Estratégia - 2011 *Critical Materials Strategy* (2011)**

Esta Estratégia é acompanhada de um relatório extensivo que examina o papel que os metais de terras raras e outros materiais-chave desempenham em tecnologias de energias limpas, como turbinas eólicas, veículos elétricos, células solares e iluminação

energeticamente eficiente. O relatório afirma que várias tecnologias de energia limpa usam materiais em risco de interrupções no fornecimento a curto prazo, com riscos tendendo à redução a médio e longo prazos. O documento revisa e amplia a estratégia para minerais críticos do ano anterior (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011), omitida aqui pela prontidão com que foi revisada.

A redação do relatório e Estratégia foi feita pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, revelando grande prioridade concedida aos minerais críticos como recursos essenciais ao setor energético. Em especial, à geração de energia limpa e eficiente. Após análise das dificuldades impostas às cadeias produtivas, o relatório aponta, dentre os 16 elementos contemplados, 5 minerais como especialmente críticos: disprósio, neodímio, térbio, európio e ítrio. De acordo com o texto, isso poderia impactar significativamente o emprego de energia limpas nos anos seguintes (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011).

A criticalidade dos elementos foi aferida em função da essencialidade desses recursos para o setor energético e à luz do risco existente em sua cadeia de produção. Para a necessidade dos recursos ao setor energético, foi considerada a sua aplicação em turbinas eólicas, veículos elétricos, células fotovoltaicas e iluminação fluorescente, com metodologia adaptada da *National Academy of Sciences* (NAS). Elementos como cério, índio, lântano e telúrio foram apontados como quase-críticos. A criticalidade também foi apontada como variante para os mesmos recursos entre o curto e o médio prazos, estabelecidos na Estratégia como 2015 e 2025.

O documento foi elaborado com os propósitos de analisar riscos e oportunidades, dar continuidade ao diálogo público e identificar direções programáticas. Dezesesseis elementos e seus materiais foram selecionados para integrar a Estratégia. Além dos materiais elencados na Estratégia de 2010, dois elementos utilizados em baterias são adicionados, a saber: níquel e manganês. Oito dos elementos abordados são terras-raras, pelo seu excepcional valor magnético, óptico e catalístico (DOE, 2011).

A seleção dos elementos foi feita com base em estudos elaborados de forma a identificar fatores que potencialmente poderiam impactar o fornecimento desses recursos, como um pequeno mercado global, falta de diversidade da oferta, ou complexidades do mercado causadas pela coprodução, ou riscos geopolíticos. O corpo do texto traz as aplicações dos materiais em tecnologias aplicadas à geração de energias limpas:

- 1) Baterias de veículos elétricos: lântano, cério, praseodímio, neodímio, níquel, manganês, cobalto e lítio;

- 2) Ímãs para veículos elétricos e turbinas eólicas: neodímio, praseodímio e disprósio (podendo o samário e o cobalto atuarem como potenciais substitutos);
- 3) Iluminação eficiente em termos energéticos: lântano, cério, európio, térbio e ítrio; e
- 4) Filmes finos para células solares: índio, gálio e telúrio (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011).

Foi identificado no estudo que para todos os recursos abordados, a demanda recente havia apresentado uma curva crescente mais acentuada do que para metais *commodities* como ferro. Apresenta-se uma problemática ocasionada pela lenta resposta ao crescimento da demanda por materiais na década anterior ao relatório, agravada pela complexidade imposta pela extração de determinados materiais em coprodução ou subprodução (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011).

A Estratégia se sustenta em três pilares principais: diversificação das cadeias produtivas, através, principalmente da facilitação das etapas de extração, processamento e manufatura nos Estados Unidos e no exterior; desenvolvimento de substitutos para os recursos críticos, através de esforços de P&D para elevar a flexibilidade e auxiliar o acesso às necessidades materiais da economia das energias limpas; e reciclagem, reutilização e uso mais eficiente dos recursos para que se reduza a demanda global por recursos extraídos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011).

### **3.2.5. Iniciativa - *Materials Genome Initiative for Global Competitiveness* (2011)**

Iniciativa criada no âmbito do governo federal em 2011 com o intuito de reduzir o tempo de desenvolvimento e o preço de materiais nos Estados Unidos através do provimento de infraestrutura e treinamento para inovadores estadunidenses. A iniciativa foi criada através de uma comissão *ad hoc* do *National Science and Technology Council* para colaboração de diferentes agências governamentais com entes privados (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011b).

O documento apresenta os materiais avançados como essenciais à segurança econômica e ao bem-estar da população, com aplicações em múltiplas indústrias. O corpo do texto critica os prazos normalmente necessários para se incorporar novas classes de materiais

a cadeias produtivas, citando como exemplo o tempo de vinte anos transcorrido entre a criação de baterias de íons de lítio e sua ampla difusão no mercado de eletrônicos portáteis (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011b).

A iniciativa se propõe a promover inovação no âmbito da indústria de desenvolvimento de novos materiais com a finalidade de auxiliar quatro principais campos: energias limpas, força de trabalho da próxima geração, segurança nacional e bem-estar humano. Esses quatro campos são apoiados por três principais frentes: ferramentas computacionais, bases de dados digitais e ferramentas experimentais (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011b).

Os materiais contemplados pelo documento não se restringem a minerais críticos, embora esses estejam presentes. Apesar de o cidadão médio estadunidense consumir cerca de 11.340 quilos de minerais não-energéticos por ano (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2008, apud ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011b), os Estados Unidos não produzem ou processam a maior parte destes. Trata-se, de acordo com o documento, de uma defasagem que tende a crescer conforme a demanda por mais materiais se eleva. Para contornar a dependência de minerais críticos, o Conselho sugere que deve-se investir em substitutos com a mesma funcionalidade e performance. Destaca-se, sobretudo, a importância de se contornar a necessidade de terras-raras para usos militares (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011b).

### **3.2.6. Instituto - *Critical Materials Institute* (2013)**

Instituto avaliado em US\$120 milhões criado pelo CSMSC em 2013 em função das necessidades apontadas pela Estratégia para Minerais Críticos de 2011. Anteriormente, o CSMSC havia sido responsável pelo emprego de iniciativas significativas, como a revisão das tarifas harmonizadas da U.S. International Trade Commission para que se aprimorasse o detalhamento dos dados acerca de terras-raras; e o suporte analítico prestado à Organização Mundial do Comércio (OMC) em um contencioso entre as partes Estados Unidos, Japão e União Europeia (UE) contra a China em virtude de restrições de exportações de terras-raras em 2010 (WADIA, 2014).

O *Critical Materials Institute* é um centro de inovação do Departamento de Energia estadunidense com o propósito de desenvolver tecnologias que eliminem a necessidade de

materiais que estejam sujeitos a rupturas em suas cadeias de produção. O site do Instituto aponta os minerais como essenciais para a competitividade dos produtos estadunidenses no setor de energias limpas, como turbinas eólicas, painéis solares, veículos elétricos e iluminação com uso eficiente de energia (AMES LABORATORY, 2019).

Os primeiros cinco anos do Instituto tiveram suas atividades focadas nos cinco minerais destacados como mais críticos pela Estratégia para Minerais Críticos de 2011 (disprósio, térbio, európio, neodímio e ítrio), além de dois destacados como quase críticos (lítio e telúrio). Em 2019, passaram a desenvolver pesquisas para todas as terras-raras, minerais essenciais a baterias (lítio, cobalto, manganês e grafite), índio e gálio (AMES LABORATORY, 2019).

As quatro linhas de ação do Instituto são a diversificação da oferta; o desenvolvimento de substitutos; a ampliação da reutilização e reciclagem, sistemas de armazenamento de energia; e a pesquisa transdisciplinar. O Instituto é liderado pelo laboratório Ames, operado pela Universidade do Estado de Iowa, e as atividades são desenvolvidas em colaboração com outros laboratórios e universidades estadunidenses, além da indústria (AMES LABORATORY, 2019).

### **3.2.7. Ordem Executiva - *National Defense Resources Preparedness* (2012)**

A Ordem Executiva remete ao *Defense Production Act* de 1950 para afirmar que os Estados Unidos devem possuir capacidade industrial que corresponda aos requisitos de defesa nacional e que consigam garantir a superioridade tecnológica de seus equipamentos em tempos de paz ou emergência nacional. Coloca a capacidade industrial e tecnológica nacionais como a fundação da prontidão da defesa nacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).

Destacamos, de acordo com o conteúdo abordado neste trabalho, trechos da Ordem Executiva em que são delegadas funções a agências e departamentos do Executivo federal. Os departamentos e agências federais devem avaliar de forma contínua a capacidade industrial doméstica para satisfazer os requerimentos nacionais em tempos de guerra ou paz, incluindo o fornecimento ininterrupto de materiais. Devem estar preparadas, na hipótese de ameaça à segurança dos Estados Unidos, para agir de forma a garantir a disponibilidade de recursos e a capacidade produtiva, incluindo serviços e tecnologias críticas. Devem promover

cooperação entre o setor comercial e defesa para P&D e para a aquisição de materiais, serviços, componentes e equipamentos de forma a fortalecer a eficiência e prontidão da base industrial de defesa (BID) (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).

Das 6 prioridades destacadas na Ordem Executiva como aquelas às quais são garantidas maior flexibilidade para a obtenção de recursos ou verba, apontamos como relacionadas ao nosso trabalho a energia (em todas as suas formas), sob a responsabilidade do Secretário de Energia; os recursos hídricos, sob responsabilidade do Secretário de Defesa; e os materiais e serviços diversos, sob a tutela do Secretário de Comércio. De acordo com o documento, o Secretário de Energia possui a prerrogativa de determinar quais materiais são classificados como críticos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).

É garantida às agências e aos departamentos listados no documento a prerrogativa de realizarem empréstimos concedidos por instituições particulares de forma a assegurar o fluxo de insumos às cadeias de produção essenciais à defesa nacional, caso julguem necessário. Materiais que forem adquiridos dentro dos termos do documento e que excederem as necessidades previstas podem ser transferidos para o *National Defense Stockpile* (NDS), caso o Secretário de Defesa ou administrador do NDS julgarem que essas transferências estão de acordo com o interesse público (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).

De forma a garantir o fornecimento de materiais brutos ou não processados de fontes de alto custo, ou para garantir a máxima produção ou fornecimento, o chefe de cada agência envolvida na aquisição de materiais é autorizado a fazer o pagamento de subsídios após consultar o Secretário do Tesouro e o Diretor do *Office of Management and Budget*, gabinete dedicado ao planejamento do orçamento federal. O documento define minerais estratégicos e críticos como materiais (ou energias) que são necessários para as forças armadas, à indústria e a necessidades básicas de civis estadunidenses durante uma emergência nacional; e que não são encontrados ou produzidos nos Estados Unidos em quantidades suficientes para suprir estas necessidades, sendo a disponibilidade do material sujeita a esgotamento ou limitação (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).

Aos secretários de Defesa e do Interior, é garantida a prerrogativa de promover a exploração, o desenvolvimento e a mineração de minerais estratégicos e críticos, além de outros materiais. O chefe de cada agência federal engajada com a aquisição de materiais de defesa pode, caso julgue necessário, tomar a iniciativa de criar programas para o desenvolvimento de substitutos para minerais estratégicos e críticos, além de componentes

críticos, itens tecnológicos críticos e outros recursos essenciais à defesa nacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).

### **3.2.8. Solicitação de informações - *New Request for Information to Inform Strategy on Critical Materials* (2014)**

Documento publicado pelo CSMSC, grupo articulado entre doze agências federais, quatro anos após sua criação. O CSMSC desenvolveu uma metodologia para identificar materiais críticos e monitorar mudanças na criticidade, provendo avisos precoces de criticidade. Fornecer conscientização prévia sobre materiais que serão críticos para a economia e a indústria eleva a capacidade dos formuladores de políticas de planejar o futuro e garantir o crescimento contínuo. O Escritório de Política de Ciência e Tecnologia da Casa Branca publicou uma solicitação de informações (RFI, na sigla em inglês). Esta RFI reúne informações sobre questões relacionadas à mineração, demanda, estrutura da cadeia de suprimentos, dinâmica do mercado e mitigação de riscos. São dados sobre quais matérias-primas são de interesse do público e fundamentais para salvaguardar e preparar a economia americana para o futuro (WADIA, 2014).

