

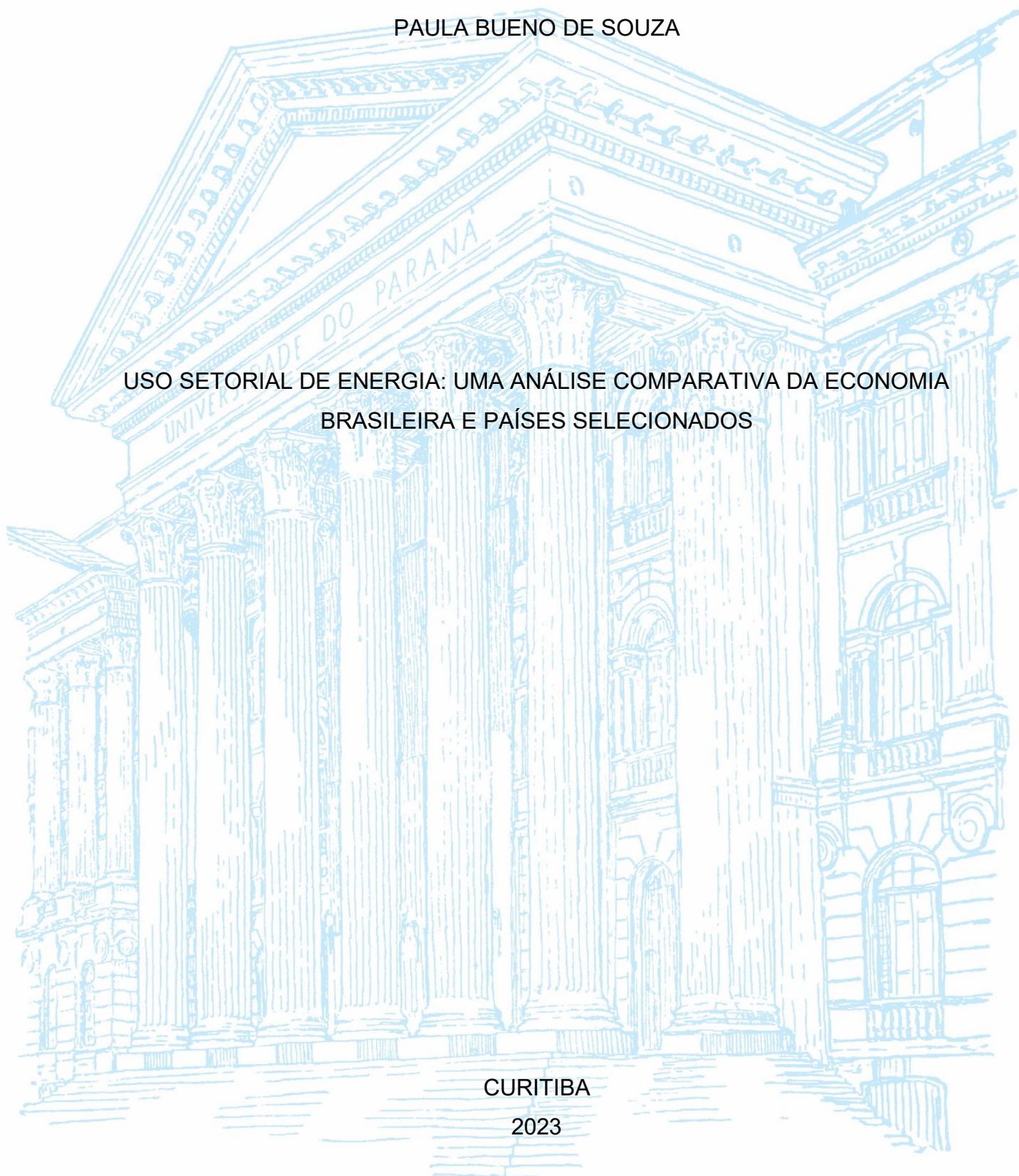
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PAULA BUENO DE SOUZA

USO SETORIAL DE ENERGIA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DA ECONOMIA  
BRASILEIRA E PAÍSES SELECIONADOS

CURITIBA

2023



PAULA BUENO DE SOUZA

USO SETORIAL DE ENERGIA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DA ECONOMIA  
BRASILEIRA E PAÍSES SELECIONADOS

Monografia apresentada ao curso de Ciências Econômicas, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Economia.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Kênia Barreiro de Souza

CURITIBA

2023

Aos meus pais, Denise e Nelson, e aos meus irmãos, Ana Luiza e Lucas.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus.

Agradeço a incrível jornada da vida, principalmente essa que vivi durante os cinco anos de faculdade.

Aos meus pais, Denise e Nelson, e aos meus irmãos, Ana Luiza e Lucas, por me apoiarem e me proporcionarem viver meus sonhos.

Agradeço as inúmeras amigas que fiz nessa jornada. Em especial, Alice B, Alice C., Bruna, Gabriel, Giulia, Izadora, Larissa, Luiza, Matheus, Rafaela e Sofia.

Aos meus amigos de sempre, em especial Érika, Isabella, Lucas, Marcela e Wendel, que mesmo com a distância, se fizeram presentes em minha vida.

À minha amiga Amanda, que tornou minha vida universitária mais leve e a nossa amizade, que transcendeu o ambiente universitário.

Agradeço a todos que participaram da minha formação acadêmica, em especial, minha orientadora, professora Kênia, essencial para o desenvolvimento do meu trabalho.

A energia é vital em todas as economias. (Autor desconhecido)

## RESUMO

A energia mostra-se um fator determinante para moldar a trajetória de desenvolvimento do mundo nos últimos séculos. No entanto, o uso de energia concentrou-se em combustíveis provenientes de fontes não renováveis e finitas como Petróleo, Gás Natural e Carvão. Diante disso, como a humanidade depende de energia, é necessário o investimento em fontes renováveis promovendo uma mudança na matriz energética, tendo como foco o desenvolvimento e a utilização de cada vez mais fontes renováveis, como por exemplo a hidráulica, eólica, solar, biomassa, geotérmica, entre outras. O trabalho propõe analisar a estrutura energética do Brasil e de outros países economicamente relevantes (China, Estados Unidos, Alemanha, Rússia e Noruega) com a finalidade de através de uma análise com economias a frente da brasileira, ver qual está mais bem preparada para um futuro energético com a utilização majoritariamente fontes renováveis, permitindo a continuidade de uma trajetória de crescimento e desenvolvimento sustentável. Os resultados mostram que, de forma geral, os países utilizam grandes quantidades de energia para a produção de petróleo, e o uso de energias renováveis ainda é baixo. Nesse quesito, o Brasil se destaca como país que mais se utiliza de fontes renováveis em sua matriz energética, ainda que, em termos agregados, a principal fonte de energia ainda seja o petróleo. Em contrapartida, a Rússia foi o país com os maiores coeficientes de utilização de energia por dólar de produção final, além de se destacar como o país com maior dependência de energias não renováveis. Apesar de altos coeficientes de uso de energia principalmente na fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, países como a Noruega, Alemanha e Estados Unidos, apresentam coeficientes mais baixos nos demais setores, evidenciando que eles necessitam de menos energia para gerar a mesma quantidade em termos de produção, quando comparados ao Brasil, China e Rússia. Diante desse cenário, os dados apontam que, embora o Brasil se posicione como referência no uso de fontes renováveis, são necessários investimentos em técnicas produtivas energeticamente mais eficientes, que permitam uma menor utilização de energia de todos os tipos preferencialmente reduzindo o uso de combustíveis fósseis.

**Palavras-chave:** Energia 1. Uso setorial de energia 2. Matriz energética 3. Matriz energética mundial 4. Modelo Insumo-Produto 5. Uso de energia

## ABSTRACT

Energy has proven to be a determining factor in shaping the world's development path in recent centuries. However, energy use focuses on fuels coming from non-renewable and finite sources like Oil, Natural Gas and Coal. In view of this, as humanity depends on energy, it is necessary to invest in renewable sources, promoting a change in the energy matrix, focusing on the development and use of more and more renewable sources, such as hydraulic, wind, solar, biomass, geothermal, among others. The work proposes to analyze the energy structure of Brazil and of other economically relevant countries (China, United States, Germany, Russia and Norway) with the purpose of, through an analysis with economies ahead of the Brazilian one, to see which one is better prepared for a energy future with the use mainly of renewable sources, allowing the continuity of a trajectory of growth and sustainable development. The results show that, in general, countries use large energy deposits for oil production, and the use of renewable energy is still low. In this regard, Brazil stands out as the country that most uses renewable sources in its energy matrix, although, in aggregate terms, the main source of energy is still oil. On the other hand, Russia was the country with the highest coefficients of energy use per dollar of final production, in addition to standing out as the country with the greatest dependence on non-renewable energy. Despite high coefficients of energy use, mainly in the manufacture of coke and refined petroleum products, countries such as Norway, Germany and the United States, have lower coefficients in other sectors, showing that they suffered from less energy to generate the same amount in terms of production, when compared to Brazil, China and Russia. Given this scenario, the data indicate that, although Brazil is positioned as a reference in the use of renewable sources, investments are needed in more energy efficient production techniques, which cause a lower use of energy of all types, preferentially attractive the use of fossil fuels.

