

Uma Matriz Híbrida de Insumo-Produto de Energia para o Brasil: analisando as pressões setoriais de energia e as emissões de GEE

Carolina Silva Ribeiro¹
Roberto Maximiano Pereira²

RESUMO

Estimativas do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que as atividades humanas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais e é provável que o aquecimento atinja 1,5°C, entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual. Atualmente, o aquecimento global antrópico estimado vem aumentando em 0,2°C por década, considerando as emissões passadas e atuais, adverte o IPCC. As consequências da alteração climática provocada pelo aquecimento global representam riscos à humanidade e aos ecossistemas naturais, evidenciando a importância de uma transição energética. Nesse contexto, as pressões decorrentes do crescimento populacional, do aumento da produção de alimentos e do crescimento econômico, impulsionaram o consumo de energia e, por sua vez, as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Assim, este trabalho analisa as mudanças estruturais da economia brasileira relativas às pressões no setor de energia e as emissões de poluentes. Para tanto, a metodologia empregada consistiu no uso de um modelo híbrido de insumo-produto com dados de energia (fluxos físicos) do Balanço Energético Nacional (BEN), a partir das matrizes insumo-produto estimadas para o Brasil, entre 2000 e 2015, e dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). A análise será baseada em duas partes. A primeira tomará por base o modelo híbrido de insumo-produto que permitirá verificar quais os requerimentos diretos, indiretos e totais do setor de energia. Já a segunda parte, permitirá observar o comportamento do setor de energia e outros setores de atividade econômica do Brasil, em relação às emissões de GEE. Os resultados obtidos permitirão uma melhor compreensão do setor de energia no Brasil e sua participação no nível de emissões dada uma agenda mundial de combate à mudança climática.

Palavras-chave: Energia; Modelos híbridos; Emissões de GEE.

Área de submissão: 9 - Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade
Classificação JEL do trabalho: C69, Q49, Q54

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global antrópico estimado vem aumentando em 0,2°C por década, considerando as emissões passadas e atuais, adverte o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). Nesse contexto, as pressões decorrentes do crescimento populacional, do aumento da produção de

¹ Doutora em Economia, professora adjunta da Universidade Federal do Delta do Parnaíba (UFDPAR). Pesquisadora Líder do Grupo de Estudos em Energias Renováveis, Impactos, Conflitos e Clima (GEERICC). E-mail: carolinaribeiro@ufdpar.edu.br

² Mestre em Economia, responsável técnico e sócio proprietário da RM Pereira Consultoria Econômica e Socioambiental Ltda.

alimentos e do crescimento econômico, impulsionaram o consumo de energia e, por sua vez, as emissões.

O IPCC estima que as atividades antrópicas tenham causado cerca de 1,0°C de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais e é provável que o aquecimento atinja 1,5°C, entre 2030 e 2052, caso continue a aumentar no ritmo atual. As consequências da alteração climática provocada pelo aquecimento global representam riscos à humanidade e aos ecossistemas naturais, evidenciando a importância de uma transição energética. Segundo a Irena (2019), de acordo com as políticas atuais e planejadas, a transição para um sistema energético global descarbonizado terá investimentos de 110 trilhões de dólares, o que representa 2% do Produto Interno Bruto (PIB) global por ano, durante o período de 2016 até 2050.

De acordo com IEA (2020), em termos regionais, em 2018, os principais emissores de CO₂ foram os países membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) e a China, sendo responsáveis por 35% e 25% da participação mundial, respectivamente. Diante da grande emissão de gases de efeito estufa (GEE) por tais fontes, tem-se buscado uma transição energética para fontes renováveis e menos poluentes (solar, eólica, biocombustíveis, biomassa e resíduos, pequenas centrais hidrelétricas, etc.), de forma a tentar diminuir o aquecimento global e seus efeitos nocivos para a mudança climática (IRENA, 2019).