O texto da RFI é destinado a representantes da indústria, academia, laboratórios de pesquisa, agências governamentais, e outros tomadores de decisão, acerca de questões relacionadas à oferta, à demanda, à estrutura da cadeia de suprimentos, à P&D e às transições tecnológicas relacionadas a materiais brutos utilizados na economia estadunidense. O texto requisita informações agrupadas em 6 diferentes categorias aos atores interessados:

- 1) Demanda: Quais materiais tendem a ser particularmente importantes nos próximos cinco anos? Qual é a perspectiva de crescimento da demanda por insumos aplicados a produtos de tecnologia nos próximos anos, através de quais fatores? Quais são os pontos do desenvolvimento ou manufatura de um produto em que se selecionam recursos brutos? Como se considera a disponibilidade destes? Quais investimentos estão em andamento para se identificar recursos brutos alternativos? Há tecnologias disruptivas ou transições tecnológicas que podem mudar dramaticamente a demanda no curto ou longo prazos? Sendo estes apresentados como prazos de 5 e 15 anos no corpo do texto;

- 2) Exploração, mineração, fundição ou refino: quais barreiras são impostas à ampliação da exploração de materiais brutos nos Estados Unidos e globalmente? Uma vez descobertos, quais barreiras são impostas à produção desses recursos? O então estado da separação, fundição e/ou refino nos Estados Unidos é suficiente para garantir fornecimento seguro de materiais? Quais inovações nessa área podem afetar o fornecimento estadunidense ou global? Quais os impactos ambientais dessas inovações? A mineração, separação, fundição e/ou refino dos materiais necessários às suas tecnologias são diversificados o suficiente para lidar com potenciais falhas de mercado ou riscos políticos? Como o tamanho do mercado, o preço de mercado e a disponibilidade de capital afetam decisões relacionadas à produção?;
- 3) Oferta e cadeia de suprimentos: quais são as cadeias produtivas para as tecnologias identificadas como importantes para suas manufaturas? Como poderiam ser descritas as etapas dessas cadeias de produção? Há vulnerabilidades na cadeia produtiva que possam levar a preocupações em relação ao fornecimento de algum desses materiais ou à habilidade de manufatura dessas tecnologias? Como se mediriam as vulnerabilidades das cadeias produtivas e seus impactos?;
- 4) Dinâmica do mercado: Como poderia ser descrita a dinâmica de mercado de suas cadeias produtivas? Há alguma distorção de mercado em suas cadeias produtivas, como opacidade, falta de informação ou distorções associadas ao comércio? Há volatilidade de preços? Se sim, quais são os fatores responsáveis?;
- 5) Mitigação: quais são algumas estratégias empregadas para se mitigar riscos nas cadeias de suprimentos? Como lidar com volatilidade de preços? Deve-se considerar utilizar tecnologias disponíveis com uma redução de performance para se evitar preocupações associadas a preço e disponibilidade?; e
- 6) Outros: há alguma informação não contemplada acima que devca ser considerada na identificação precoce de criticidade de minerais?

### **3.3. Governo Donald Trump (janeiro de 2017 – janeiro de 2021)**

### **3.3.1. Ordem Executiva – 13.817: *A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals* (2017)**

O documento afirma que os Estados Unidos são altamente dependentes das importações de determinadas matérias-primas minerais vitais para a segurança e prosperidade econômica do país. Essa dependência de fontes estrangeiras criaria uma vulnerabilidade estratégica, tanto para sua economia quanto para seus militares, a ações adversas de governos estrangeiros, desastres naturais e outros eventos que podem interromper o fornecimento desses minerais essenciais. Apesar da presença de depósitos significativos de alguns desses minerais nos Estados Unidos, os mineradores e os produtores estadunidenses teriam sua ação restrita pela falta de dados abrangentes e digitalizados relativos a levantamentos topográficos, geológicos e geofísicos; atrasos em licenciamentos atrasos; e o potencial de litígios prolongados em relação às licenças emitidas (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017).

Um aumento impulsionado pelo setor privado na exploração doméstica, produção, reciclagem e reprocessamento de minerais críticos e apoio aos esforços para identificar alternativas tecnológicas mais comumente disponíveis para esses minerais, poderia reduzir a dependência de importações, preservar a liderança estadunidense em inovação tecnológica, incentivar a criação de empregos, elevar a segurança nacional e balança comercial, além de aumentar a superioridade tecnológica e prontidão das FA, que estão entre os consumidores mais importantes de minerais críticos do país (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017).

A definição de minerais críticos apresentada pela ordem executiva é a de um:

- a) mineral ou material mineral não-energético essencial para a segurança econômica e nacional dos Estados Unidos;
- b) cuja cadeia de abastecimento seja vulnerável a interrupções; e
- c) que desempenhe uma função essencial na fabricação de um produto, cuja ausência teria consequências significativas para a economia ou a segurança nacional estadunidenses (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017).

Em vista do exposto, determina-se que será política do Governo Federal a redução da vulnerabilidade da Nação a eventuais interrupções no fornecimento de minerais críticos, o que é apontado como uma vulnerabilidade estratégica para a segurança e prosperidade dos Estados Unidos. A política proposta seria promovida em benefício do povo americano e de uma maneira segura e ambientalmente responsável, ao:

- a) identificar novas fontes de minerais críticos;
- b) aumentar a atividade em todos os níveis da cadeia de abastecimento, incluindo exploração, mineração, concentração, separação, liga, reciclagem e reprocessamento de minerais críticos;
- c) garantir que os mineradores e produtores tenham acesso eletrônico aos dados topográficos, geológicos e geofísicos mais avançados dentro do território dos EUA, na medida permitida por lei e sujeitos às limitações apropriadas para fins de privacidade e segurança, incluindo limitações apropriadas para proteger os dados críticos e de infraestrutura, como aqueles relacionados à segurança nacional; e
- d) agilizar os processos de arrendamento e licenciamento para agilizar a exploração, produção, processamento, reprocessamento, reciclagem e refino doméstico de minerais críticos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017).

Determina-se que o Secretário do Interior publique uma lista de minerais críticos no prazo de 180 dias. Ao Secretário de Comércio, em coordenação com os Secretários de Defesa, Interior, Agricultura e Energia, além do Representante Comercial dos Estados Unidos, é requisitado um relatório que:

- a) incluísse em seu texto uma Estratégia de redução da dependência externa no setor de minerais críticos;
- b) informasse o presidente acerca do estado da capacidade de reciclagem e reprocessamento nos Estados Unidos, bem como da existência de materiais alternativos;
- c) comunicasse as opções de acesso e desenvolvimento de minerais críticos através de investimentos e comércio com aliados e parceiros comerciais;
- d) elaborasse um plano para que se aprimorasse o mapeamento topográfico, geológico e geofísico doméstico, disponibilizando eletronicamente os resultados obtidos, dentro dos limites da lei, para apoiar o setor privado de exploração de minerais críticos; e
- e) recomendasse formas de se acelerar a emissão de licenças e a revisão de processos de licitação, de forma a se ampliar o acesso a minerais críticos,

ampliar a descoberta de novas fontes, produção e o refino doméstico desses recursos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017).

### **3.3.2. Ordem Executiva - *Regarding the Ocean Policy to Advance the Economic, Security, and Environmental Interests of the United States (2018)***

A Ordem Executiva reconhece as águas oceânicas, costeiras e dos Grandes Lagos dos Estados Unidos como fundamentais para a economia, segurança, competitividade global e bem-estar do país. Afirma que as indústrias oceânicas empregam milhões de cidadãos e apoiam uma economia nacional forte. A produção doméstica de energia a partir de águas federais fortalece a segurança da Nação e reduz a dependência de energia importada. Bens e materiais que apoiam sua economia e qualidade de vida fluem através do comércio marítimo. O documento afirma que mantém e melhora esses e outros benefícios para a Nação através de um melhor acesso público a dados e informações sobre o mar, coordenação interagências eficiente em assuntos relacionados ao oceano e envolvimento com as indústrias marinhas, a comunidade científica e tecnológica e outras partes interessadas (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2018).

Esta ordem reconhece e apoia a participação federal em parcerias oceânicas regionais, na medida adequada e consistente com os interesses de segurança nacional e autoridades legais. Cria-se um Comitê de Política Oceânica composto de 22 agências, órgãos, ministérios, departamentos e gabinetes do governo federal, podendo ser ampliado, que deve prestar consultoria acerca de assuntos oceânicos ao Presidente e ao chefe de qualquer agência membro do Comitê (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2018).

O documento classifica como assuntos afetos ao oceano aqueles relacionados à administração, C&T envolvendo o oceano, áreas costeiras e Grandes Lagos dos Estados Unidos, incluindo seus territórios e áreas onde exercer controle, assim como o leito marítimo, subsolo marítimo, a coluna d'água e os recursos naturais. A partir da Ordem Executiva, passa a ser política dos Estados Unidos a coordenação de atividades de departamentos e agências federais dedicadas a assuntos afetos ao oceano, de forma a prover benefícios econômicos, ambientais, e de segurança para gerações atuais e futuras dos Estados Unidos. Busca-se também facilitar o crescimento econômico de comunidades costeiras, promovendo indústrias associadas ao oceano, empregando milhões de americanos, desenvolvendo C&T oceânica,

promovendo a indústria de frutos do mar, de transportes, expandindo oportunidades de recreação relacionadas ao oceano e elevando a segurança energética estadunidense (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2018).

Revoga a Ordem Executiva 13547/2010 (*Stewardship of the Ocean, Our Coasts, and the Great Lakes*), não destacada neste trabalho pela ausência de menção a recursos minerais em seu texto. Tratava-se de um documento que sucedeu o grande derramamento de óleo da empresa Deepwater Horizon, no Golfo do México em 2010, sendo esse acontecimento um dos grandes motivadores de sua redação. A devida administração dos oceanos é apontada no documento como intrinsecamente ligada à sustentabilidade, saúde humana e bem-estar, prosperidade nacional, adaptação a mudanças climáticas e ambientais, justiça social, diplomacia e segurança nacional. O texto reconhece os oceanos, áreas costeiras e Grande Lagos como provedores de emprego, alimentos, recursos energéticos, serviços ecológicos, recreação e turismo. São eles, segundo a ordem executiva, cruciais para o transporte, economia, comércio e mobilidade das Forças Armadas estadunidenses para o exterior (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2018).

### **3.3.3. Estratégia - A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals (2019)**

Como previsto pela Ordem Executiva 13.817/2017, foi articulada através de um esforço interagências governamentais a redação de uma Estratégia com o intuito de determinar metas com fins à elevação da autonomia estadunidense no setor de mineração, na BID e na área de P&D como um todo. O documento é dividido em 6 “chamadas para ação”, subdivididas em 24 “metas” e 61 “recomendações” com fins a atingir os objetivos determinados pela Ordem Executiva 13.817/2017 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a). A Estratégia possui foco particular em defesa e segurança econômica.

O documento enfatiza que a mitigação dos riscos impostos por uma cadeia de produção vulnerável é um objetivo consoante com a *National Security Strategy* bem como a *National Defense Strategy*, com fins à promoção de prosperidade e preservação da paz pela força. Dentre outras chamadas, a Estratégia recomenda que se invista em P&D para que se aprimorem as tecnologias aplicadas às cadeias produtivas de minerais críticos; que se fortaleça a BID; que se consolidem novos acordos de comércio voltados para esses minerais;

e que se busque facilitar o acesso a estes recursos em terras estadunidenses, flexibilizando os prazos necessários para emissão de licenças de exploração, bem como as regulações ambientais (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a).

As seis chamadas para ação enumeradas no documento são:

- 1) avançar a pesquisa transformadora, desenvolvimento e implementação de mudanças através das cadeias de suprimentos de minerais críticos;
- 2) fortalecer a oferta de minerais críticos estadunidense e sua BID;
- 3) elevar o comércio internacional e a cooperação relacionados a minerais críticos;
- 4) aprimorar a compreensão dos recursos minerais críticos domésticos;
- 5) aperfeiçoar o acesso a recursos minerais críticos em terras federais e reduzir o tempo de emissão de licenças de exploração; e
- 6) aumentar a força de trabalho doméstica voltada para o setor de minerais críticos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a).