**Keywords:** Energy 1. Sectoral use of energy 2. Energy matrix 3. World energy matrix 4. Input-Output Model 5. Energy use

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – COEFICIENTES DE USO DE ENERGIA RENOVÁVEL E NÃO RENOVÁVEL PARA BRASIL E NORUEGA.....	39
--	----

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – COEFICIENTES DE USO DE ENERGIA.....	29
TABELA 2 – MULTIPLICADORES TOTAIS DE USO DE ENERGIA.....	32
TABELA 3 – PORCENTAGEM DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS ....	35

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>23</b>
3.1.	O MODELO INSUMO-PRODUTO .....	23
3.2.	MODELO ABERTO DE LEONTIEF .....	23
3.3.	BASE DE DADOS .....	26
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>28</b>
4.1.	COEFICIENTES TÉCNICOS DE ENERGIA .....	28
4.2.	MULTIPLICADORES DE ENERGIA .....	31
4.3.	ENERGIAS RENOVÁVEIS .....	34
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>43</b>
	<b>ANEXO A – LISTA DE SETORES.....</b>	<b>46</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Em 1712, Thomas Newcomen inventou a máquina a vapor, inicialmente empregada para acionar as bombas, nas minas de carvão. Essa máquina foi posteriormente aperfeiçoada por James Watt e passou a ser usada em fábricas, locomotivas, navios entre outros. Sem ela, a Revolução Industrial não teria tomado o rumo que tomou (CARVALHO, 2014). Com isso, foi empregado o uso da eletricidade, representando um papel importante no desenvolvimento atual. Diante dessa nova tecnologia, iniciou-se a estruturação de formas de geração de energia, como hidrelétricas, hidráulicas e a principal, a solidificação da forma mais utilizada até o século XXI, a energia gerada por meio de combustíveis fósseis.

As diferentes formas de energia tornaram-se imprescindíveis para o desenvolvimento do ser humano e, são um insumo básico em praticamente todos os processos produtivos e uma rubrica importante no consumo final das famílias (AMADOR, 2010). Com isso, a oscilação de preços do setor energético tem impacto em diversos setores econômicos e não apenas nos negócios diretamente ligados a ele.

Entre os combustíveis fósseis, o tipo mais utilizado é petróleo, que consolidou o modelo industrial moderno, caracterizado pela produção em massa, com os setores mais dinâmicos forçando o desenvolvimento tecnológico de indústrias ligadas às suas linhas de produção. O petróleo é visto como um fator crucial na consolidação da globalização, pois a sua utilização para setores chave como a indústria automobilística fez com que as economias estivessem mais interligadas (CARVALHO, 2014).

As diferentes formas de energia tornaram-se imprescindíveis para o desenvolvimento do ser humano e, são um insumo básico em praticamente todos os processos produtivos e uma rubrica importante no consumo final das famílias (AMADOR, 2010). Com isso, a oscilação de preços do setor energético tem impacto em diversos setores econômicos e não apenas nos negócios diretamente ligados a ele.

Além de influenciar os consumidores, o preço do petróleo foi e é parte em destaque do centro da economia internacional. Os Três Choques do Petróleo, ocorridos entre os anos de 1973 e 1997, tiveram como um dos efeitos a maior taxa de inflação da história da economia mundial, exceto no período das guerras

mundiais; e a pior recessão desde a Grande Depressão de 1930 (DINELLI, 2020). Essas ocorrências além de mostrarem a influência do petróleo na economia, mostram que, as economias são dependentes dessa fonte de energia esgotável.

Ademais da influência sobre a inflação, o nível de atividade econômica está diretamente relacionado ao consumo de energia. Este recorrentemente utilizado como *proxy* na medição do desenvolvimento econômico de um país. Nos países em que o consumo de energia comercial per capita está abaixo de uma tonelada equivalente de petróleo (TEP) por ano, as taxas de analfabetismo, mortalidade infantil e fertilidade total são altas, enquanto a expectativa de vida é baixa (GOLDEMBERG, 1998). De acordo com Goldemberg (1998, p. 7), à medida em que o consumo de energia comercial per capita aumenta para valores acima de 2 TEP (ou mais), como é o caso dos países desenvolvidos, as condições sociais melhoram consideravelmente. O consumo médio per capita nos países industrializados da União Europeia é de 3.22 TEP/capita; a média mundial é de 1.66 TEP/capita. Ou seja, a energia é um fator importante para o desenvolvimento (GOLDEMBERG, 1998). Nesse sentido, um dos grandes desafios do desenvolvimento econômico está em melhorar as condições de vida de forma limpa e sustentável, por meio de tecnologias mais eficientes e fontes renováveis de energia.

No estudo mais recente da Empresa de Pesquisa Energética sobre a matriz energética mundial, as fontes renováveis como solar, eólica e geotérmica, por exemplo, juntas correspondem a apenas 2% do total, e, somando à participação da energia hidráulica e da biomassa, as renováveis totalizam aproximadamente 14% (EPE, 2022).

Embora também seja dependente da energia proveniente do petróleo, o Brasil possui uma matriz energética muito diversa. Petróleo e derivados representam 34,4% da matriz, derivados da cana-de-açúcar 16,4%, gás natural 13,3%, hidráulica 11%, lenha e carvão 8,7%, outras renováveis 8,7%, carvão mineral 5,6%, nuclear 1,3% e outras não renováveis, 0,6%. Em comparação com o resto do mundo, o Brasil é um dos países que mais utiliza energias renováveis. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, esse total chega a 44,8%, quase metade da nossa matriz energética (EPE, 2022).

Ainda assim, o petróleo é a principal fonte de energia utilizada no Brasil, uma forma de energia não renovável. Há dois principais problemas decorrentes e limitações do uso de uma matriz energética fortemente dependente de combustíveis

fósseis, como a atual. O primeiro, é a exaustão dos combustíveis. As reservas existentes destes combustíveis fósseis são conhecidas, sendo previsível que elas se esgotem. Em segundo lugar, a degradação da saúde e condições ambientais, o que pode ocorrer tanto no nível local (poluição atmosférica), nível regional (chuva ácida) e nível mundial (aquecimento global), produzido principalmente pelo CO<sub>2</sub> resultante da queima de combustíveis fósseis (GOLDEMBERG, 2015).

Todavia, até o presente não foram encontrados substitutos comparáveis ao petróleo e ao gás, no que diz respeito à densidade energética, à transportabilidade e a outras características, que lhes conferem as qualidades para serem usados em larga escala nos transportes, na indústria e na agricultura. O petróleo e o gás tiveram e têm uma influência muito grande sobre a criação e o desenvolvimento de tecnologias. A evolução dos últimos 100 anos teve como principal combustível o petróleo, a exemplos, segunda e terceira revolução industrial, que destas foram obtidos como resultados novos meios de produção, a exemplo o taylorismo e o fordismo, modelos significativos para o constante aprimoramento da industrialização (CARVALHO, 2014).

Os últimos acontecimentos mundiais, como por exemplo a guerra na Ucrânia (em 2022), apontaram a necessidade de novas formas de energias autossustentáveis<sup>1</sup>. A maioria dos países considerados potências mundiais ainda tem como base energética combustíveis fósseis. Com o intuito de se aprofundar sobre as matrizes energéticas e quais as mais utilizadas ao redor do globo, será feita uma análise sobre o Brasil e mais cinco países, para com isso, verificar a dependência destes em relação às formas de energias existentes. Nesse contexto, o trabalho mostrará as estruturas energéticas mais utilizadas e também fará uma análise de qual economia analisada utiliza fontes de energia mais renováveis.