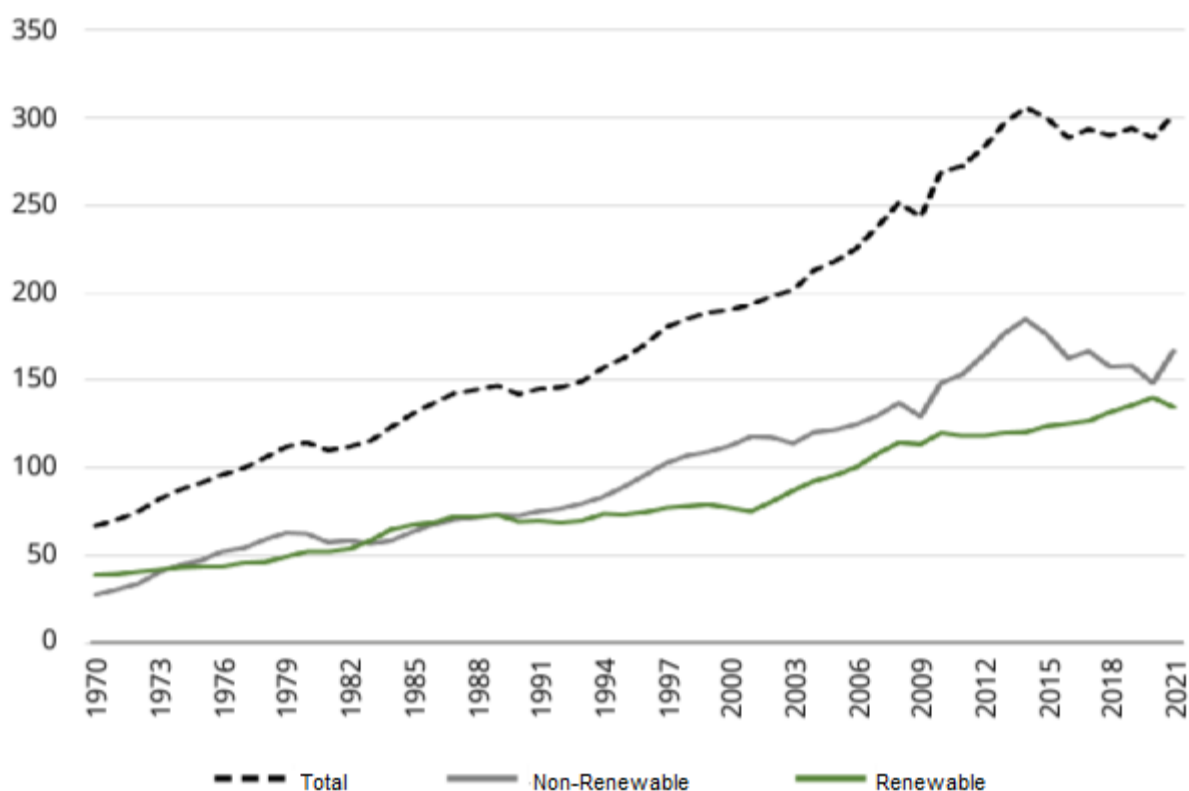
Quanto à produção de energia por fonte primária, no Brasil a não renovável ainda é superior à de renovável comparando os anos de 2015 e 2022. A produção de não-renováveis saiu de 165.795 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), em 2015, para 211.79 milhões TEP, em 2022, já a de renováveis saltou de 121.330 milhões TEP para 143.469 milhões TEP (EPE, 2023). Isso evidencia a superioridade na produção de fontes primárias não renováveis em relação às renováveis no país. Segundo o Observatório do Clima (2023), o Brasil se mantém em posição elevada no ranking mundial dos maiores emissores do planeta, ocupando o sétimo lugar. Dado esse contexto, questiona-se as mudanças estruturais ocorridas na economia brasileira têm influenciado nas emissões de gases de efeito estufa?