Em seguida, o documento apresenta objetivos como subdivisões para as chamadas acima:

- 1) Desenvolver uma estratégia de P&D para aprimorar as capacidades científicas e técnicas em cadeias de suprimentos minerais críticas; aumentar o investimento da indústria privada dos EUA em inovação e melhorar a transferência de tecnologia da C&T financiadas pelo governo federal;
- 2) Compreender e apoiar a indústria de minerais críticos e sua cadeia de suprimentos; aproveitar a experiência com minerais críticos de partes interessadas fora do Governo Federal; desenvolver, expandir, modernizar e sustentar os materiais feitos de minerais críticos e a resiliência da cadeia de suprimentos; e estabilizar e fortalecer as habilidades dos programas da Estratégia de Defesa Nacional para responder rapidamente a requisitos militares e civis essenciais urgentes e inesperados durante a guerra e outras emergências nacionais;
- 3) Aumentar os intercâmbios com nações parceiras para compartilhar as melhores práticas e identificar oportunidades de comércio e colaboração; e garantir o acesso a minerais críticos por meio de comércio e investimento com parceiros internacionais, garantindo que as práticas de comércio exterior não prejudiquem as indústrias dos EUA e interesses nacionais mais amplos;

- 4) Usar dados de fornecimento e consumo de minerais críticos para desenvolver métricas para permitir estratégias de mitigação de riscos específicas de *commodities* abordando vulnerabilidades estratégicas; realizar avaliações de recursos minerais críticos e identificar métodos para incentivar o uso de fontes secundárias e não convencionais desses recursos; melhorar o mapeamento geofísico, geológico, topográfico e batimétrico dos Estados Unidos e do território costeiro e oceânico associado; e melhorar a descoberta, acessibilidade e usabilidade de dados geofísicos, geológicos, topográficos e batimétricos;
- 5) Revisar o planejamento do uso do solo do Serviço Florestal (USFS) e do *Bureau of Land Management* (BLM) para identificar e proteger o acesso a recursos minerais; concluir uma revisão completa da possibilidade de revogação de leis de mineração aplicáveis e áreas restritas à exploração e desenvolvimento de empreendimentos mineradores em terras federais; rever as limitações de acesso de veículos motorizados e as capacidades da infraestrutura existente em terras federais quanto a potenciais impactos na exploração e desenvolvimento minerais; adotar um modelo de desenvolvimento de recursos minerais para rastrear requisitos e cronogramas de licenciamento; avaliar a Lei Nacional de Política Ambiental (NEPA) e outros regulamentos para garantir o processamento oportuno de pedidos de licença para projetos minerais; avaliar a Lei de Água Limpa e a Lei de Rios e Portos para aprimorar o processamento de licenças; rever os regulamentos e considerar propor legislação para facilitar o desenvolvimento de minerais críticos *offshore*; e avaliar a viabilidade da inclusão de projetos mineradores de alta prioridade para revisão como parte do Título 41 da *Fixing America's Surface Transportation* (FAST) e do *One Federal Decision Framework*; e
- 6) Promover a colaboração interdisciplinar entre ciência dos materiais, ciência da computação e disciplinas correlatas para modernizar a indústria do setor de suprimentos de minerais e tornar o campo mais atraente para novos talentos; implementar a reforma de pessoal e gestão para garantir capital humano adequado para apoiar a exploração e o desenvolvimento de minerais críticos em terras federais; e facilitar a interação sustentada com partes interessadas e o público em geral.

Mesmo considerando o fator político como apenas uma das variáveis determinantes da criticalidade dos minerais, é fundamental que se observe a presença de países tradicionalmente parceiros estadunidenses como o Canadá, sendo o maior exportador para os Estados Unidos de minerais como o índio, o urânio, o telúrio e o céσιο, sendo deste último responsável por 100% das importações estadunidenses. Países nominalmente citados na *Federal Strategy* são o Canadá, a Austrália, o Japão, a Coreia do Sul e os membros da UE (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a).

Para o aumento da eficiência, a *Federal Strategy* aponta que se pode procurar a redução do conteúdo mineral nos produtos e um menor desperdício de material durante a etapa de produção, reutilizando e reciclando produtos. Os investimentos em P&D têm como objetivo também a busca pela diversificação das matérias-primas, o processamento mais eficiente e a reciclagem de produtos finais com o objetivo de reduzir o desperdício e aumentar a oferta. Fontes não convencionais são abordadas no documento, como o aproveitamento das pilhas de estéril, de rejeito, subprodutos de outras explorações minerais, leitos oceânicos e fontes geotérmicas, também presentes nos oceanos (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a).

O documento traz que dentre as 29 licenças emitidas até 2018 pela *International Seabed Authority* (ISA), nenhuma envolvia empresas estadunidenses, não possuindo os Estados Unidos nenhum empreendimento *offshore* de extração mineral não-energético. As empresas estadunidenses Pacific Northwest e Oak Ridge National Laboratories desenvolvem atualmente tecnologias destinadas à extração de minerais a partir da água do mar, como terras-raras, lítio e urânio (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a).

A indisponibilidade de dados concisos referentes às condições geológicas estadunidenses é um fator apontado como agravante da insegurança nacional. Segundo o U.S. Department of Commerce (2019), menos de 18% do solo estadunidense é mapeado de forma a se ter conhecimento pleno dos recursos presentes. Da mesma forma, os dados batimétricos<sup>4</sup> modernos da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) dos Estados Unidos não somam 35% de sua totalidade. O texto da Estratégia afirma que todos os 35 minerais considerados críticos são obtidos de fontes convencionais, embora possam também ser extraídos de fontes subutilizadas ou não-convencionais, de forma a ampliar a segurança da cadeia de produção (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019a).

---

<sup>4</sup> “Batimetria: ciência da mensuração da profundidade das massas de água (oceanos, mares, lagos etc.) para determinação da topografia do seu leito” (DICIONÁRIO HOUAISS ONLINE, 2021).

### **3.3.4. Determinação presidencial – *Presidential Determination Pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended (2019)***

Cinco memorandos para o Secretário de Defesa publicados em 22 de julho de 2019 que declaram, em cada um deles separadamente, a essencialidade da capacidade de produção, separação e processamento de diferentes tipos de terras-raras e seus materiais à defesa nacional. São discriminadas nos cinco memorandos: terras-raras leves; terras-raras pesadas; metais de terras-raras e suas ligas; material sinterizado de neodímio, ferro e boro, e ímãs permanentes; e ímãs de samário, cobalto e terras-raras. Os cinco memorandos se fundamentam no artigo 303 do *Defense Production Act* de 1950, e sua redação afirma que o acesso rápido aos recursos mencionados é absolutamente essencial para a defesa nacional (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA; 2019b; ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA; 2019c; ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA; 2019d; ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA; 2019e; ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA; 2019f).

### **3.3.5. Iniciativa - *Energy Resources Governance Initiative (2019)***

Iniciativa criada em 2019 como forma de atender à crescente demanda por energia renovável, veículos elétricos e tecnologias de armazenamento em baterias. A Iniciativa de Governança de Recursos Energéticos (ERGI, na sigla em inglês) é um esforço dirigido pelo Departamento de Estado dos EUA e pelo *Bureau of Energy Resources* (ENR), projetado para promover uma governança sólida do setor de mineração e cadeias de suprimento de energia mineral resilientes. Os governos da Austrália, Botswana, Canadá, Peru e Estados Unidos fundaram a iniciativa com o intuito de engajar os países para promover os princípios de governança, compartilhar as melhores práticas e incentivar a igualdade de condições. A ERGI também promoverá cadeias de suprimento de minerais de recursos energéticos resilientes e seguras (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019g).

Os três objetivos estratégicos primários da ERGI são:

- 1) Envolver países ricos em recursos na governança responsável de minerais de energia, uma vez que prevê que a demanda por minerais críticos para o setor elétrico pode aumentar quase 1000% até 2050. Para tanto, a ERGI se propõe a

compartilhar as melhores práticas em gestão de minerais e governança para promover mercados abertos e transparentes; apoiar estruturas de investimento que atraíam investimento privado de alto nível comprometido com práticas extrativas avançadas e procedimentos operacionais claros; e promover práticas de mineração responsáveis e sustentáveis (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019h);

- 2) Apoiar cadeias de suprimentos resilientes. A dependência de qualquer fonte única aumenta o risco de interrupções no fornecimento. A ERGI propõe identificar opções para diversificar as cadeias de abastecimento; facilitar conexões comerciais e industriais; e promover cadeias de abastecimento integradas e resilientes (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019h); e
- 3) Atender a demanda esperada por tecnologias de energia limpa, dado que investimento global em geração de energia renovável com uso intensivo de minerais e tecnologias de armazenamento de bateria continua a superar o investimento em geração de energia de combustível fóssil em mais de 100% ao ano. A iniciativa se propõe a incentivar instituições de financiamento do projetos de desenvolvimento e instituições financiadoras de crédito à exportação a apoiar projetos de mineração responsáveis e sustentáveis; facilitar pesquisas de recursos modernos para entender as perspectivas para os minerais de energia; e enfatizar a conexão entre a demanda de energia renovável e o impacto potencialmente adverso nos países ricos em minerais (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019h).

A iniciativa afirma que os cinco membros fundadores da ERGI têm economias de mineração robustas que refletem as melhores práticas globais. Como forma de divulgá-las, os países fundadores desenvolveram também o portal ERGI Toolkit para compartilhar e reforçar tais práticas para o desenvolvimento da mineração, desde o mapeamento de recursos minerais até o fechamento e recuperação de minas (ERGI TOOLKIT, 2020).

### **3.3.6. Memorando – *Memorandum on Ocean Mapping of the United States Exclusive Economic Zone and the Shoreline and Nearshore of Alaska* (2019)**

Memorando destinado a 24 agências, departamentos e gabinetes do governo federal. Destaca a necessidade de dados e informações sobre oceanos para se avançar em questões como comércio marítimo, produção doméstica de frutos do mar, pesca saudável e sustentável, resiliência costeira, geração de energia, turismo e recreação, proteção ambiental, segurança nacional e territorial, além de outras. Aponta que essas atividades contribuem com mais de US\$300 bilhões ao ano para a atividade econômica estadunidense, além de envolver 3 milhões de empregos e garantir US\$129 bi em salários anualmente (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019i).

Faz menção à Proclamação 5030/1983 (*Exclusive Economic Zone of the United States of America*), do presidente Ronald Reagan, com o propósito de desenvolver recursos marítimos e promover a proteção do ambiente marinho. O documento menciona que os Estados Unidos, com mais de 13,000 milhas de costa e 3,4 milhões de milhas náuticas quadradas de ZEE, possui uma área maior que seu território terrestre. Nessa área, de acordo com o Memorando, estariam recursos naturais subutilizados e não descobertos, como minerais críticos, insumos para produtos farmacêuticos, energia e áreas de alto valor ecológico e preservacional. Somente cerca de 40% da ZEE estadunidense foi mapeada e uma parcela ainda menor foi devidamente identificada, caracterizada e avaliada por agências federais, segundo o documento (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019i).

O memorando afirma que através do aumento do mapeamento oceânico, ciência de ponta, novas tecnologias e parcerias será possível que se usufrua todo o potencial dos oceanos. O mapeamento com dados precisos e atualizados da topografia costeira sustentam o crescimento econômico, a gestão de recursos e a segurança dos moradores costeiros. O devido mapeamento é especialmente insuficiente para o Alasca e para o Alasca Ártico (porção ao extremo norte do estado) (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019i).

Estabelece, ainda, prazos e responsabilidades para que se efetive todos os mapeamentos em tempo apropriado. Determina que se redija uma estratégia nacional referente ao mapeamento oceânico (publicada em junho de 2020). Estabelece responsabilidades para os membros do *Ocean Policy Committee*, estabelecido pela Ordem Executiva 13840/2018, intitulada *Ocean Policy to Advance the Economic, Security, and Environmental Interests of the United States*, para que se redigisse uma Estratégia para o mapeamento da ZEE estadunidense, bem como para sua exploração e caracterização. Da mesma forma, requisita-se a redação de uma Estratégia para o mapeamento costeira e próxima da costa da região Ártica, Subártica e do Alasca. Requer também que se busque

formas de colaborar com governos estrangeiros nesse setor (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2019i).

### **3.3.7. Ordem Executiva – *Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries* (2020)**

A Ordem Executiva recorre ao *International Emergency Economic Powers Act* (IEEPA) e ao *National Emergencies Act* (NEA) para declarar uma emergência nacional no setor de minerais críticos (TRUMP, 2020). A emergência nacional dá poderes ao presidente para lidar com ameaças extraordinárias em prazos delimitados (GASPAR FILHO, 2020).