Nesse sentido, o objetivo do estudo é compreender a matriz energética brasileira sob a luz de outras economias que podem ser consideradas referências mundiais em aspectos diversos. A saber, os dados do Brasil serão comparados com: os Estados Unidos, maior potência econômica mundial (2023); da China, país com maior população mundial (2023); da Noruega, país que tem cerca de 14% do seu produto interno bruto representado pelo setor de petróleo, indicando extrema

---

<sup>1</sup> Guerra da Ucrânia pode provocar uma reestruturação do comércio energético global.

dependência econômica do setor em múltiplas esferas; da Rússia, país importante no setor energético e que está diretamente ligado a guerra na Ucrânia, guerra qual começa a provocar uma nova estruturação energética; da Alemanha, país que mantém fortes relações econômicas com a Rússia, ligadas pelo gasoduto Nord Stream 2, e é a maior economia da Europa, principal bloco econômico mundial (2023). Diante dos países minuciosamente selecionados, a finalidade é analisar a economia brasileira com países que estão atualmente (2023) no cenário global como potências, cada um com sua particularidade, e realizar um benchmarking<sup>2</sup>.

Para tanto, serão utilizadas as matrizes disponibilizadas pelo projeto *World Input-Output Database* (WIOD, 2022), incluindo as informações das contas ambientais sobre o uso bruto de energia por setor, disponibilizados por Corsatea *et al.* (2019).

---

<sup>2</sup> Trata-se de um processo para medir e comparar continuamente os processos empresariais de uma organização em relação aos líderes mundiais.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Um problema fundamental da economia é a Lei da Escassez. Observa-se que as necessidades das pessoas são ilimitadas e, de outro, que os fatores disponíveis para a produção de bens e de serviços que satisfaçam a essas necessidades são limitadas (SILVA, 2001). A energia é um recurso limitado. Nos últimos três séculos, as economias industrializadas passaram de uma dependência quase total de combustíveis baseados na biomassa (como a madeira) para o carvão e, posteriormente, para o petróleo e o gás natural (FERREIRA NETO, PEROBELLI E BASTOS, 2014).

Nesse contexto, é preciso discutir e explorar as opções de políticas para promover um futuro energético mais limpo e sustentável no Brasil, conforme discute o trabalho de Geller *et al.* (2004). Os autores mostram que as escolhas políticas do Brasil (um dos países em desenvolvimento mais ricos) podem ter um impacto significativo nas tendências energéticas, no progresso social e na qualidade ambiental. Geller *et al.* destacam que:

Os países em desenvolvimento precisam aumentar seu consumo de energia para alimentar seu desenvolvimento social e econômico. Mas os recursos e tecnologias de energia que eles escolherem, e a distribuição desses recursos e tecnologias entre suas populações, afetarão as condições de vida futuras nesses países. Essas escolhas também terão um efeito dramático sobre se o mundo limita o risco de aquecimento global ou permite que ele acelere fora de controle (Geller *et al.* 2004, pp. 1437, tradução nossa).

Além disso, os autores reforçam a importância de diversificar as fontes de energia, para que o país não fique vulnerável a picos de preços e “choques”, uma vez que os preços do petróleo doméstico refletem os do mercado mundial.

Entre os países em desenvolvimento, segundo Silva *et al.* (2016), o Brasil ocupa posição de liderança no que diz respeito ao uso de recursos energéticos renováveis. No total, cerca de 42% do mix de energia primária provém de recursos renováveis, o que contrasta significativamente com a média global de 13% e com a média de 8,1% dos países da OCDE, afirma o autor.

A composição e uso de energia está diretamente associada à estrutura produtiva, sendo que essa relação foi tema de diversos trabalhos, que utilizam os dados de matrizes insumo-produto para o Brasil e outros países, segundo Bagheri *et*

*al.* (2018), trata-se de uma abordagem amplamente reconhecida para investigar os aspectos econômicos, sociais e ambientais das políticas energéticas. Entre trabalhos com foco no Brasil, destacam-se Arbex e Perobelli (2010); Ferreira Neto, Perobelli e Bastos (2014) e Carvalho *et al.* (2015).

Arbex e Perobelli (2010) destacam a relação entre o uso de energia e o crescimento da produção. Os recursos naturais limitados implicam um sério entrave ao crescimento que pode eliminar a maior parte ou toda a influência positiva do progresso tecnológico sobre a renda per capita. No entanto, segundo os autores o uso de recursos renováveis pode permitir um crescimento sustentado, apesar das limitações do ambiente natural. Por meio da integração de um modelo de crescimento com um modelo de insumo produto, os autores mostram que o consumo de energia de recursos renováveis tende a aumentar ao longo do tempo, porém é possível que se mantenha a uma taxa consistente com a trajetória de crescimento equilibrado da produção.

Em um comparativo de diversos países desenvolvidos e em desenvolvimento, Ferreira Neto, Perobelli e Bastos (2014) destacam o aumento do consumo de diferentes formas de energia e o aumento econômico experimentado pelo mundo durante o século XX. De acordo com os autores, até a Segunda Guerra Mundial, o consumo de energia aumentou junto com o constante desenvolvimento da sociedade, mas depois aumentou a um ritmo maior após a Segunda Guerra Mundial, indicando que a energia cresce junto com o desenvolvimento das sociedades.

Na análise empírica, Ferreira Neto, Perobelli e Bastos (2014) mostram a importância da energia no processo produtivo, e analisam as mudanças no comportamento do uso final de energia por meio de uma decomposição estrutural. Os resultados mostram que no caso do Brasil, as mudanças no consumo das famílias explicam a maior parte das mudanças no uso de energia entre 1995 e 2005, enquanto para países desenvolvidos (como Reino Unido e Estados Unidos), as mudanças na produção explicam a maior parte da alteração no uso de energias.

Carvalho *et al.* (2015), elaboram um modelo de programação linear multiobjetivo baseado em uma estrutura híbrida de insumo produto, no qual estão explícitos os trade-offs entre objetivos econômicos, energéticos, ambientais e sociais. Os resultados indicam que o aumento do PIB e dos níveis de emprego precisam ser acompanhados de fortes políticas de eficiência energética e de redução de emissões.

Além desses estudos, foram encontrados na literatura artigos utilizando metodologias similares para outros países do mundo, como Guevara e Rodrigues (2016) para Portugal; Bagheri *et al.* (2018) para o Canadá, Chen *et al.* (2019) para a economia mundial e Su e Ang (2022) para a China.

### 3. METODOLOGIA

Será realizada uma pesquisa descritiva-explicativa, com a finalidade de identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a utilização de estruturas energéticas com mais ou menos energias renováveis, por meio de dados existentes pelo método das matrizes de insumo produto.

#### 3.1. O MODELO INSUMO-PRODUTO

O modelo Insumo-Produto corresponde a um sistema de equações lineares que descreve a distribuição do produto de determinado setor para o restante da economia. Desta forma, a informação básica utilizada no modelo consiste nos fluxos de produtos intersetoriais, sendo ainda necessários os dados relativos à produção destinada ao consumo final e a outros insumos de produção, como trabalho, capital, importações, dentre outros (MILLER e BLAIR, 2009). Para o trabalho, será utilizado o modelo aberto de Leontief, combinado a coeficientes de uso e energia.

#### 3.2. MODELO ABERTO DE LEONTIEF

Para a construção desse modelo, os componentes da demanda final são considerados elementos exógenos ao sistema, avaliando-se somente as relações setoriais diretas e indiretas no sistema econômico. Como o modelo de insumo e produto de Leontief deriva de uma relação de equilíbrio entre oferta agregada e demanda agregada, a oferta de bens e serviços de cada setor tem como destino o consumo intermediário ou a demanda final (exportações, consumo das famílias, formação bruta de capital, consumo do governo e variação de estoque) (MARQUES, 2017).

A produção total de cada setor  $i$  pode ser definida como a soma entre os fluxos intermediários de destino da produção do setor  $i$  ( $z_{i1}, z_{i2}, z_{i3}$ ) e a demanda final ( $f_i$ ), que pode ser composta por consumo das famílias ( $C$ ), investimento ( $I$ ), gastos do governo ( $G$ ) e exportações ( $X$ ):

$$x_i = z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + f_i \quad (1)$$

Da mesma forma, pela ótica das compras do setor  $i$ , sua produção corresponde aos fluxos intermediários de compras de insumos  $(z_{1i}, z_{2i}, z_{3i})$ , somadas ao valor adicionado pelo setor  $(v_i)$  e outros pagamentos  $(p_i)$ . Em termos gerais, a soma das linhas da matriz representa o total de vendas de cada setor, e a soma das colunas o total de compras.