Do exposto, este trabalho analisa as mudanças estruturais da economia brasileira relativas às pressões no setor de energia e as emissões de poluentes. Para tanto, a metodologia empregada consistiu no uso de um modelo híbrido de insumo-produto com dados de energia (fluxos físicos) do Balanço Energético Nacional (BEN), a partir das matrizes insumo-produto estimadas para o Brasil, entre 2000 e 2015, e dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Neste trabalho, são apresentados alguns resultados preliminares da pesquisa em andamento.

2. O SETOR DE ENERGIA E AS EMISSÕES DE GEE

A produção de energia no Brasil conta com fontes não-renováveis e renováveis. De 1970 a 2021, em relação ao total produzido observa-se que as renováveis foram aumentando, mas a produção majoritária ainda é de fontes não renováveis, conforme Gráfico 1. Conforme dados do Balanço Energético Nacional de 2023, a oferta interna de energia renovável vinha consistentemente crescendo desde 2013, mas 2021 quebrou esse ciclo: em comparação com 2020, a oferta de energia renovável caiu 4%, enquanto a de não renovável aumentou 12% (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023). Ou seja, a recuperação econômica observada – com crescimento de cerca de 4,5% do PIB brasileiro em 2021 em relação ao ano anterior – puxou a demanda de energia para cima e essa demanda foi suprida por uma parcela maior de fontes fósseis, conforme o Observatório do Clima (2023). Petróleo e gás natural se destacam entre as não-renováveis, conforme Tabela 1. Já a fonte hidráulica é a principal na produção dentre as renováveis, no período de análise.

Gráfico 1 – Produção de energia renovável e não renovável em milhões de toneladas equivalentes de petróleo - TEP



Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN, 2023.

Conforme a Tabela 1, observa-se partir de 2006 houve uma evolução na participação da fonte eólica, mas é de 2012 a 2014 que ela se mostra mais significativa. De 2000 a 2015, a fonte eólica teve uma participação de quase 5-% na produção total de energia do país. Ressalta-se que, no Brasil, durante a crise energética de 2001, houve uma tentativa de iniciar a contratação de empreendimentos de

geração de energia eólica. Criou-se então, o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) com o objetivo de complementar os fluxos hidrelétricos. No entanto, esse programa não obteve o resultado desejado e, em 2002, foi substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, o PROINFA. Este buscava dinamizar a matriz energética brasileira com o incentivo ao desenvolvimento das fontes renováveis e fixação de componentes e turbinas eólicas no Brasil. Em 2009, ocorreu o primeiro leilão de comercialização de energia voltado exclusivamente para a fonte eólica, o que justifica os avanços na produção da referida fonte nos anos posteriores observados na Tabela 1.

.

Tabela 1 - Produção de energia primária por fonte, em TEP (2000-2015)

(Continua)