O documento aponta que muitas importações de minerais são oriundas de países tradicionalmente parceiros. Entretanto, a dependência da China é descrita como particularmente acentuada e alarmante no caso estadunidense, pelo país asiático produzir a maior parcela internacional de minerais considerados críticos e por praticar preços baixos nesse mercado. De acordo com o documento, podem ser impostas tarifas, cotas ou outras restrições a importações da China ou outros países cujas práticas econômicas ameacem a saúde, o crescimento e a resiliência dos Estados Unidos (GASPAR FILHO, 2020).

Os minerais destacados no corpo do texto são as terras-raras, a barita, o gálio e o grafite, aplicados a cadeias de valor essenciais ao funcionamento da economia estadunidense. Aponta-se a essencialidade desses recursos na produção de equipamentos geradores de energia limpas, baterias, infraestrutura de 5G, no fraturamento hidráulico para extração de óleo e gás de xisto, e na produção de componentes utilizados em material bélico (GASPAR FILHO, 2020).

O termo “cadeia de produção” atribuído a minerais é definido no documento como abrangente das etapas de exploração, mineração, concentração, separação, ligação, reciclagem e reprocessamento. O documento emenda a Ordem Executiva 13.817/2017 com a exigência de que a lista de minerais críticos deve ser revisada periodicamente de forma a refletir dados sempre atuais de oferta, demanda, concentração de produção e prioridades políticas contemporâneas (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020a).

Estabelece-se, no corpo da Ordem Executiva, que os Estados Unidos devem ter como política a priorização da expansão e da proteção das cadeias produtivas de minerais e o

estabelecimento de cadeias de insumos seguras, com a destinação de verbas de agências federais para esses propósitos, de forma a:

- 1) desenvolver cadeias produtivas de minerais críticos que não dependam de recursos ou processamento de adversários externos;
- 2) estabelecer, expandir e fortalecer capacidade de mineração e processamento economicamente viável; e
- 3) desenvolver capacidades da cadeia produtiva globalmente competitivas, substanciais e resilientes para a mineração e processamento de minerais críticos.

O presidente requisita informação acerca do mapeamento, extração, processamento e uso de minerais, bem como a identificação de necessidades de financiamento para futuros projetos de P&D no setor. Estabelece, também, os seguintes objetivos:

- 1) Reduzir a vulnerabilidade dos Estados Unidos diante da ruptura de cadeias produtivas de minerais críticos através da cooperação com parceiros e aliados, incluindo o setor privado;
- 2) Construir cadeias de produção resilientes, inclusive através de iniciativas para prestar apoio a aliados de forma a eles também desenvolvê-las em seus territórios;
- 3) Promover a aquisição, trabalho e práticas de comércio responsáveis no setor mineral; e
- 4) Reduzir a dependência dos Estados Unidos de minerais produzidos utilizando métodos que não cumpram com padrões responsáveis de mineração (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020a).

A Ordem Executiva afirma que, de acordo com os termos da Ordem Executiva 13.603/2012, intitulada *National Defense Resources Preparedness*), o Secretário de Interior pode, ao se consultar com o Secretário de Defesa, criar programa para a emissão de licenças para aquisição ou instalação de equipamento de produção e processamento de minerais críticos nos Estados Unidos (TRUMP, 2020). Além disso, o documento requisita a revisão das condições aplicadas às licenças de empréstimos para empresas dentro do estatuto do *Advanced Technology Vehicles Manufacturing*, dedicado à regulamentação da construção de veículos elétricos. Da mesma forma, determina que se revisem os termos “evitar”, “reduzir” e “sequestrar” quando aplicados a emissão de GEE, como condições para que novos projetos sejam implementados. Solicita-se também a revisão da necessidade de que tecnologias de

ponta sejam empregadas, condição exigida para que se priorizasse a construção de meios de baixa emissão de carbono (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2020a).

### 3.4 Análise

Observa-se, ao longo do tempo compreendido no trabalho, uma mudança no tratamento dado pela administração federal estadunidense à questão dos minerais críticos. Fatores conjunturais podem ser indícios dessa mudança, como o estado da transição energética em cada um dos momentos abordados, a evolução do preço do petróleo, o estado do desenvolvimento de tecnologias de extração de P&G de xisto no próprio solo estadunidense ou a relação entre o governo dos Estados Unidos e dos principais países produtores de minerais. Sugerimos que a definição de minerais críticos e de cadeias de produção adotadas em cada documento refletem prioridades atribuídas pelas administrações de cada época às questões trabalhadas. Os quadros 6 e 7 apresentam diferentes definições de minerais críticos e cadeias produtivas como descritas nos documentos trabalhos neste capítulo.

Nos governos George W. Bush (janeiro de 2001 - janeiro de 2009) e Barack Obama (janeiro de 2009 - janeiro de 2017), há o tratamento dos minerais críticos primariamente como recursos essenciais à transição energética. Na administração Bush, pode-se sugerir que havia fatores à época que não tornavam os minerais críticos particularmente prioritários para o governo federal, o que não descarta a possibilidade de desenvolvimento de projetos no âmbito legislativo ou privado, fora do escopo deste trabalho. Especialmente na administração Obama, é possível notar que os esforços para mitigação da dependência estrangeira no setor foram desenvolvidos pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos.

Já se reconhecia, no contexto do primeiro governo Obama (janeiro de 2009 - janeiro de 2013), a necessidade das tecnologias geradoras de energias limpas serem contempladas com um fluxo intenso de insumos minerais não-energéticos em suas cadeias produtivas. Os esforços das iniciativas à época envolviam a especialização das equipes e metodologias para se identificar minerais críticos, a busca por materiais substitutos e a tentativa de nacionalização das cadeias de produção. Nota-se, nesse momento, a crescente institucionalização da pesquisa acerca de minerais críticos, com a criação de comitês, redação de estratégias e formação de grupos *ad hoc* voltados para a mitigação de vulnerabilidades no

setor de minerais críticos. Ademais, tenta-se desde então realizar o devido mapeamento do solo estadunidense, em especial no Alasca. A disponibilização dos dados geológicos necessários para que os atores envolvidos nas atividades mineratórias é um esforço federal desde então.

Adiante, na administração Donald Trump (janeiro de 2017 - janeiro de 2020), acreditamos que os esforços empreendidos são institucionalmente semelhantes, porém manifestando finalidades distintas para o uso prioritário desses minerais. Esses recursos críticos passam a ser encarados pela administração federal como de finalidade preferencial para a indústria bélica. Busca-se, principalmente no contexto da Guerra Comercial empreendida entre Estados Unidos e China, reduzir a dependência do país considerado um competidor estratégico. A China, por sua vez, passou a ter uma concentração crescente da produção e refino de minerais (dados que são abordados no capítulo anterior).

A discussão sobre segurança nacional passou a compor de forma mais incisiva os documentos federais voltados para minerais críticos durante o governo Donald Trump. Apontamos como ponto mais importante dessa política e retórica presidencial a publicação da *Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries* de 2020, que declara uma emergência nacional para tentar garantir a continuidade do fornecimento de minerais críticos. É a primeira vez em que o estado de emergência é declarado frente à China: precedentes da evocação dessa medida são tradicionalmente orientados para propósitos bélico-militares.

Para que fossem atingidos os fins propostos, observou-se flexibilização crescente de normas ambientais nos Estados Unidos durante o mandato de Donald Trump, sugerindo a priorização da independência no setor mineral em detrimento da preservação ambiental. A IRENA (2019a) aponta que um dos grupos políticos que mais demonstrou suporte à campanha de Donald Trump em 2016 foram os trabalhadores da indústria de carvão mineral. Desta forma, a agência afirma que a transição energética pode não somente conturbar cenários políticos internos como também orientar posicionamentos geopolíticos de atores internacionais. Percebe-se que, apesar do avanço da transição energética, as energias limpas passam a ocupar papel secundário na discussão acerca de minerais críticos no governo estadunidense. Não obstante, apontamos como iniciativa governamental mais alinhada ao conteúdo deste trabalho a ERGI, inaugurada na administração Donald Trump, que buscou na colaboração com outros quatro Estados a discussão acerca de governança de recursos minerais críticos essenciais às energias limpas.

O quadro 6 apresenta as definições de minerais críticos oriundas dos cinco documentos contemplados no presente capítulo que apresentam suas próprias designações. Diferentes fatores de criticalidade são apresentados, bem como diferentes aplicações para os materiais discutidos. A menção à necessidade de recursos minerais não-energéticos em tecnologias geradoras de energias limpas foi mencionada em apenas um dos documentos abordados, a *Critical Minerals Strategy* de 2011. Nesta Estratégia, importou-se a metodologia pré-existente da NAS para que se levasse em consideração as aplicações dos minerais em tecnologias renováveis predominantes à época: turbinas eólicas, veículos elétricos, células fotovoltaicas e iluminação fluorescente (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010).

**Quadro 6: Definições de minerais críticos presentes nos documentos abordados**

<b>Documento</b>	<b>Definição</b>
<i>Carta do Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability</i> (2010)	Mineral que serve a uma função essencial na manufatura de um produto. Quando ausente, uma consequência econômica ou social significativa ocorre. Sua cadeia produtiva é vulnerável a rupturas. Índícios de criticalidade incluem baixa substituíbilidade por outros minerais, dependência de produtores estrangeiros para minério bruto ou refinado, e baixa variedade de fornecedores (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).
<i>Critical Materials Strategy</i> (2011)	Criticalidade aferida em função da essencialidade dos recursos para o setor energético e à luz do risco existente em sua cadeia de produção. Foi considerada a aplicação dos elementos em turbinas eólicas, veículos elétricos, células fotovoltaicas e iluminação fluorescente, com metodologia adaptada da NAS. Potenciais causadores de impactos no fornecimento dos recursos seriam um pequeno mercado global, falta de diversidade da oferta, complexidades do mercado causadas pela coprodução, ou riscos geopolíticos. Materiais avançados seriam essenciais à segurança econômica e ao bem-estar da população, com aplicações em múltiplas indústrias (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2011b).
<i>National Defense Resources</i>	Minerais estratégicos e críticos apresentados como materiais

<i>Preparedness</i> (2012)	(ou energias) necessários às FA, à indústria e a necessidades básicas de civis estadunidenses durante uma emergência nacional; e que não são encontrados ou produzidos nos Estados Unidos em quantidades suficientes para suprir estas necessidades, sendo a disponibilidade do material sujeita a esgotamento ou limitação (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2012).
<i>Executive Order 13.817: A Federal Strategy To Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals</i> (2017)	Mineral ou material mineral não-energético essencial para a segurança econômica e nacional dos Estados Unidos; cuja cadeia de abastecimento seja vulnerável a interrupções; e que desempenhe uma função essencial na fabricação de um produto, cuja ausência teria consequências significativas para a economia ou a segurança nacional estadunidenses (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2017).
<i>Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries</i> (2020)	Reproduz a definição da Ordem Executiva 13.817.

Fonte: Elaboração própria.

#### Quadro 7: Definições de cadeias produtivas presentes nos documentos abordados

<b>Documento</b>	<b>Definição</b>
Carta do <i>Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability</i> (2010)	Engloba a mineração, extração, refino e manufatura (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).
<i>Critical Materials Strategy</i> (2011)	Compreende a extração, processamento, fabricação de componentes, uso final, reciclagem e reutilização (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2010).
Ordem Executiva 13.817: <i>A Federal Strategy To Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical</i>	Abrange a exploração, mineração, concentração, separação, liga, reciclagem e reprocessamento de minerais críticos (ESTADOS UNIDOS DA

<i>Minerals</i> (2017)	AMÉRICA, 2016).
Ordem Executiva <i>on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries</i> (2020)	Reproduz a definição da Ordem Executiva 13.817 (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2016).

Fonte: Elaboração própria.

O quadro 7 apresenta os três conceitos de cadeias produtivas presentes em quatro dos documentos apresentados no Capítulo 2. Apesar da pequena amostragem, é possível observar que o documento de 2017 traz uma definição mais abrangente de todas as etapas envolvidas no ciclo de vida de um mineral crítico. A Carta publicada em 2010 se refere apenas aos estágios iniciais e intermediários da produção de um mineral, oferecendo uma definição incompleta de cadeia produtiva, uma vez que desconsidera etapas além da manufatura. A *Critical Minerals Strategy* de 2011 adiciona conceitos ao final do ciclo de vida, enquanto a Ordem Executiva 13.817 de 2017 apresenta uma visão holística. A cadeia de produção passa a ser considerada a partir da exploração, isto é, do momento em que se avalia o solo e se busca maneiras economicamente e tecnologicamente viáveis de se extrair os recursos minerais.