Assim, considerando uma economia com três setores, a título de exemplo, pela ótica das vendas, a produção de toda a economia pode ser representada pelo sistema:

$$\begin{aligned}x_1 &= z_{11} + z_{12} + z_{13} + f_1 \\x_2 &= z_{21} + z_{22} + z_{23} + f_2 \\x_3 &= z_{31} + z_{32} + z_{33} + f_3\end{aligned}\tag{2}$$

A relação entre a utilização de insumos de cada setor e sua produção total compõe os coeficientes técnicos  $(a_{ij})$  ou razões insumo-produto da função de produção Leontief. O pressuposto básico desta função de produção é de que os fluxos interindustriais do setor  $i$  para o setor  $j$  dependem unicamente do produto bruto do setor  $j$  naquele período, logo, a relação entre insumo adquirido do setor  $i$  para ser utilizado na produção de  $j$ , é dada por:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j}\tag{3}$$

Manipulando (3), o consumo intermediário entre os setores  $i$  e  $j$ , pode ser definido como  $z_{ij} = a_{ij}x_j$ . Assim, substituindo esta relação em (2), têm-se:

$$\begin{aligned}x_1 - a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 &= f_1 \\x_2 - a_{21}x_1 - a_{22}x_2 - a_{23}x_3 &= f_2 \\x_3 - a_{31}x_1 - a_{32}x_2 - a_{33}x_3 &= f_3\end{aligned}\tag{4}$$

Simplificando (4):

$$(1 - a_{11})x_1 - a_{12}x_2 - a_{13}x_3 = f_1\tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 -a_{21}x_2 - (1 - a_{22})x_2 - a_{23}x_3 &= f_2 \\
 -a_{31}x_3 - a_{32}x_1 - (1 - a_{33})x_3 &= f_3
 \end{aligned}$$

O sistema (5) pode ser representado matricialmente por:

$$(I - A)x = f \quad (6)$$

Resolvendo (6) para  $x$ , tem-se:

$$x = (I - A)^{-1}f = Bf \quad (7)$$

Sendo  $B$  conhecida como matriz inversa de Leontief ou matriz de requerimentos totais.

Nesse arcabouço, os modelos de insumo-produto com energia normalmente incluem a quantidade total de energia necessária para entregar um produto à demanda final, tanto diretamente, como a energia consumida pelo processo de produção de uma indústria, e, indiretamente, como a energia incorporada nos insumos dessa indústria.

No jargão da engenharia, calcular esse requisito total de energia é o resultado do que muitas vezes é chamado de análise de processo: um produto-alvo é identificado ou como um bem ou serviço, então uma lista pode ser compilada dos bens e serviços diretamente necessários para entregar o produto. Esses insumos para o processo de produção incluem combustíveis (energia direta) e outros bens e serviços não energéticos. As entradas não energéticas são então analisados para determinar os insumos para seus processos de produção, que novamente incluem alguns combustíveis e bens e serviços não energéticos (MILLER E BLAIR, 2009).

A soma dos requisitos diretos e indiretos de energia compõem a necessidade total de energia. Por exemplo, a energia gasta na montagem automóveis seria uma necessidade direta de energia, enquanto a energia incorporada os materiais empregados na montadora (pneus, motores etc.), constituem uma necessidade indireta de energia (MILLER e BLAIR, 2009).

Assim, para cumprir os objetivos do trabalho, o modelo de insumo-produto foi utilizado para medir fluxos de energia em unidades físicas utilizando a abordagem tradicional de energia, a qual, segundo Miller e Blair (2009), consiste em definir um conjunto de vetores de coeficientes técnicos de energia para cada fonte  $k$ :

$$\mathbf{D}_k = [d_{kj}] \quad (8)$$

Em que  $d_{kj}$  é o coeficiente de energia da fonte  $k$  no setor  $j$ ; definido como  $d_{ij} = e_{kj}/x_j$ ; com  $e_{kj}$  representando o total de energia da fonte  $k$  utilizada no setor  $j$ , e  $x_j$  representa o valor bruto da produção no setor  $j$ . Por sua vez, a matriz de coeficientes interindustriais de energia do tipo  $k$  pode ser obtida pré-multiplicando o vetor de coeficientes diretos setoriais de emissão pela matriz inversa de Leontief:

$$\mathbf{T}_k = \mathbf{D}_k(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \quad (9)$$

Na matriz  $\mathbf{T}_k$ , o somatório das colunas pode ser interpretado como um multiplicador de energia, ou seja, como a demanda total de energia do tipo  $k$  necessária para aumentar em uma unidade monetária a produção do setor  $i$  para consumo final. Sendo que, os elementos da diagonal principal, podem ser interpretados como o multiplicador direto de energia, e o somatório dos demais elementos de cada coluna podem ser interpretados como multiplicadores indiretos de energia.

### 3.3. BASE DE DADOS

Para a comparação, serão utilizadas as tabelas de matriz insumo-produto nacional (*National Input-Output Table* - NIOT) para os países selecionados, que compõem os dados do projeto *World Input-Output Database* (WIOD, 2022). Além da possibilidade de uma comparação entre diversos países, a escolha dos dados se pauta na disponibilidade de informações sobre a utilização setorial de energia de diversas fontes, com um destaque para os detalhamentos referentes a fabricação e o refino de petróleo e seus derivados, fabricação de equipamentos elétricos e o fornecimento de eletricidade, gás, vapor e ar-condicionado. Tais elementos se mostram fundamentais para a análise da pesquisa, pois determinam qual a principal estrutura energética utilizada pelo país.

Serão utilizados dados do ano de 2014, os dados mais recentes que se têm na WIOD, a respeito do tema trabalhado. Sendo assim, analisando os dados de

economias estratégicas, será possível visualizar um panorama global e comparar o Brasil com economias de referência.

Vale ressaltar que os dados da WIOD estão disponíveis para 57 setores<sup>3</sup>. Esses setores não foram compatibilizados entre os países, se tal forma, que existem dados faltantes em diferentes setores para cada país, e conseqüentemente as comparações entre setores podem ser afetadas por essa limitação.

---

<sup>3</sup> Ver listagem em Anexo A.

## 4. RESULTADOS

Foram analisados, dentro dos países previamente selecionados, os 10 maiores coeficientes e multiplicadores de cada país, exceto o coeficiente relacionado diretamente com o fornecimento de eletricidade, gás, vapor e ar-condicionado; com a finalidade de observar quais são os setores que mais se assemelham, sendo possível observar a dependência desses países por fontes renováveis ou não.

### 4.1. COEFICIENTES TÉCNICOS DE ENERGIA

Ao observar os dez maiores coeficientes de uso de energia dos países analisados, é possível constatar que a maior parte da energia fornecida é para o próprio setor de energia. Sendo assim, serão analisados sempre os mais utilizados para fazer a comparação, não levando em conta o setor de energia em si.

No caso do Brasil (TABELA 1), o maior coeficiente é de fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, representando que para cada um dólar da produção do setor de petróleo são necessários 39,14 terajoules (TJ) de energia. O maior coeficiente é seguido por energia destinada a fabricação de papel e produtos de papel e em terceiro, transporte aéreo.

Nos Estados Unidos, assim como o Brasil, o maior coeficiente é o destinado a fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, 49,68 TJ. Em segundo, se encontra captação, tratamento e abastecimento de água e em terceiro, educação. Com isso, é possível observar que o país, assim como o Brasil, destina grande parte de sua energia para atividades relacionadas a produção de combustíveis fósseis.

Na China, análogo aos Estados Unidos, os maiores coeficientes são destinados a fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados. Em segundo e terceiro lugares, respectivamente, estão atividades relacionadas com sistema de esgoto e tratamento, seguido por fabricação de metais básicos.

Na Alemanha, o maior coeficiente 49,86 TJ, ocorre na fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, seguido por transporte aéreo e transporte de água, nessa ordem.