A forma como a produção foi apresentada em documentos recentes possibilita que se considere todo o ciclo de vida do mineral, identificando potenciais carências técnicas e possibilidades de se aprimorar os processos. Da mesma forma, o reconhecimento da reciclagem e da reutilização ao final do ciclo como forma de se reaproveitar recursos é algo que não somente se apresenta como benéfico para o ambiente em termos de redução de desperdício de recursos, como também é algo que elevaria a segurança energética de um país por não reduzir sua dotação de minerais e materiais deles derivados ao final de sua vida-útil.

## Conclusão

Consideramos de extrema importância que o campo da segurança energética passe a considerar variáveis associadas à criticalidade dos minerais em suas análises futuras. Como apresentado no primeiro capítulo, um indicador dedicado a ser um alerta de escassez deve ser um reflexo de sua escassez passada e conseguir propor previsões para sua escassez futura. Isto deve ser feito de forma compreensiva em relação aos níveis de disponibilidade dos recursos substitutos.

A complementaridade existente entre os elementos do nexo segurança energética-minerais críticos não-energéticos proporciona análises compreensivas acerca dos fatores que afetam a segurança de um ator. Salientamos que, apesar de não se observar tão nitidamente em um primeiro momento a relação entre recursos não-energéticos e a segurança energética, quando consideramos o advento da transição energética para matrizes limpas, o nexo se torna claro.

Apontamos como principal contribuição teórico-conceitual deste trabalho a apresentação do nexo supracitado e a definição do conceito de transição da segurança energética como consequência do desenvolvimento de novas dependências. O estabelecimento desta nova dependência é observado paralelamente no setor mineral e no setor tecnológico, pois não somente há poucos grandes produtores minerais no mundo como o mercado de tecnologias geradoras de energias limpas também é constituído de poucas empresas.

O indicador de criticalidade do mineral deve ponderar todo o ciclo de vida do recurso e dos produtos manufaturados. Deve reconhecer a reciclagem e a reutilização do recurso ao final de sua vida-útil, não somente para que se tenha compreensão da real disponibilidade da matéria-prima, como também para se reduzir os impactos socioambientais do descarte desnecessário de produtos. Como observado ao final do mandato do presidente Donald Trump, regulações ambientais foram suspensas para que se acelerasse a produção doméstica de terras-raras. A transição energética acelerada e competitiva pode levar à extração de minerais de forma danosa ao meio ambiente. Estes malefícios devem ser ponderados em contraste com os danos causados pela emissão de GEE pela queima de combustíveis fósseis.

A elevação ou redução da segurança energética de um ator não deve ser encarada como absoluta a partir da realização de sua transição energética. A pluralidade de aspectos inerentes ao que se constitui como segurança energética permite ampla divergência de

análises. No caso estadunidense, a segurança energética atual é decorrente da exploração de P&G de xisto em seu solo, combustíveis poluentes, mas que fizeram com que o país se tornasse um exportador líquido de energia. No entanto, em índices de segurança energética que atribuam maior peso aos impactos socioambientais do uso de combustíveis fósseis, a elevação da segurança energética estadunidense pode ser encarada como relativa.

Sob a ótica da oferta, considerados os possíveis fatores de criticalidade de um mineral, destacamos que a concentração de mercado no setor de terras-raras não somente representa um risco em função de uma eventual nova alteração da conduta das empresas chinesas. Fatores alheios a decisões do governo ou empresariais podem ser responsáveis por perturbações na cadeias de suprimentos, como desastres naturais, acidentes em plantas produtivas, ou mesmo greves. O esgotamento dos recursos minerais não-energéticos aplicados na manufatura de equipamentos geradores de energias limpas não se apresenta como uma possibilidade para o curto ou médio prazo, mas é imprescindível que reconheçamos que tratam-se de recursos finitos.

Do ponto de vista da demanda, é fundamental observar que a elevação da procura por terras-raras pode não necessariamente ocorrer em virtude do crescimento da produção de equipamentos geradores de energias limpas, mas pela demanda para qualquer uma de suas atividades-fim. Em se tratando de recursos minerais aplicados majoritariamente no setor de alta tecnologia e essenciais à Indústria 4.0, é possível inferir que a demanda destes recursos permanecerá elevada. Apesar de os relatórios do setor energético apresentados afirmarem que há uma tendência de queda prevista para o setor de energias renováveis nos períodos contemplados, afirmamos que o preço final dos produtos pode ser fortemente influenciado pela criticidade dos minerais, tornando-os mais caros e atrasando o processo de transição energética global.

Atualmente, a criação de novas dependências no setor de terras-raras é resultado da falta de possibilidade de concorrência com preços baixos, o que levou ao fechamento de empreendimentos mineratórios nos Estados Unidos. A retomada dessas iniciativas aparenta partir do reconhecimento do setor como estratégico para que investimentos e estímulos governamentais fluam para o setor, tentando torná-lo economicamente viável. A saída para o *tradeoff* encontrado entre adquirir produtos a preços baixos e ter independência no setor pode não ser encontrada no curto prazo. Sugerimos que a solução para este problema reside nos investimentos estatais em setores estratégicos para que eles possam ser economicamente

viáveis e novos atores particulares almejem entrar para esse mercado, aquecendo-o e tornando-o mais competitivo.

Apesar das diferenças bipartidárias entre os mandatos presidenciais dos EUA observados no período contemplado na dissertação, observa-se tentativas de saídas para a dependência estrangeira. Entretanto, a priorização do setor energético renovável a nível federal não se mostrou expressiva durante o governo de Donald Trump. Ou, ao menos, a priorização através do incentivo à fortificação das cadeias produtivas com foco nas etapas das cadeias produtivas relacionadas ao setor de mineração.

Declarações no período de campanha e movimentações do início da administração Joseph Biden Jr. sugerem que os Estados Unidos reassumirão compromissos de desenvolvimento sustentável abandonados durante a administração Donald Trump, como o Acordo de Paris, regime para o qual o país já retornou. Não obstante, o presidente manteve vigorando a emergência nacional declarada pelo ex-presidente Donald Trump no setor de terras-raras e ampliou o escopo da securização das cadeias produtivas para que se considerasse bens e serviços ainda a ser definidos. Desta forma, agrega-se à discussão de minerais críticos todas as etapas de produção de produtos estratégicos. Especialmente os associados à Indústria 4.0, como semicondutores.

A compreensão da segurança energética no ponto de vista das energias renováveis deve levar em consideração no longo prazo a obsolescência de seus equipamentos e possibilidade de obtenção de novas tecnologias. Pode-se criar situações em que ocorre uma regressão da transição energética quando da impossibilidade de se renovar equipamentos geradores de energias limpas obsoletos. A realização de uma transição energética não necessariamente deve significar a segurança de um ator no médio ou longo prazo, observados os riscos impostos às cadeias produtivas de minerais críticos não-energéticos.

Destaca-se que a pesquisa encontrou algumas dificuldades, em particular devido à ausência de dados completos referentes ao setor mineral. Apesar da obtenção de uma quantidade de dados expressiva, houve brechas na elaboração das séries históricas, uma vez que os dados primários se encontram dispersos em dezenas de relatórios da USGS. O recorte referente ao governo federal estadunidense não nos permitiu, por exemplo, analisar propostas legislativas acerca da obtenção de minerais críticos, ao estímulo à construção de empreendimentos mineratórios ou mesmo a votação acerca das propostas de compras de recursos nos Anos Fiscais. Além disso, a falta de continuidade significativa entre programas de cada governo analisados é prejudicial não somente ao progresso das iniciativas, como

também para a elaboração de análises de longo prazo de cada programa. Por fim, desconsideramos na elaboração do trabalho, por exemplo, outros setores associados à transição energética, como a conservação de energia em baterias de lítio em veículos elétricos.

Relativamente às sugestões de estudos futuros, sugere-se (i) a elaboração de uma análise comparativa com outros Estados ou organizações, como o Japão e a União Europeia (UE), que possuem suas próprias metodologias para definição de criticalidade; (ii) a redação de uma análise dos documentos legislativos e executivos estaduais dos Estados Unidos, deixados de fora do recorte deste trabalho; (iii) o acompanhamento de futuras administrações federais dos Estados Unidos, bem como a atuação do governo chinês diante do mercado de minerais críticos; e (iv) o desenvolvimento de um estudo sobre minerais críticos sob a lente de regimes internacionais, abordando, por exemplo, desenvolvimentos futuros dentro do âmbito da ERGI, da OMC e da OCDE.

## Referências

AMES LABORATORY. **About the Critical Materials Institute**. Disponível em: <https://www.ameslab.gov/cmi/about-critical-materials-institute>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ARENT, D.; ARNDT, C.; MILLER, M.; ZINAMAN, O. Introduction and Synthesis. In: ARENT, D *et al.* (ed.). **The Political Economy of Clean Energy Transitions**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 2017. p. 292-312.

ANG, B. W.; CHOONG, W.L.; NG, T.S. Energy security: Definitions, dimensions and indexes, **Renewable Sustainable Energy Review**, v. 42, p. 1077–1093.

BAZILIAN, M.; SOVACOO, B.; MOSS, T. Rethinking Energy Statecraft: United States Foreign Policy and the Changing Geopolitics of Energy. **Global Policy**, v. 8, n. 3, p. 422-425, 2017.

BAZILIAN, M. The mineral foundation of the energy transition. **The Extractive Industries and Society**. v. 5, n. 1, p. 93 - 97, 2018.

BIELECKI, J. Energy security: is the Wolf at the Door? **The Quarterly Review of Economics and Finance**, v. 42, n. 2, p. 235-50, 2000.

BUZAN, B. **An Introduction to Strategic Studies**. 1. ed. Londres: Macmillan, 1987.

BUZAN, B. **People, States and Fear: An Agenda for International Security Studies in the Post-Cold War Era**. 2. ed. London: Harvester Wheatsheaf, 1991.

BUZAN, B.; WÆVER, O.; WILDE, J. **Security: A New Framework for Analysis**. Boulder, CO: Lynne Rienner. 1998.

CHERP, A. Defining energy security takes more than asking around. **Energy Policy**, v. 48, p. 841–842, 2012.

DALBY, S. Contesting an Essential Concept: reading the dilemmas of contemporary security discourse. In: KRAUSE, K.; WILLIAMS, M.C. (eds.). **Critical Security Studies: Concepts and Cases**, Minnesota: University of Minnesota Press, p. 3-32, 1997.

DELGADO, F.; MARQUES, J. V.; GASPAR, V. The Geopolitics of Renewable Energy: the Rare-Earth Elements Case. **Geopolitics of Energy**. v. 42, n. 2, p. 8-12, fev 2020.

DICIONÁRIO HOUAISS ONLINE. Disponível em: [https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol\\_www/v5-4/html/index.php](https://houaiss.uol.com.br/corporativo/apps/uol_www/v5-4/html/index.php). Acessado em 10 Jan. 2021.

DUFFIELD, J S. Energy and Security. In: DENEMARK, R. (ed.). **The International Studies Encyclopedia**, 2010.

ERGI. **About us**. Disponível em: <https://ergi.tools/about>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Departamento de Energia. **Critical Materials Strategy**. 1 ed. Washington: U.S. Department of Energy, 2011.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Conselho de Qualidade Ambiental. **Council on Environmental Quality and Department of the Interior Announce Review of Minerals Management Service NEPA Procedures**. Washington: 14 Mai 2010. Disponível em:

[https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ceq/Press\\_Releases/May\\_14\\_2010](https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ceq/Press_Releases/May_14_2010). Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Conselho de Qualidade Ambiental. **Council on Environmental Quality Releases Report on its Review of Minerals Management Service NEPA Procedures**. Washington: 16 Ago. 2010. Disponível em: [https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ceq/Press\\_Releases/August\\_16\\_2010](https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ceq/Press_Releases/August_16_2010). Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia. **Charter of the Committee on Environment, Natural Resources and Sustainability**. Washington: 05 out 2010. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/nstc-cenrs-charter.pdf>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia. **Charter of the Subcommittee on Critical and Strategic Mineral Supply Chains. Committee on Environment, Natural Resources and Sustainability. National Science and Technology Council**. Washington: 21 Abr. 2016. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/NSTC/CSMSC%20Charter%202016-04-21%20signed.pdf>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Conselho Nacional de Ciência e Tecnologia. **Materials Genome Initiative for Global Competitiveness**. Washington: jun. 2011. Disponível em: [https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/materials\\_genome\\_initiative-final.pdf](https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/materials_genome_initiative-final.pdf). Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Departamento de Estado. **Energy Resource Governance Initiative**. Washington: 11 jun. 2019. Disponível em: <https://www.state.gov/energy-resource-governance-initiative/>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Departamento do Comércio. **A Federal Strategy to Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals**. Executive Order 13817. Washington: 2017.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Departamento de Energia. **Hydrogen Fuel Initiative**. Disponível em: [https://www.hydrogen.energy.gov/h2\\_fuel\\_initiative.html](https://www.hydrogen.energy.gov/h2_fuel_initiative.html). Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. **Detailed information on the U.S. Geological Survey - Mineral Resource Assessments**. Washington: 06 set 2008. Disponível em: <https://georgewbush-whitehouse.archives.gov/omb/expectmore/detail/10001084.2003.html>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. Escritório de Políticas para Ciência e Tecnologia. **NSTC Committee on Environment, Natural Resources, and Sustainability**. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/administration/eop/ostp/nstc/committees/cenrs>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. **Executive Order on Addressing the Threat to the Domestic Supply Chain from Reliance on Critical Minerals from Foreign Adversaries**. Washington: 30 Set. 2020. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-addressing-threat-domestic-supply-chain-reliance-critical-minerals-foreign-adversaries/>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. **Executive Order Regarding the Ocean Policy to Advance the Economic, Security, and Environmental Interests of the United States**. Washington: 19 Jun. 2018. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/executive-order-regarding-ocean-policy-advance-economic-security-environmental-interests-united-states/>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *Executive Order 13547. Stewardship of the Ocean, Our Coasts, and the Great Lakes*. Washington: 19 Jul. 2010. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/executive-order-stewardship-ocean-our-coasts-and-great-lakes>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *Executive Order 13603. National Defense Resources Preparedness*. Washington: 16 Mar. 2012. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2012/03/16/executive-order-national-defense-resources-preparedness>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *Executive Order 13817. A Federal Strategy To Ensure Secure and Reliable Supplies of Critical Minerals*. Washington: 20 Dez. 2017. Disponível em: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/DCPD-201700922/pdf/DCPD-201700922.pdf>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *FACT SHEET: Obama Administration Joins with Public and Private Sector to Increase Access to Off-Grid Clean Energy and the Deployment of Innovative Technologies Globally*. 22 Out. 2015. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/10/22/fact-sheet-obama-administration-joins-public-and-private-sector-increase>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *Memorandum on Ocean Mapping of the United States Exclusive Economic Zone and the Shoreline and Nearshore of Alaska*. Washington: 19 Nov. 2019. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/memorandum-ocean-mapping-united-states-exclusive-economic-zone-shoreline-nearshore-alaska/>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *Presidential Determination Pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended*. Washington: 24 Jun. 2020. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/presidential-determination-pursuant-section-303-defense-production-act-1950-amended-7/>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *Presidential Proclamation - America Recycles Day*. Washington: 15 Nov. 2010. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2010/11/15/presidential-proclamation-america-recycles-day#:~:text=NOW%2C%20THEREFORE%2C%20I%2C%20BARACK,2010%2C%20as%20America%20Recycles%20Day>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *President Donald J. Trump's Meeting with Australian Prime Minister Malcolm Turnbull Strengthens the United States-Australia Alliance and Close Economic Partnership*. Washington: 23 Fev. 2018. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/president-donald-j-trumps-meeting-australian-prime-minister-malcolm-turnbull-strengthens-united-states-australia-alliance-close-economic-partnership/>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Presidência. *The Strategic and Critical Materials Stock Piling Act*. Washington: 29 Jul. 1979. Disponível em: <https://www.dla.mil/Portals/104/Documents/Strategic%20Materials/The%20Strategic%20and%20Critical%20Materials%20Stock%20Piling%20Act%20Amended%20Thru%20FY2019.pdf?ver=2019-01-09-151703-093>. Acessado em 15 Jan. 2021.

FIZAINE, F. *Analyses de la disponibilité économique des métaux rares dans le cadre de la transition énergétique*. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) - Faculté de Sciences Economiques et de Gestion. Université de Bourgogne, Bourgogne, 2014.

FOUQUET, R., PEARSON, G. Past and Prospective Energy Transitions: Insights from History. *Energy Policy*, v. 50, n. 1, p. 1-7, 2012.

GASPAR FILHO, V. Chineses miram em vulnerabilidade estadunidense no mercado de terras-raras. **Boletim Geocorrente**, Rio de Janeiro, v. 95, p 5-5, jun. 2019.

GASPAR FILHO, V. Governo Trump declara emergência nacional para estimular produção de minerais críticos. Rio de Janeiro: **Boletim Geocorrente**, n. 126, 08 Out. 2020. pp. 6.

GASPAR FILHO, V.; SANTOS, T.; Mineral-Resource Security: niobium's criticality to the U.S. Defense. In: **International Conference of Economics and Security**, 26-28 junho, 2019, Madrid.

GOMIDE, C. S.; COELHO, T. P.; TROCATE, C. MILANEZ, B. MORAES WANDERLEY, L. J. (org.) **Dicionário Crítico de Mineração**. 1. ed. Marabá: iGuana, 2018.

GRAAF, T.; COLGAN, J. Global energy governance: a review and research agenda. **Palgrave Communications** 2, n. 15047, 2016.

GRUBLER, A. *et al.* A low energy demand scenario for meeting the 1.5 °C target and sustainable development goals without negative emission technologies. **Nature Energy**. v. 3, p. 515 - 527, 2016.

HAFTENDORN, H. The security puzzle: theory building and discipline building in international security. **International Studies Quarterly**, v. 35, n. 1, p. 3- 17, 1991

GLOBAL ENERGY INSTITUTE. **U.S. Index of Energy Security Risk**. 1. ed. Washington: U.S. Chamber of Commerce, 2020.

GRAEDEL, T. E.; HARPER, E. M.; NASSAR, N. T. RECK, B. On the materials basis of modern society. **PNAS**. v. 112, n. 20, p. 6295-6300, 2015.

HENSEL, N. Economic Challenges in the Clean Energy Supply Chain: The Market for Rare Earth Minerals and Other Critical Inputs. **Business Economics**. v. 46, p. 171-184, 2011.

HUGHES, L.; MECKLING, J. The politics of renewable energy trade: The US-China solar dispute. **Energy Policy**, v. 105, n. 3, p. 256-262, 2017.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **A New World: the geopolitics of the energy transformation**. 1. ed. Abu Dhabi: IRENA, 2019.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Future of Wind: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)**. 1. ed. Abu Dhabi: IRENA, 2019.

JENKIN, G. R. T.; LUSTY, P. A. J.; MCDONALD, I.; SMITH, M. P.; BOYCE, A. J.; WILKINSON, J. J. Ore deposits in an evolving Earth: an introduction. In: JENKIN, G. R. T.; JIN, Y.; KIM, J.; GUILLAUME, B. Review of critical material studies. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 113, p. 77-87, out 2016.

LADISLAW, S.; CAREY, L.; BRIGHT, H. **Critical Minerals and the Role of U.S. Mining in a Low-Carbon Future**. Center for Strategic & International Studies, 2019.

KLARE, M.T. **Resource Wars: the new landscape of global conflict**. Nova Iorque: Metropolitan Books, 2001.

LADISLAW, S.; CAREY, L.; BRIGHT, H. **Critical Minerals and the Role of U.S. Mining in a Low-Carbon Future**. Center for Strategic & International Studies, 2019.

LEPESANT, G. **La transition énergétique face au défi des métaux critiques**. Paris: **Études de l'Ifri**, 2018.

LØVIK, A.; HAGELÜKEN, C.; WÄGERA, P. Improving supply security of critical metals: Current developments and research in the EU. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 15, p. 9-18, abril 2018.

LUSTY, P. A. J.; GUNN, A.G. Challenges to global mineral resource security and options for future supply. *In*: JENKIN, G. R. T.; LUSTY, P. A. J.; MCDONALD, I.; SMITH, M. P.; BOYCE, A. J.; WILKINSON, J. J. (eds.). **Ore Deposits in an Evolving Earth Geological Society**. London: Geological Society, Special Publications, p. 265-276, 2015.

LUSTY, P. A. J.; MCDONALD, I.; SMITH, M. P.; BOYCE, A. J.; WILKINSON, J. J. (eds.). **Ore Deposits in an Evolving Earth**, London: Geological Society, Special Publications, 2015.

MCLELLAN, B.; CORDEN, G.; SALEEM, A.; GOLEV, A. Rare metals, unconventional resources, and sustainability. **Special Paper of the Geological Society of America**. v. 520, p. 57 - 65, 2016.

MOTOORI, R.; MCLELLAN, B. C.; TEZUKA, T. Environmental Implications of Resource Security Strategies for Critical Minerals: A Case Study of Copper in Japan. **Minerals**, Basel. v. 8, n.12, 2018.

OFFICE OF THE FEDERAL REGISTER. Escritório de Políticas para Ciência e Tecnologia. **Critical and Strategic Materials Supply Chains**. Washington: 22 Jul. 2014. Disponível em: <https://www.federalregister.gov/documents/2014/07/22/2014-17192/critical-and-strategic-materials-supply-chains>. Acessado em 15 Jan. 2021.

ÖZDAMAR, Ö. Energy, Security, and Foreign Policy. *In*: DENEMARK, R. (ed.). **The International Studies Encyclopedia**. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2010.

ÖZDEMIROĞLU, E. Measuring Natural Resource scarcity: A study of the Price Indicator **CSERGE**, University of East Anglia, Norwich, England, GEC 93-14, ISSN 0967-8875, 1993.

PELL, R. S. et al. Applying and advancing the economic resource scarcity potential (ESP) method for rare earth elements. **Resources Policy**, v. 62, Ago. 2019.

POULIZAC, C. M. F. **Modeling Mining Economics and Materials Markets to Inform Criticality Assessment and Mitigation**. 2013. Dissertação (Master of Science in Technology and Policy) - Engineering Systems Division, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2013.

RAPHAEL, S.; STOKES, D. Energy Security. *In*: COLLINS, A. (org.). **Contemporary Security Studies**. Oxford: Oxford University Press, p. 378-393, 2010.

RHOADES, Stephen. The Herfindahl-Hirschman Index. **Federal Reserve Bulletin**. v. 79, n. 3, p. 188-189, 1993.

SABBATELLA, I.; SANTOS, T. The IPE of regional energy integration in South America. *In*: VIVARES, Ernesto (Ed.). **The Routledge Handbook to Global Political Economy: Conversations and Inquiries**. Cap. 42. Routledge, 2020.

SANTOS, T. **Regional Energy Security: Re-evaluating concepts and policies to promote energy integration in Mercosur**. Tese de Doutorado, PPE/COPPE/UFRJ, 2018.

SCHOLTEN, D. *et al.* The geopolitics of renewables: New board, new game. **Energy Policy**. v, 138, p. 1 - 6, 2019.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Nova Iorque: Currency Books, 2017.

SINGHA, H.; BOCCA, R.; GOMEZ, P.; DAHLKE, S.; BAZILIAN, M. The energy transitions index: An analytic framework for understanding the evolving global energy. **Energy Strategy Reviews**, v. 26, n. 1, p. X-Y, 2019.

SOVACOOOL, B. K.; BROWN, M. Competing Dimensions of Energy Security: An International Perspective. **Annual Review of Environment and Resources**. v. 35, n. 1, p. 77-108, 2010.

SOVACOOOL, B. K., MUKHERJEE, I. Conceptualizing and measuring energy security, a synthesized approach. **Energy**, v. 36, n. 8, p. 5343–5355, 2011.

SOVACOOOL, B. K. The methodological challenges of creating a comprehensive energy security index. **Energy Policy**, v. 48, p. 835–840, 2012.

SOVACOOOL, B. K. An international assessment of energy security performance. **Ecological Economics**, v. 88, p. 148–158, 2013.