TABELA 1 – COEFICIENTES DE USO DE ENERGIA

<b>Setores (descrição)</b>	<b>Coefficiente</b>
<b>Brasil</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	39.14
Fabricação de papel e produtos de papel	26.55
Transporte aéreo	25.43
Fabricação de metais básicos	17.36
Transporte de água	15.58
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	11.66
Fabricação de produtos químicos	9.61
Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria	6.82
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	5.23
Silvicultura e exploração madeireira	4.64
<b>China</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	38.97
Sistema de esgoto; atividades coleta, tratamento e eliminação de resíduos; recuperação de materiais; atividades de despoluição e outros serviços de gestão de resíduos	16.57
Fabricação de metais básicos	12.94
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	10.73
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	10.48
Fabricação de produtos químicos	8.60
Captação, tratamento e abastecimento de água	7.53
Fabricação de papel e produtos de papel	5.53
Silvicultura e exploração madeireira	5.40
Transporte de água	4.33
<b>Estados Unidos</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	49.68
Captação, tratamento e abastecimento de água	26.64
Educação	16.73
Transporte aéreo	15.11
Transporte de água	14.83
Fabricação de papel e produtos de papel	10.27
Fabricação de produtos químicos	9.97
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	7.44
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	6.89
Fabricação de metais básicos	6.35

TABELA 1 – COEFICIENTES DE USO DE ENERGIA (continua)

TABELA 1 – COEFICIENTES DE USO DE ENERGIA (continuação)

<b>Alemanha</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	49.86
Transporte aéreo	10.96
Transporte de água	10.93
Fabricação de produtos químicos	7.56
Fabricação de metais básicos	6.40
Mineração e pedreira	4.53
Fabricação de papel e produtos de papel	4.52
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	4.32
Pesca e aquicultura	3.50
Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria	3.08
<b>Rússia</b>	
Transporte de água	116.60
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	73.37
Fabricação de produtos químicos	65.71
Fabricação de metais básicos	21.28
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	20.37
Transporte aéreo	13.15
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	12.39
Fabricação de papel e produtos de papel	10.75
Mineração e pedreira	7.08
Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria	6.66
<b>Noruega</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	73.50
Fabricação de produtos químicos	17.47
Transporte de água	14.37
Fabricação de metais básicos	11.33
Fabricação de papel e produtos de papel	8.89
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	2.72
Produção agrícola e animal, caça e atividades de serviços relacionados	2.15
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	1.93
Mineração e pedreira	1.66
Pesca e aquicultura	1.60

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da WIOD (2022).

Na Rússia, diferentemente de todos os países analisados, o primeiro lugar é destinado ao transporte de água, 116,6 TJ, um coeficiente elevado comparado com os outros países analisados. Depois, fabricação de coque e produtos petrolíferos

refinados e fabricação de produtos químicos ocupam os lugares seguintes respectivamente. Os elevados coeficientes para a Rússia, indicam que o país é menos eficiente na utilização de energia, ou seja, precisa de mais energias para gerar produção por dólar do que os demais países analisados.

A Noruega, país com menor população (Banco Mundial) e menor tamanho, dentre todos analisados, utiliza 73,5 TJ de energia para a fabricação de cada um dólar em coque e produtos petrolíferos refinados, seguidos por fabricação de produtos químicos e transporte de água.

Com essas análises dos coeficientes é possível constatar uma forte utilização de energia para a produção de combustíveis fósseis, em todas as economias, com a energia voltada para o setor petrolífero representando os maiores coeficientes. Ademais, nos países europeus, altos índices voltados para o transporte de água, o que pode estar relacionado à escassez de água nesses países, embora os dados não permitam confirmar essa suposição<sup>4</sup>.

#### 4.2. MULTIPLICADORES DE ENERGIA

Assim como foi feito com os coeficientes, serão analisados os maiores multiplicadores para fazer a comparação e não será levado em conta a energia para o setor de energia.

Para o Brasil, os três multiplicadores com maior valor estão nos setores de fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, transporte aéreo e, fabricação de papel e produtos de papel respectivamente, representando 58,31; 39,61 e 36,32 respectivamente. Os valores indicam, por exemplo, que para atender um aumento de um dólar na demanda final do setor de Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados são necessários 58,31 TJ de energia, demandados direta ou indiretamente pelo setor.

---

<sup>4</sup> Sobre essa questão, segundo Moreno (2022), as alterações climáticas e a pressão populacional contribuíram para que a disponibilidade de água doce per capita se tenha reduzido em 25% nos últimos 50 anos, são atualmente os principais fatores que contribuem para o agravamento do stress hídrico na Europa (agregados familiares, turismo, indústria e agricultura). Estima-se que 30% da população europeia já seja afetada pela escassez de água.

TABELA 2 – MULTIPLICADORES TOTAIS DE USO DE ENERGIA

<b>Setores (descrição)</b>	<b>Multiplicador</b>
<b>Brasil</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	58.31
Transporte aéreo	39.61
Fabricação de papel e produtos de papel	36.32
Fabricação de metais básicos	25.88
Transporte de água	22.01
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	20.64
Fabricação de químicos e produtos químicos	19.50
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	15.56
Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria	12.91
Fabricação de produtos alimentícios, bebidas e produtos de tabaco	10.85
<b>China</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	56.33
Fabricação de metais básicos	37.42
Fabricação de produtos químicos	35.14
Captação, tratamento e abastecimento de água	32.15
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	31.39
Sistema de esgoto; atividades coleta, tratamento e eliminação de resíduos; recuperação de materiais; atividades de despoluição e outros serviços de gestão de resíduos	29.17
Fabricação de produtos de borracha e plástico	24.82
Transporte de água	24.79
Fabricação de produtos manufaturados de metal, exceto máquinas e equipamentos	24.54
Transporte aéreo	22.77
<b>Estados Unidos</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	55.03
Captação, tratamento e abastecimento de água	30.94
Transporte aéreo	27.45
Transporte de água	26.70
Educação	21.46
Fabricação de papel e produtos de papel	20.32
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	16.66
Fabricação de produtos químicos	16.22
Fabricação de metais básicos	14.83
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	14.11

TABELA 2 – MULTIPLICADORES TOTAIS DE USO DE ENERGIA (continua)

TABELA 2 – MULTIPLICADORES TOTAIS DE USO DE ENERGIA (continuação)

<b>Alemanha</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	53.15
Transporte aéreo	17.77
Transporte de água	14.70
Fabricação de produtos químicos	11.31
Fabricação de metais básicos	10.95
Fabricação de papel e produtos de papel	8.35
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	7.65
Mineração e pedreira	6.96
Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria	6.01
Pesca e aquicultura	5.65
<b>Rússia</b>	
Transporte de água	145.47
Fabricação de de coque e produtos petrolíferos refinados	105.24
Fabricação de produtos químicos	101.36
Transporte aéreo	51.34
Fabricação de metais básicos	49.27
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	49.25
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	36.94
Fabricação de papel e produtos de papel	32.36
Fabricação de produtos de borracha e plástico	30.41
Fabricação de máquinas e equipamentos	28.35
<b>Noruega</b>	
Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados	76.76
Fabricação de produtos químicos	20.73
Fabricação de metais básicos	17.70
Transporte de água	17.61
Fabricação de papel e produtos de papel	15.43
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	5.66
Produção agrícola e animal, caça e atividades de serviços relacionados	4.65
Transporte aéreo	4.61
Transporte terrestre e transporte por oleodutos	4.34
Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria	3.80

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da WIOD (2022).

Nos EUA, os maiores multiplicadores são de fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, 55,03; captação, tratamento e abastecimento de água, 30,94; e transporte aéreo, 27,45. Já na China, os três maiores multiplicadores são de

fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, fabricação de metais básicos e fabricação de produtos químicos 6,33; 37,42 e 35,14 respectivamente, indicando forte uso de energia para a produção de combustíveis não renováveis.

Na Alemanha, o pódio dos multiplicadores é a fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, transporte aéreo e transporte de água, 53,15;17,77 e 14,70 respectivamente.

Na Rússia, o maior indicador é destinado ao transporte aéreo, seguido de fabricação de metais básicos e fabricação de produtos alimentícios, 2,3; 2,25 e 2,25 respectivamente. O país assim como o Brasil, não possui altos multiplicadores destinados a um setor, os multiplicadores são diversificados, já que a maior parte da energia fica concentrada no próprio setor de produção de energia.

Na Noruega, os principais são fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, fabricação de produtos químicos e fabricação de metais básicos, 76,76; 20,73 e 17,7 respectivamente. O maior multiplicador é para o setor de petróleo, indicando forte necessidade de energia para atender as demandas do setor.

Em todos os multiplicadores é possível constatar os altos valores de energias provenientes da fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados comparado aos outros coeficientes, em todas as economias analisadas exceto na Rússia.

#### 4.3. ENERGIAS RENOVÁVEIS

Para a análise das energias renováveis foram utilizados os mesmos setores energéticos antes expostos, porém com os coeficientes brutos dos mesmos destinados as energias renováveis.

Por meio da análise das energias renováveis é possível constatar que o Brasil utiliza elevadas porcentagens de energias renováveis em setores econômicos importantes, como exemplos, quase 82% da fabricação de papel com a utilização de renováveis e quase 80% do uso de energia da fabricação de produtos alimentícios é proveniente de renováveis (TABELA 3). O país destaca-se dentre os analisados pois possui elevados coeficientes em vários setores.