SOVACOOOL, B.; SALEEM H., A; BAZILIAN, M.; RADLEY, B.; NEMERY, B.; OKATZ, J.; MULVANEY, D. Sustainable minerals and metals for a low-carbon future. **Science Magazine**, v. 367, n. 6473, p. 30-33, 2020.

SOVACOOOL, B. K. The history and politics of energy transitions: comparing contested views and finding common ground. Working paper, World Institute for Development Economics Research, 2016/81, 2016. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/146275/1/861502779.pdf>>

ULLMAN, R. Redefining security. **International Security**, v. 8, n. 1, p. 129-153, 1983.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2000**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2000.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2001**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2001.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2002**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2002.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2003**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2003.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2004**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2004.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2005**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2005.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2006**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2006.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2007**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2007.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2008**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2008.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2009**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2009.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2010**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2010.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2011**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2011.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2012**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2012.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2013**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2013.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2014**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2015**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2015.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2016**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2016.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2017**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2017.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2018**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2018.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2019**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2020**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2020.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). Departamento do Interior. **Mineral Commodity Summaries 2020**. 1. ed. Reston: U.S. Geological Survey, 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (Estados Unidos). **Global Mineral Resource Assessments**. Disponível em: [https://www.usgs.gov/energy-and-minerals/mineral-resources-program/science/global-mineral-resource-assessments?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/energy-and-minerals/mineral-resources-program/science/global-mineral-resource-assessments?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Acessado em 15 Jan. 2021.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Rare Earths Statistics and Information**. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/rare-earths-statistics-and-information>. Acesso em: 01 Fev. 2021.

VAN DE GRAAF, T.; COLGAN, J. Global energy governance: a review and research agenda. **Nature**, 2:15047, p. 1 - 12, 2016.

VAN DER HOEVEN, M. Ensuring energy security in times of uncertainty. **World Energy Insight**, 2011.

WADIA, C. **New Request for Information to Inform Strategy on Critical Materials**. Washington: Office of Science and Technology Policy, 8 Ago. 2014. Disponível em: <https://obamawhitehouse.archives.gov/blog/2014/08/08/new-request-information-inform-strategy-critical-materials>. Acessado em 15 Jan. 2021.

WALT, S. The Renaissance of Security Studies. **International Studies Quarterly**, v. 35, n. 2, p. 211-239, 1991.

WANG, P.; CHEN, L.; GE, J.P.; CAI, W.; CHENA, W.Q. Incorporating critical material cycles into metal-energy nexus of China's 2050 renewable transition. **Applied Energy**, v. 253, 2019.

WATARIA, T.; MCLELLANA, B.; GIURCO, D.; DOMINISH, E.; YAMASUE, E.; NANSAI, K. Total material requirement for the global energy transition to 2050: A focus on transport and electricity. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 148, p. 91-103, 2019.

WILLIAMS, P. Security studies: an introduction. In: WILLIAMS, Paul (Ed.). **Security studies: an introduction**. New York: Routledge, 2007. p. 1-12.

WOLFERS, A. "National Security" as an Ambiguous Symbol. **Political Science Quarterly**, v. 67, n. 4, p. 481-502, 1952.

YERGIN, D. (1988). Energy Security in the 1990s. **Foreign Affairs**, v. 67, n. 1, p. 110-132, 1988.

YERGIN, D. Energy Security and Markets. In: KALICKI, J.H.; GOLDWYN, D.L. (eds.) **Energy and Security: Toward a New Foreign Policy Strategy**. Washington: Woodrow Wilson Center Press, p. 51-64, 2005.

ZIENTEK, M.L. et al (ed.). **Global Mineral Resource Assessment**. 1. ed. Washington: United States Geological Survey, 2010.

## ANEXOS

## Anexo 1

Nível de preços dos minerais de terras-raras no período 2001-2020. Valores em dólares por quilo.

Ano/ Mineral	Cério	Érbio	Gadolínio	Hólmio	Lantânio	Neodímio	Praseodímio	Samário	Itérbio	Ítrio	Disprósio	Európio	Lutécio	Escândio	Túlio	Térbio
2001	19,2	155	130	440	23	28,5	36,8	360	340	88	120	990	3,500	6,000	2,300	535
2002	19,2	155	130	440	23	28,5	36,8	360	340	88	120	990	3,500	6,000	2,300	535
2003	19,2	155	130	440	23	28,5	36,8	360	340	88	120	990	3,500	6,000	2,300	535
2004	19,2	155	130	440	23	28,5	36,8	360	340	88	120	990	3,500	6,000	2,300	535
2005	19,2	155	130	440	23	28,5	36,8	360	340	88	120	990	3,500	6,000	2,300	535
2006	40	160	140	650	30	45	50	250	400	50	150	1,000	3,500		2,500	800
2007	50	165	150	750	40	60	75	200	450	50	160	1,200	3,500		2,500	850
2008	50	165	150	750	40	60	75	200	450	50	160	1,200	3,500		2,500	850
2009	30	100	150	750	30	42	38	130	325	44	170	1,600	1,800	2,500	1,500	900
2010	30	165	165	750	38	63	60	175	375	50	310	1,400	2,200	3,500	1,500	1,400
2011	100	255	239		100	270	225	118	450	165	1,600	3,300	4,000	3,700		2,750
2012	23		92		23	117	115	62		88	1,010	2,440		4,700		1,950
2013	8		47		8	70	94	14		25	540	1,130		5,000		949
2014	5		47		5	63	121	7		16	395	822		5,000		713
2015	3		21		3	48	76	3		8	279	344		5,100		564
2016	2		20		2	40	52	2		4	198	74		4,600		415
2017	2		37		2	50	65	2		3	187	77		4,600		501
2018	2				2	50					179	53				455
2019	2				2	45					239	35				507
2020	2				2	47					258	31				628
	Informação indisponível															

Fonte: elaboração própria com base em dados da USGS.

## Anexo 2

**Série histórica de importações de terras-raras totais pelos Estados Unidos. Dados de fontes, toneladas e porcentagens.**

Ano/ Países	Total	África do Sul	Alemanha	Áustria	Austrália	Bélgica	Canadá	China
2001	t	27.073.74		43.74	114.20			19.680.00
	%t		0%	0%	0%	0%	0%	73%
	US\$	139,868,810.00		1,373,300.00	2,006,000.00			68,560,000.00
	%US\$		0%	1%	1%	0%	0%	49%
2002	t	15,812.96		13.61	155.93			10,087.30
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	64%
	US\$	86,721,700.00		645,100.00	1,984,600.00			34,958,000.00
	%US\$		0%	1%	2%	0%	0%	40%
2003	t	23,193.89		14.81	275.36	8.67		17,442.00
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	75%
	US\$	93,991,600.00		1,261,910.00	4,459,100.00	814,000.00		39,761,000.00
	%US\$		0%	1%	5%	1%	0%	42%
2004	t	23,546.61		25.85	160.75		15.30	18,583.00
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	79%
	US\$	97,792,260.00		896,500.00	4,425,000.00		161,200.00	44,510,000.00
	%US\$		0%	1%	5%	0%	0%	46%
2005	t	22,353.58	11.12	11.58	194.86		10.00	19,644.30
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	88%
	US\$	101,131,970.00	86,700.00	1,065,260.00	7,624,000.00		26,200.00	43,366,100.00
	%US\$		0%	1%	8%	0%	0%	43%
2006	t	26,652.79		1.39	147.18		10.00	24,458.35
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	92%
	US\$	103,910,650.00		323,510.00	4,333,800.00		26,200.00	60,647,900.00
	%US\$		0%	0%	4%	0%	0%	58%
2007	t	24,136.13	12.70	2.96	186.42		3.03	21,760.17
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	90%
	US\$	127,509,690.00	120,000.00	606,450.00	5,254,000.00		105,000.00	77,722,200.00
	%US\$		0%	0%	4%	0%	0%	61%
2008	t	20,746.97	48.40	7.44	166.57		3.46	18,825.60
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	91%
	US\$	185,980,380.00	522,000.00	1,088,050.00	4,259,000.00		139,000.00	126,046,000.00
	%US\$		0%	1%	2%	0%	0%	68%
2009	t	14,965.61	39.60	36.36	465.43		3.62	13,076.97
	%t		0%	0%	3%	0%	0%	87%
	US\$	113,129,550.00	426,000.00	524,000.00	4,283,100.00		17,570.00	71,306,300.00
	%US\$		0%	0%	4%	0%	0%	63%
2010	t	16,223.10	64.10	2.39	268.01	1.93	0.22	14,000.90
	%t		0%	0%	2%	0%	0%	86%
	US\$	189,152,980.00	781,000.00	387,610.00	6,639,000.00	3,190.00	19,700.00	126,470,000.00
	%US\$		0%	0%	4%	0%	0%	67%
2011	t	10,028.21			526.70			6,719.10
	%t		0%	0%	5%	0%	0%	67%
	US\$	802,321,800.00			27,985,000.00			515,241,000.00
	%US\$		0%	0%	3%	0%	0%	64%
2012	t	7,903.95		3.16	256.70			4,292.70
	%t		0%	0%	3%	0%	0%	54%
	US\$	503,289,000.00		986,000.00	8,966,000.00			194,300,000.00
	%US\$		0%	0%	2%	0%	0%	39%
2013	t	11,961.73		28.00	201.60			9,242.26
	%t		0%	0%	2%	0%	0%	77%
	US\$	238,635,090.00		4,500,000.00	3,568,000.00			127,386,890.00
	%US\$		0%	2%	1%	0%	0%	53%
2014	t	14,757.66		206.30	191.90			10,977.28
	%t		0%	1%	1%	0%	0%	74%
	US\$	185,111,900.00		7,030,000.00	2,474,000.00			94,731,000.00
	%US\$		0%	4%	1%	0%	0%	51%
2015	t	13,114.34		16.80	39.10			9,532.00
	%t		0%	0%	0%	0%	0%	73%
	US\$	148,588,200.00		2,990,000.00	444,000.00			85,072,000.00
	%US\$		0%	2%	0%	0%	0%	57%
2016	t	16,980.91		0.00	51.80			13,855.51
	%t		0%	0%	0%	0%	0%	82%
	US\$	117,882,960.00		21,400.00	525,000.00			60,245,000.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	0%	51%
2017	t	17,564.51		0.04	41.40			14,752.75
	%t		0%	0%	0%	0%	0%	84%
	US\$	136,966,760.00		7,500.00	427,000.00			77,648,600.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	0%	57%