TABELA 3 – PORCENTAGEM DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

<b>Setores (descrição)</b>	<b>% de renováveis</b>
<b>Brasil</b>	
Fabricação de papel e produtos de papel	81,92%
Fabricação de produtos alimentícios, bebidas e produtos de tabaco	79,13%
Fabricação de madeira e de produtos de madeira	65,62%
Silvicultura e exploração madeireira	49,23%
Fabricação de produtos químicos	31,36%
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	29,26%
Produção agrícola e animal, caça e atividades de serviços relacionados	16,19%
Fabricação de produtos de borracha e plástico	13,00%
Fabricação de metais básicos	12,59%
Atividades de publicação	7,31%
<b>China</b>	
Fabricação de madeira e de produtos de madeira	36,44%
Fabricação de papel e produtos de papel	29,37%
Silvicultura e exploração madeireira	14,77%
Telecomunicações	5,88%
Captação, tratamento e abastecimento de água	5,61%
Comércio por atacado e varejo e reparação de veículo automotores e motocicletas	3,76%
Comércio por atacado e varejo, exceto de veículo automotores e motocicletas	3,76%
Atividades Imobiliárias	3,72%
Atividades de serviços financeiros, exceto seguros e fundos de pensões	3,34%
Atividades de alojamento e alimentação	3,17%
<b>Estados Unidos</b>	
Fabricação de papel e produtos de papel	61,85%
Fabricação de madeira e de produtos de madeira	35,43%
Silvicultura e exploração madeireira	30,01%
Impressão e reprodução de mídia gravada	8,88%
Produção agrícola e animal, caça e atividades de serviços relacionados	4,22%
Educação	2,43%
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	2,21%
Fabricação de produtos alimentícios, bebidas e produtos de tabaco	1,77%
Fabricação de têxteis, vestuário e produtos de couro	1,31%
Atividades de publicação	0,87%

TABELA 3 – PORCENTAGEM DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (continua)

TABELA 3 – PORCENTAGEM DA UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS (continuação)

<b>Setores (descrição)</b>	<b>% de renováveis</b>
<b>Alemanha</b>	
Fabricação de madeira e de produtos de madeira	68,65%
Silvicultura e exploração madeireira	67,28%
Fabricação de papel e produtos de papel	15,25%
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas; atividades veterinárias	9,99%
Pesquisa e Desenvolvimento Científico	7,52%
Atividades de alojamento e alimentação	7,51%
Administração pública e defesa; seguridade social obrigatória	5,57%
Atividades de arquitetura e engenharia; testes e análises técnicas	4,81%
Fabricação de produtos de borracha e plástico	3,87%
Atividades de saúde humana e assistência social	3,37%
<b>Rússia</b>	
Fabricação de papel e produtos de papel	10,72%
Comércio por atacado e varejo exceto de veículos automóveis e motocicletos	3,65%
Atividades de alojamento e alimentação	3,48%
Fabricação de madeira e de produtos de madeira	3,26%
Atividades de saúde humana e assistência social	3,03%
Comércio por atacado e varejo e reparação de veículos automóveis e motocicletos	2,98%
Atividades de serviços financeiros, exceto seguros e fundos de pensões	2,44%
Administração pública e defesa; segurança social obrigatória	2,32%
Comércio por varejo exceto de veículos automóveis e motocicletos	1,60%
Educação	1,22%
<b>Noruega</b>	
Fabricação de madeira e de produtos de madeira	46,67%
Fabricação de papel e produtos de papel	16,23%
Fabricação de outros produtos minerais não metálicos	6,91%
Fabricação de móveis; outra fabricação	6,75%
Fabricação de produtos de borracha e plástico	5,96%
Silvicultura e exploração madeireira	5,33%
Atividades de alojamento e restauração	5,26%
Atividades de publicação	3,99%
Publicidade e pesquisa de mercado	2,96%
Fabricação de produtos químicos	2,14%

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da WIOD (2022).

A China possui as mais altas porcentagens renováveis destinadas a fabricação de madeira e a fabricação de papel, sendo estes 36,44% e 29,37% provenientes de fontes renováveis. Similar a China os Estados Unidos possuem suas maiores porcentagens destinadas aos mesmos setores, diferenciando-se apenas na ordem, sendo a maior porcentagem para a fabricação de papel com 61,85%, seguido pela fabricação de madeira com 35,43% do uso de energia proveniente de energias renováveis.

Na Alemanha, a fabricação de madeira com 68,56% e a silvicultura são as áreas que mais utilizam energias renováveis. A Rússia possui as menores porcentagens de utilização de energias renováveis dentre todos os países analisados, sendo este, o país que menos utiliza no consumo energético matrizes de fontes renováveis dentre todos os analisados. Por outro lado, a Noruega como os demais analisados destina a maior parte de energias renováveis para a produção de madeira e para a produção de papel, indicando 46,67% e 16,23% respectivamente para os maiores percentuais.

Isto posto é possível inferir que os setores com maiores porcentagens de uso de fontes renováveis são a fabricação de papel, na fabricação de madeira e na silvicultura. Ademais, o Brasil dentre os países analisados possui maior utilização de energias renováveis para seus setores. De outro lado, a Rússia mostrou-se o país que menos se utiliza de fontes renováveis para suas produções, indicando ser o que depende mais de energias não renováveis para as suas fabricações.

Analisando especificamente duas economias antes expostas e extremas, Brasil e Noruega, com o intuito de comparar dois extremos, tanto quanto em desenvolvimento quanto em população e tamanho, e observar se o Brasil, um país em desenvolvimento está muito atrás do país mais desenvolvido, de acordo com seu IDH, dentre os mostrados no trabalho, será feito um breve comparativo.

O país escandinavo é o segundo país mais desenvolvido do mundo, segundo seu IDH, atrás somente da Suíça, com uma população de 5,46 milhões de habitantes, sendo ainda um território pouco povoado (Banco Mundial). Em comparação, o Brasil encontra-se na 87ª posição, com uma população de 214,3 milhões e um vasto território de 8,5 milhões de km<sup>2</sup> (Banco Mundial).

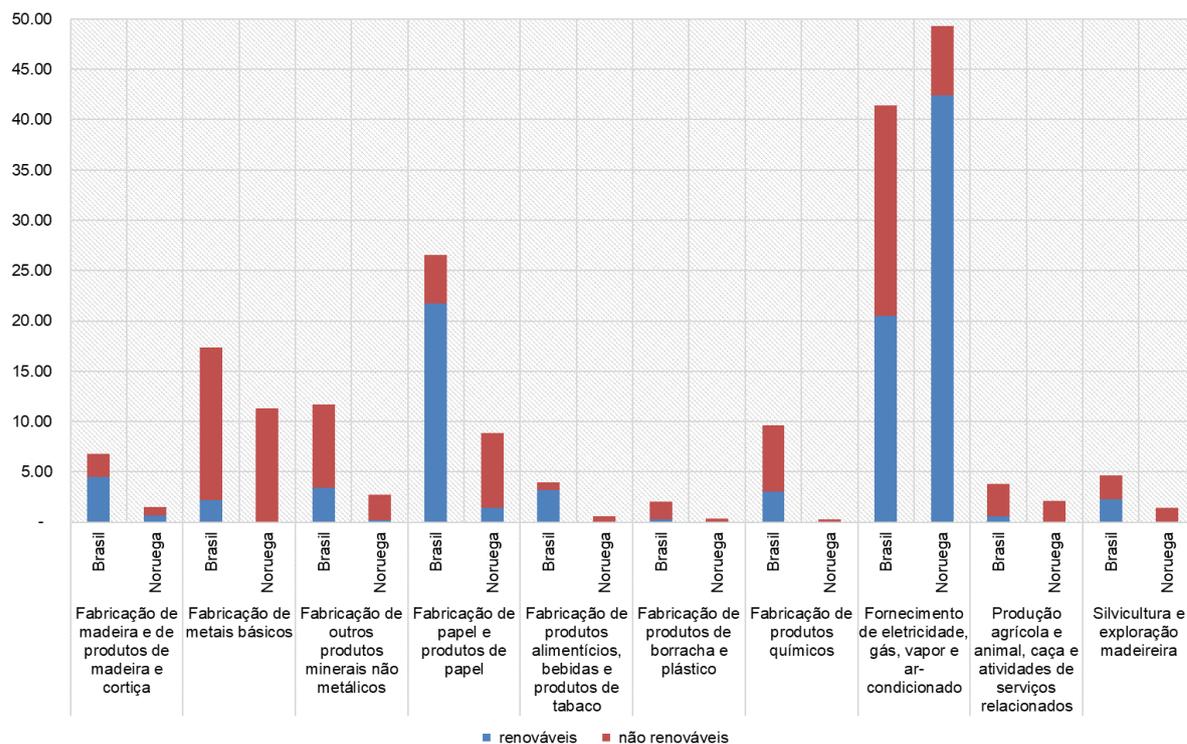
Além de extremos econômicos, os dois países estão também em extremos no setor energético, no que se refere ao uso de energias renováveis. Mesmo sendo considerado um país em desenvolvimento, o Brasil encontra-se muito à frente da

Noruega, com uma matriz energética baseada em energias renováveis. A partir das porcentagens analisadas é possível inferir que a Noruega comparada com o Brasil utiliza menos energias renováveis para a fabricação e produção em seus setores, ainda que (GRÁFICO 1).

Analisando o setor em que o país norueguês utiliza mais energias renováveis que é na fabricação de madeira e comparando-o com a porcentagem do mesmo setor com os dados brasileiros é visto que o Brasil utiliza mais energias renováveis que a Noruega, cerca de 65,62%, mesmo sendo na fabricação de papel a maior porcentagem de utilização de energias renováveis brasileira, com 81,92%. O Brasil ainda possui a maior parte do consumo total de energia advindos do petróleo e derivados, porém é referência no desenvolvimento e exploração de fontes renováveis, destacando as matrizes hidrelétricas e eólicas. Vale citar a Usina Hidrelétrica Itaipu, operada pela Itaipu Binacional e líder mundial na geração de energia renovável, localizada no Brasil e considerada a maior hidrelétrica do mundo. O imenso território brasileiro e seu vasto bioma possibilitam a desenvoltura de diferentes formas de energias, podendo elevar o país a pioneiro no ramo de desenvolvimento e exploração de matrizes renováveis.

Por outro lado, o setor de petróleo é o maior contribuinte individual para a receita, PIB, exportações e investimentos do estado norueguês. Além das receitas do governo, a indústria do petróleo responde por mais de 15% do PIB e dos investimentos totais (FINK e DUCOING, 2022). A partir das análises feitas dos coeficientes e multiplicadores noruegueses é possível constatar que nas duas análises, os valores para o setor de fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados são muito altos e discrepantes em relação aos demais setores, evidenciando assim a forte dependência ao petróleo.

GRÁFICO 1 – COEFICIENTES DE USO DE ENERGIA RENOVÁVEL E NÃO RENOVÁVEL PARA BRASIL E NORUEGA



Fonte: Elaboração própria a partir de dados da WIOD (2022).

Não obstante, os valores dos coeficientes dos dois países destacados apresentam divergência. Mesmo servindo-se majoritariamente de energias não renováveis, a Noruega mostra ser mais eficiente energeticamente que o Brasil. Dando ênfase apenas nos três primeiros coeficientes de cada país, é possível observar que apesar de usufruir-se muito do setor petrolífero, a Noruega possui valores menores nos demais coeficientes. Os coeficientes brasileiros mantêm-se altos nas primeiras posições, enquanto o norueguês é alto somente no setor de petróleo, sendo bem menor comparado ao do Brasil nos demais seguimentos. Isto posto, afirma-se que mesmo o Brasil utilizando mais energias renováveis que a Noruega ele não é mais eficiente energeticamente que o país escandinavo, ou seja, utiliza mais energia para cada dólar de produção.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de todas as análises feitas, conclui-se que através dos coeficientes e multiplicadores é possível observar a distinção econômica entre os países analisados, sendo que, mesmo sem ter como critério a terminologia desenvolvidos e em desenvolvimento, os países hoje considerados desenvolvidos, Estados Unidos, Alemanha e Noruega (segundo o Fundo Monetário Internacional (FMI), se sobressaem perante o Brasil, economia considerada em desenvolvimento.

Os resultados mostram que, de forma geral, os países utilizam grandes quantidades de energia para a produção de petróleo, e que o uso de energias renováveis ainda é baixo. Portanto, necessitam investimentos em novas tecnologias capazes de explorar a matriz renovável que cada um possui respectivamente.

Nesse quesito, o Brasil se destaca como país que mais se utiliza de fontes renováveis em sua matriz energética, o país que é abundante e diverso energeticamente mostrou essa característica através dos dados; ainda que, em termos agregados, a principal fonte de energia ainda seja o petróleo.

Em contrapartida, a Rússia foi o país com os maiores coeficientes de utilização de energia por dólar de produção final, além de se destacar como o país com maior dependência de energias não renováveis. Um adendo para os altos valores de coeficientes e multiplicadores destinados ao transporte de água do país, podendo ter vários significados como por exemplo falta de água em grande parte do território e a utilização do transporte para distribuir esse recurso, porém, esse tema não foi avaliado pois não se encaixa no objetivo proposto inicialmente por este trabalho, mas que fica em destaque para trabalhos futuros.

Apesar de altos coeficientes de uso de energia principalmente na fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados, países como a Noruega, Alemanha e Estados Unidos, apresentam coeficientes mais baixos nos demais setores, evidenciando que eles necessitam de menos energia para gerar a mesma quantidade em termos de produção, quando comparados ao Brasil, China e Rússia. Mesmo sem a distinção de nomenclaturas por países desenvolvidos e em desenvolvimento, essa distinção foi feita naturalmente, pelos números, visto que, os países que são mais eficientes energeticamente são os países considerados hoje pelo FMI (Fundo Monetário Internacional) países desenvolvidos, Estados Unidos, Noruega e Alemanha.

Em respeito as energias renováveis, é possível inferir que todos os países analisados no trabalho possuem uma estrutura energética com uma matriz predominantemente de energias não renováveis. Destaque para o Brasil, que dentre os países analisados é o mais abaixo em quesitos de desenvolvimento, porém possui a matriz energética mais renovável dentre as demais. Com base nos coeficientes e multiplicadores do país, constata-se que este tem um setor de energia muito diversificado comparado aos outros países, não dependendo tanto de apenas um ramo energético e finito como o petróleo e seus derivados. Ainda assim, o petróleo apresenta um alto destaque em todas as economias analisadas, sendo na maioria delas a fonte de energia mais utilizada. Diante desse cenário, são necessários investimentos brasileiros em técnicas produtivas energeticamente mais eficientes, que permitam uma menor utilização de energia de todos os tipos preferencialmente reduzindo o uso de combustíveis fósseis.

Sem embargo, a partir dos cálculos entende-se que apesar de o Brasil utilizar-se de mais fontes renováveis ele não se mostra o mais eficiente energeticamente que os demais. Todos os países possuem altos coeficientes no setor de petróleo e refinados, porém, em segundo lugar os coeficientes são muito menores, evidenciando eficiência, o mesmo não acontece com o Brasil. O país possui maior utilização de renováveis, porém também maiores coeficientes de uso de energia, indicando que, diferente dos outros países analisados, precisa de mais energia para produzir a mesma quantidade em termos de dólares. Conclui-se que o Brasil necessita de formas para empregar com mais eficiência sua matriz energética abundante de energias renováveis e buscar melhorar sua eficiência energética.

Uma medida que destaca a preocupação com o planejamento energético eficiente é o Plano Decenal de Expansão de Energia, um estudo elaborado anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética, que tem como objetivo primordial indicar, e não propriamente determinar, as perspectivas da expansão do setor de energia no horizonte de dez anos, sob a ótica do governo, com uma visão integrada para os diversos energéticos disponíveis (MME/EPE, 2022). O plano visa diminuir a incidência de gases do efeito e emissões de carbono e para isso, a principal estratégia do setor para mitigação das emissões de Gases de Efeito Estufa é justamente manter elevada a participação da produção de energia elétrica e combustíveis a partir de fontes renováveis na matriz, considerando o potencial

brasileiro e mantendo o destaque do Brasil na produção de energia com baixas emissões.

Outra medida de destaque a caráter mundial é o investimento em políticas ESG, sigla em inglês para "*environmental, social and governance*", em português, ASG (ambiental, social e governança). Houve uma popularização de práticas ESG, cada vez mais empresas buscam se adequar para tornar seus processos sustentáveis ambientalmente. Contudo, para além da importância social, estas práticas passaram a atrair a atenção do mercado financeiro, especialmente em razão de mudanças culturais que fizeram com que os modelos de negócio nocivos ao meio ambiente e à sociedade não mais fossem aceitos por grandes investidores (COSTA, 2022).

Com isso, as economias mundiais se adaptam e estão sempre em busca de manter-se em desenvolvimento, com novas formas de energia. O petróleo ainda é a força motriz de grande parte dos países, porém, é são necessários novos investimentos e a busca por formas de energias sustentáveis e renováveis. O Brasil é pioneiro nessa forma de energia, muito devido a sua diversa matriz energética e pode ser uma vitrine para os demais países guiarem-se por meio de novos substitutos mais sustentáveis e não finitos para continuarem seu desenvolvimento e do planeta.