Ano/ Países	Total	Coréia do Sul	Espanha	Estônia	França	Hong Kong	Índia	Irlanda
2001	t	27,073.74		900.00	3,213.90	0.57	1,490.00	
	%t		0%	0%	3%	12%	0%	6%
	US\$	139,868,810.00		769,000.00	20,076,050.00	2,520.00	1,720,000.00	
	%US\$		0%	0%	1%	14%	0%	1%
2002	t	15,812.96		1,270.00	2,330.42	65.54		
	%t		0%	0%	8%	15%	0%	0%
	US\$	86,721,700.00		1,510,000.00	16,446,600.00	182,300.00		
	%US\$		0%	0%	2%	19%	0%	0%
2003	t	23,193.89	1.22	520.00	2,370.13	13.10	80.00	
	%t		0%	0%	2%	10%	0%	0%
	US\$	93,991,600.00	102,000.00	515,000.00	20,058,000.00	241,000.00	75,600.00	
	%US\$		0%	0%	1%	21%	0%	0%
2004	t	23,546.61	79.20	440.00	2,291.47	24.60		13.90
	%t		0%	0%	2%	10%	0%	0%
	US\$	97,792,260.00	2,509,000.00	428,000.00	17,717,400.00	382,000.00		350,000.00
	%US\$		3%	0%	0%	18%	0%	0%
2005	t	22,353.58	25.90	76.00	721.24	36.40		15.17
	%t		0%	0%	0%	3%	0%	0%
	US\$	101,131,970.00	59,500.00	80,000.00	11,963,800.00	181,500.00		491,000.00
	%US\$		0%	0%	0%	12%	0%	0%
2006	t	26,652.79	2.76		812.02	111.00		
	%t		0%	0%	0%	3%	0%	0%
	US\$	103,910,650.00	26,700.00		14,260,000.00	518,000.00		
	%US\$		0%	0%	0%	14%	0%	0%
2007	t	24,136.13	57.22		756.82	163.72		
	%t		0%	0%	0%	3%	1%	0%
	US\$	127,509,690.00	98,500.00		17,800,100.00	768,640.00		
	%US\$		0%	0%	0%	14%	1%	0%
2008	t	20,746.97	0.15		543.72	445.00		
	%t		0%	0%	0%	3%	2%	0%
	US\$	185,980,380.00	32,100.00		21,582,500.00	2,938,000.00		
	%US\$		0%	0%	0%	12%	2%	0%
2009	t	14,965.61		0.03	438.77	0.60	0.05	
	%t		0%	0%	0%	3%	0%	0%
	US\$	113,129,550.00		2,450.00	15,327,740.00	5,990.00	4,000.00	
	%US\$		0%	0%	0%	14%	0%	0%
2010	t	16,223.10	32.45	204.00	683.20	46.50		34.60
	%t		0%	0%	1%	4%	0%	0%
	US\$	189,152,980.00	326,600.00	1,166,000.00	20,407,000.00	415,800.00		2,830,000.00
	%US\$		0%	0%	1%	11%	0%	1%
2011	t	10,028.21	29.30	0.92	199.00	678.00	17.20	192.00
	%t		0%	0%	2%	7%	0%	2%
	US\$	802,321,800.00	1,820,000.00	20,300.00	12,970,000.00	56,950,000.00	1,220,000.00	7,370,000.00
	%US\$		0%	0%	2%	7%	0%	1%
2012	t	7,903.95		80.30	531.00	1,178.00		
	%t		0%	1%	7%	15%	0%	0%
	US\$	503,289,000.00		816,000.00	8,210,000.00	109,180,000.00		
	%US\$		0%	0%	2%	22%	0%	0%
2013	t	11,961.73	9.40	797.00	383.70	135.00		
	%t		0%	0%	7%	3%	1%	0%
	US\$	238,635,090.00	262,000.00	6,904,000.00	29,930,000.00	867,000.00		
	%US\$		0%	0%	3%	13%	0%	0%
2014	t	14,757.66		1,033.07	475.06	53.10		
	%t		0%	0%	7%	3%	0%	0%
	US\$	185,111,900.00		5,075,000.00	12,179,000.00	431,000.00		
	%US\$		0%	0%	3%	7%	0%	0%
2015	t	13,114.34	0.77	6.73	1,033.00	562.28	18.50	
	%t		0%	0%	8%	4%	0%	0%
	US\$	148,588,200.00	199,100.00	139,000.00	5,129,000.00	12,642,000.00	129,000.00	
	%US\$		0%	0%	3%	9%	0%	0%
2016	t	16,980.91	3.77	55.30	946.00	644.00	20.00	
	%t		0%	0%	6%	4%	0%	0%
	US\$	117,882,960.00	359,000.00	1,170,000.00	1,745,000.00	14,500,000.00	78,600.00	
	%US\$		0%	1%	1%	12%	0%	0%
2017	t	17,564.51	2.31	118.00	1,067.00	357.00		
	%t		0%	1%	6%	2%	0%	0%
	US\$	136,966,760.00	467,000.00	2,010,000.00	2,897,000.00	12,400,000.00		
	%US\$		0%	1%	2%	9%	0%	0%

Ano/ Países	Total	Israel	Itália	Japão	Malásia	Mexico	Países Baixos	Noruega
2001	t	27,073.74			1,152.86			34.50
	%t		0%	0%	4%	0%	0%	0%
	US\$	139,868,810.00			23,585,000.00			14,800,000.00
	%US\$		0%	0%	17%	0%	0%	11%
2002	t	15,812.96			959.80			1.73
	%t		0%	0%	6%	0%	0%	0%
	US\$	86,721,700.00			18,444,000.00			2,520,000.00
	%US\$		0%	0%	21%	0%	0%	3%
2003	t	23,193.89	100.00	2.00	920.10			5.67
	%t		0%	0%	4%	0%	0%	0%
	US\$	93,991,600.00	896,000.00	10,400.00	15,183,390.00			86,100.00
	%US\$		1%	0%	16%	0%	0%	0%
2004	t	23,546.61	1.00	5.90	1,117.35			15.01
	%t		0%	0%	5%	0%	0%	0%
	US\$	97,792,260.00	879,000.00	30,100.00	17,868,430.00			87,760.00
	%US\$		1%	0%	18%	0%	0%	0%
2005	t	22,353.58		34.50	974.94		0.96	0.45
	%t		0%	0%	4%	0%	0%	0%
	US\$	101,131,970.00		3,720,000.00	25,186,000.00		28,800.00	13,400.00
	%US\$		0%	4%	25%	0%	0%	0%
2006	t	26,652.79		30.80	866.64		-	
	%t		0%	0%	3%	0%	0%	0%
	US\$	103,910,650.00		4,110,000.00	16,963,700.00		2,640.00	
	%US\$		0%	4%	16%	0%	0%	0%
2007	t	24,136.13		44.70	537.43			
	%t		0%	0%	2%	0%	0%	0%
	US\$	127,509,690.00		5,420,000.00	15,340,000.00			
	%US\$		0%	4%	12%	0%	0%	0%
2008	t	20,746.97		56.20	302.73			
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	0%
	US\$	185,980,380.00		6,150,000.00	19,676,700.00			
	%US\$		0%	3%	11%	0%	0%	0%
2009	t	14,965.61		42.50	218.79			
	%t		0%	0%	1%	0%	0%	0%
	US\$	113,129,550.00		4,190,000.00	12,165,900.00			
	%US\$		0%	4%	11%	0%	0%	0%
2010	t	16,223.10		18.40	603.51			
	%t		0%	0%	4%	0%	0%	0%
	US\$	189,152,980.00		1,790,000.00	23,949,000.00			
	%US\$		0%	1%	13%	0%	0%	0%
2011	t	10,028.21			903.46			
	%t		0%	0%	9%	0%	0%	0%
	US\$	802,321,800.00			89,709,000.00			
	%US\$		0%	0%	11%	0%	0%	0%
2012	t	7,903.95		37.50	785.97			
	%t		0%	0%	10%	0%	0%	0%
	US\$	503,289,000.00		5,480,000.00	90,350,000.00			
	%US\$		0%	1%	18%	0%	0%	0%
2013	t	11,961.73			544.30	20.00		
	%t		0%	0%	5%	0%	0%	0%
	US\$	238,635,090.00			21,090,000.00	126,000.00		
	%US\$		0%	0%	9%	0%	0%	0%
2014	t	14,757.66			334.40	497.00		
	%t		0%	0%	2%	3%	0%	0%
	US\$	185,111,900.00			24,100,000.00	2,780,000.00		
	%US\$		0%	0%	13%	2%	0%	0%
2015	t	13,114.34			24.19	800.00		
	%t		0%	0%	0%	6%	0%	0%
	US\$	148,588,200.00			873,400.00	2,740,000.00		
	%US\$		0%	0%	1%	2%	0%	0%
2016	t	16,980.91			332.60			
	%t		0%	0%	2%	0%	0%	0%
	US\$	117,882,960.00			13,197,400.00			
	%US\$		0%	0%	11%	0%	0%	0%
2017	t	17,564.51			313.13			
	%t		0%	0%	2%	0%	0%	0%
	US\$	136,966,760.00			13,934,800.00			
	%US\$		0%	0%	10%	0%	0%	0%

Ano/ Países	Total	Reino Unido	Rússia	Tailândia	Taiwan	Vietnã	Outros
2001	t	27,073.74	79.65	124.30		18.00	222.02
	%t		0%	0%	0%	0%	1%
	US\$	139,868,810.00	5,002,640.00	337,000.00		48,900.00	1,588,400.00
	%US\$		4%	0%	0%	0%	1%
2002	t	15,812.96	172.30	571.34		0.01	184.98
	%t		1%	4%	0%	0%	1%
	US\$	86,721,700.00	6,935,300.00	1,178,350.00		5,750.00	1,911,700.00
	%US\$		8%	1%	0%	0%	2%
2003	t	23,193.89	196.96	1,021.20			222.67
	%t		1%	4%	0%	0%	1%
	US\$	93,991,600.00	6,124,200.00	2,131,000.00			2,272,900.00
	%US\$		7%	2%	0%	0%	2%
2004	t	23,546.61	71.89	674.29			27.09
	%t		0%	3%	0%	0%	0%
	US\$	97,792,260.00	5,379,700.00	1,652,000.00			481,870.00
	%US\$		6%	2%	0%	0%	0%
2005	t	22,353.58	195.56	378.08			4.52
	%t		1%	2%	0%	0%	0%
	US\$	101,131,970.00	6,014,900.00	906,500.00			260,110.00
	%US\$		6%	1%	0%	0%	0%
2006	t	26,652.79	42.18	145.54			24.87
	%t		0%	1%	0%	0%	0%
	US\$	103,910,650.00	1,312,300.00	916,900.00			432,200.00
	%US\$		1%	1%	0%	0%	0%
2007	t	24,136.13	131.89	346.73		40.60	91.74
	%t		1%	1%	0%	0%	0%
	US\$	127,509,690.00	723,300.00	914,300.00		160,000.00	2,477,200.00
	%US\$		1%	1%	0%	0%	2%
2008	t	20,746.97	56.27	99.03		18.00	174.42
	%t		0%	0%	0%	0%	1%
	US\$	185,980,380.00	572,730.00	796,900.00		170,000.00	2,007,400.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	1%
2009	t	14,965.61	26.11	2.39			614.39
	%t		0%	0%	0%	0%	4%
	US\$	113,129,550.00	495,800.00	471,200.00			3,909,500.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	3%
2010	t	16,223.10	127.38	17.02		0.70	117.56
	%t		1%	0%	0%	0%	1%
	US\$	189,152,980.00	900,000.00	778,500.00		9,530.00	2,275,900.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	1%
2011	t	10,028.21	3.07				759.46
	%t		0%	0%	0%	0%	8%
	US\$	802,321,800.00	510,000.00				88,526,500.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	11%
2012	t	7,903.95	17.80			5.00	715.82
	%t		0%	0%	0%	0%	9%
	US\$	503,289,000.00	231,000.00			87,300.00	84,682,700.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	17%
2013	t	11,961.73					600.47
	%t		0%	0%	0%	0%	5%
	US\$	238,635,090.00					44,001,200.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	18%
2014	t	14,757.66					989.56
	%t		0%	0%	0%	0%	7%
	US\$	185,111,900.00					36,311,900.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	20%
2015	t	13,114.34	0.68	1.50			1,078.79
	%t		0%	0%	0%	0%	8%
	US\$	148,588,200.00	105,000.00	69,000.00			38,056,700.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	26%
2016	t	16,980.91	2.00	5.92			1,064.01
	%t		0%	0%	0%	0%	6%
	US\$	117,882,960.00	60,800.00	495,460.00			25,485,300.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	22%
2017	t	17,564.51	1.48	8.78			902.62
	%t		0%	0%	0%	0%	5%
	US\$	136,966,760.00	71,200.00	385,000.00			26,718,660.00
	%US\$		0%	0%	0%	0%	20%

Fonte: elaboração própria com base em dados da USGS.









	Dependência estrangeira	Peru	Polónia	Reino Unido	República Tcheca	Ruanda	Rússia	Senegal	Vietã	Ucrânia	Outros
Arsênio	100%										1%
Césio	100%										
Fluorspar	100%								5%		8%
Gálio	100%			22%						15%	5%
Grafite	100%										9%
Índio	100%										33%
Manganês	100%										24%
Nióbio	100%						3%				7%
Terras-raras	100%										8%
Rubídio	100%										
Escândio	100%										
Estrôncio	100%										
Tântalo	100%					26%					19%
Vanádio	100%				32%						9%
Bismútio	96%	3%									7%
Urânio	93%						16%				14%
Potássio	92%						7%				4%
Concentrados de titânio	91%										8%
Antimônio	85%										11%
Rênio	80%		2%								3%
Barita	>75%										1%
Bauxita	>75%										
Telúrio	>75%										2%
Estanho	75%	19%									13%
Cobalto	72%										35%
Crômio	69%						4%				32%
Metais do grupo da platina	57%			5%			10%				18%
Titânio	53%									3%	2%
Germânio	>50%						3%				2%
Háfnio	>50%			8%							
Lítio	>50%										
Tungstênio	>50%										19%
Concentrados de zircônio	<50%							7%			2%
Zircônio	<50%										2%
Magnésio	<25%			2%							7%
Berílio	14%			1%							3%
Hélio	Exportador líquido										

Fonte: Elaboração própria com base em dados da USGS.