## REFERÊNCIAS

- AMADOR, J. Produção e Consumo De Energia Em Portugal: Factos Estilizados. *Boletim Económico*, 2010.
- ARBEX, M.; PEROBELLI, F. S. Solow meets Leontief: Economic growth and energy consumption. *Energy Economics*, v. 32, n. 1, pp. 43–53, 2010.
- BAGHERI, M. et al. Green growth planning: A multi-factor energy input-output analysis of the Canadian economy. *Energy Economics*, v. 74, pp. 708–720, 2018.
- CARVALHO, A. L.; ANTUNES, C. H.; FREIRE, F.; HENRIQUES, C. O. A hybrid input–output multi-objective model to assess economic–energy–environment trade-offs in Brazil. *Energy*, v. 82, pp. 769–785, 2015.
- CARVALHO, J. F. DE. Combustíveis Fósseis e Insustentabilidade. *Estudos Avançados*, v. 28, n. 82, pp. 30–33, 2008.
- CARVALHO, J. F. Energia e sociedade. *Estudos Avançados*, v. 28, n. 82, pp. 25–39, 2014.
- CHEN, G. Q. et al. Global overview for energy use of the world economy: Household-consumption-based accounting based on the world input-output database (WIOD). *Energy Economics*, v. 81, pp. 835–847, 2019.
- COELHO, R. *Guerra da Ucrânia pode provocar uma reestruturação do comércio energético global*. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/07/25/guerra-da-ucrania-pode-provocar-uma-reestruturacao-do-comercio-energetico-global/>. Acesso em: fevereiro de 2023.
- CORRÊA DA SILVA, R.; DE MARCHI NETO, I.; SILVA SEIFERT, S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 59, pp. 328–341, 2016.
- CORSATEA T.D., LINDNER S., ARTO, I., ROMÁN, M.V., RUEDA-CANTUCHE J.M., VELÁZQUEZ AFONSO A., AMORES A.F., NEUWAHL F. *World Input-Output Database Environmental Accounts*. Update 2000-2016, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-02068-4, doi: 10.2760/024036, JRC116234.
- DINELLI, J. *Análise dos impactos dos choques do petróleo em empresas petrolíferas no século XXI*. Fontes de energia. 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>>. Acesso em: dezembro de 2022.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. *Matriz Energética e Elétrica*. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: dezembro de 2022.

- FERREIRA NETO, A. B.; PEROBELLI, F. S.; BASTOS, S. Q. A. Comparing energy use structures: An input–output decomposition analysis of large economies. *Energy Economics*, v. 43, pp. 102–113, 2014.
- FISCHER, S. Nord Stream2: Trust in Europe. *Nord Stream 2: Europe’s lack of trust in its market model*, pp 2-4, 2016.
- FINK, J.; DUCOING, C. Does natural resource extraction compromise future well-being? Norwegian Genuine Savings. *The Extractive Industries and Society*, v. 11, p. 101127, 2022.
- GELLER, H. et al. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. *Energy Policy*, v. 32, n. 12, pp. 1437–1450, 2004.
- GELLER, H. et al. Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil. *Energy Policy*, v. 32, n. 12, p. 1437–1450, ago. 2004.
- GOLDEMBERG, J. Energia e desenvolvimento. *Estudos Avançados*, v. 12, pp. 7–15, 1 ago. 1998.
- GOLDEMBERG, J. Energia e Sustentabilidade. *Revista de Cultura e Extensão USP*, v. 14, pp. 33-43, 2015.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 21, n. 59, pp. 7–20, 2007.
- GUEVARA, Z.; DOMINGOS, T. The multi-factor energy input–output model. *Energy Economics*, v. 61, pp. 261–269, 2017.
- MADEIRA, P. J. Benchmarking: A arte de copiar. *Jornal do Técnico de Contas e da Empresa*, p 364, 1999.
- MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. *Input-Output Analysis*. [s.l.] Cambridge University Press, 2009.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – MME/EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2031*. MME/EPE, 2022. Disponível em: [abertos/publicacoes/Documents/PDE%202031\\_RevisaoPosCP\\_rvFinal\\_v2.pdf](#). Acesso em: dezembro de 2022.
- PEREIRA, A. J.; MARIN, S. Lei da escassez e comportamento econômico: uma leitura institucional. *Revista Econômica*, v. 18, n. 2, 2017.
- SILVA, C. R. S., SINCLAYR, L. *Economia e Mercados*. São Paulo: Saraiva, 2001.

- SOUZA, K. B. As múltiplas tendências da terciarização: uma análise insumo produto da expansão do setor de serviços. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2010. (Dissertação de mestrado)
- SU, B.; ANG, B. W. Improved granularity in input-output analysis of embodied energy and emissions: The use of monthly data. *Energy Economics*, v. 113, pp. 106245, 2022.
- WORLD INPUT-OUTPUT DATABASE – WIOD. WIOD 2016 Release. Disponível em: <https://www.rug.nl/ggdc/valuechain/wiod/wiod-2016-release>. Acesso em: novembro de 2022.
- ZHANG, C.; HE, W.; HAO, R. Comparative Analysis of Asian Main Iron and Steel Countries' Total Factor Energy Efficiency. *Current Science*, v. 112, n. 11, pp. 2226, 2017.

## ANEXO A – LISTA DE SETORES

1. Produção agrícola e animal, caça e atividades de serviços relacionados
2. Silvicultura e exploração madeireira
3. Pesca e aquicultura
4. Mineração e pedreira
5. Fabricação de produtos alimentícios, bebidas e produtos de tabaco
6. Fabricação de têxteis, vestuário e produtos de couro
7. Fabricação de madeira e de produtos de madeira e cortiça, exceto móveis; fabricação de artigos de espartaria e cestaria
8. Fabricação de papel e produtos de papel
9. Impressão e reprodução de mídia gravada
10. Fabricação de coque e produtos petrolíferos refinados
11. Fabricação de produtos químicos
12. Fabricação de produtos farmacêuticos básicos e preparações farmacêuticas
13. Fabricação de produtos de borracha e plástico
14. Fabricação de outros produtos minerais não metálicos
15. Fabricação de metais básicos
16. Fabricação de produtos manufaturados de metal, exceto máquinas e equipamentos
17. Fabricação de produtos de informática, eletrônicos e ópticos
18. Fabricação de equipamentos elétricos
19. Fabricação de máquinas e equipamentos
20. Fabricação de veículos automóveis, reboques e semi-reboques
21. Fabricação de outros equipamentos de transporte
22. Fabricação de móveis e outros produtos da manufatura
23. Reparação e instalação de máquinas e equipamentos
24. Fornecimento de eletricidade, gás, vapor e ar-condicionado
25. Captação, tratamento e abastecimento de água
26. Sistema de esgoto; atividades coleta, tratamento e eliminação de resíduos; recuperação de materiais; atividades de despoluição e outros serviços de gestão de resíduos
27. Construção
28. Comércio por atacado e varejo e reparação de veículo automotores e motocicletas
29. Comércio por atacado e varejo, exceto de veículo automotores e motocicletas
30. Comércio por varejo, exceto de veículo automotores e motocicletas
31. Transporte terrestre e transporte por oleodutos
32. Transporte de água
33. Transporte aéreo
34. Armazenagem e atividades de apoio ao transporte
35. Atividades postais e de correio
36. Atividades de alojamento e alimentação
37. Atividades de publicação
38. Atividades de produção cinematográfica, de vídeo e de programas de televisão, de gravação de som e de edição de música; atividades de programação e transmissão
39. Telecomunicações
40. Programação de computadores, consultoria e atividades correlatas; atividades de serviço de informação
41. Atividades de serviços financeiros, exceto seguros e fundos de pensões

ANEXO A – LISTA DE SETORES (continua)

ANEXO A – LISTA DE SETORES (continuação)

42. Seguros, resseguros e fundos de pensões, exceto seguridade social obrigatória
43. Atividades auxiliares dos serviços financeiros e das atividades seguradoras
44. Atividades Imobiliárias
45. Atividades jurídicas e contábeis; atividades das sedes; atividades de consultoria de gestão
46. Atividades de arquitetura e engenharia; testes e análises técnicas
47. Pesquisa e Desenvolvimento Científico
48. Publicidade e pesquisa de mercado
49. Outras atividades profissionais, científicas e técnicas; atividades veterinárias
50. Atividades administrativas e de serviços de apoio
51. Administração pública e defesa; seguridade social obrigatória
52. Educação
53. Atividades de saúde humana e assistência social
54. Outras atividades de serviço
55. Atividades das famílias como empregadoras; atividades indiferenciadas de produção de bens e serviços das famílias para uso próprio
56. Atividades de organizações e organismos extraterritoriais
57. Atividades industriais totais

Fonte: tradução própria, a partir de WIOD (2022).