Ano	Energia não renovável												Total não renováveis (a)	
	Petróleo		Gás Natural		Carvão Vapor		Carvão Metalúrgico		Urânio (U ₃ O ₈)		Outras Não Renováveis		Produção	%
	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%
2000	63,85	41,64	13,18	8,60	2,60	1,70	0,01	0,01	0,13	0,09	0,98	0,64	80,76	52,66
2001	66,74	42,68	13,89	8,88	2,17	1,39	0,01	0,01	0,67	0,43	1,07	0,69	84,56	54,07
2002	74,93	43,00	15,42	8,85	1,94	1,11	0,06	0,04	3,34	1,91	1,11	0,63	96,78	55,54
2003	77,23	42,03	15,68	8,53	1,78	0,97	0,04	0,02	2,74	1,49	1,14	0,62	98,62	53,67
2004	76,64	40,29	16,85	8,86	2,02	1,06	0,14	0,07	3,57	1,88	1,13	0,60	100,35	52,75
2005	84,30	42,04	17,58	8,76	2,35	1,17	0,13	0,07	1,31	0,65	1,20	0,60	106,87	53,29
2006	89,21	42,12	17,58	8,30	2,20	1,04	0,09	0,04	2,34	1,10	1,21	0,57	112,64	53,18
2007	90,77	40,58	18,02	8,06	2,26	1,01	0,09	0,04	3,62	1,62	1,37	0,61	116,13	51,92
2008	94,00	39,75	21,40	9,05	2,55	1,08	0,10	0,04	3,95	1,67	1,16	0,49	123,16	52,09
2009	100,92	41,98	20,98	8,73	1,91	0,80	0,17	0,07	4,12	1,71	1,24	0,52	129,34	53,80
2010	106,56	42,10	22,77	9,00	2,10	0,83	0,00	0,00	1,77	0,70	1,08	0,42	134,28	53,05
2011	108,98	42,50	23,89	9,32	2,13	0,83	0,00	0,00	4,21	1,64	1,33	0,52	140,53	54,80
2012	107,26	41,73	25,57	9,95	2,52	0,98	0,00	0,00	3,88	1,51	1,34	0,52	140,57	54,69
2013	104,76	40,57	27,97	10,83	3,30	1,28	0,00	0,00	2,37	0,92	1,59	0,62	140,00	54,22
2014	116,70	42,79	31,66	11,61	3,06	1,12	0,00	0,00	0,68	0,25	1,81	0,67	153,92	56,44
2015	126,13	44,04	34,87	12,18	2,46	0,86	0,00	0,00	0,51	0,18	1,83	0,64	165,80	57,89
Soma e média	1488,97	41,86	337,33	9,34	37,36	1,08	0,84	0,03	39,21	1,11	20,59	0,58	1924,30	54,00

(Conclusão)

Ano	Energia renovável														Energia total		
	Energia Hidráulica		Lenha		Produtos da Cana		Eólica		Solar		Outras Renováveis		Total renováveis (b)		(a+b)		
	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	Produção	%	
2000	26,18	17,07	23,05	15,03	19,89	12,97	0,00	0,00			0,00	3,46	2,26	72,59	47,34	153,34	100,00
2001	23,04	14,73	22,44	14,35	22,80	14,58	0,00	0,00			0,00	3,56	2,27	71,83	45,93	156,40	100,00
2002	24,60	14,12	23,65	13,57	25,28	14,51	0,01	0,00			0,00	3,94	2,26	77,48	44,46	174,26	100,00
2003	26,28	14,30	25,97	14,13	28,36	15,43	0,01	0,00			0,00	4,52	2,46	85,13	46,33	183,74	100,00
2004	27,59	14,50	28,19	14,82	29,39	15,45	0,01	0,00			0,00	4,72	2,48	89,89	47,25	190,24	100,00
2005	29,02	14,47	28,42	14,17	31,09	15,51	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	5,11	2,55	93,66	46,71	200,52	100,00
2006	30,00	14,16	28,48	13,45	35,13	16,59	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	5,52	2,60	99,15	46,82	211,79	100,00
2007	32,17	14,38	28,62	12,80	40,46	18,09	0,06	0,03	0,00	0,00	0,00	6,22	2,78	107,52	48,08	223,65	100,00
2008	31,78	13,44	29,23	12,36	45,02	19,04	0,10	0,04	0,00	0,00	0,00	7,16	3,03	113,29	47,91	236,45	100,00
2009	33,62	13,99	24,61	10,24	44,78	18,62	0,11	0,04	0,00	0,00	0,00	7,96	3,31	111,08	46,20	240,42	100,00
2010	34,68	13,70	26,00	10,27	48,85	19,30	0,19	0,07	0,00	0,00	0,00	9,11	3,60	118,83	46,95	253,11	100,00
2011	36,84	14,36	26,00	10,14	43,27	16,87	0,23	0,09	0,00	0,00	0,00	9,57	3,73	115,90	45,20	256,43	100,00
2012	35,72	13,90	25,68	9,99	45,12	17,55	0,43	0,17	0,00	0,00	0,00	9,51	3,70	116,46	45,31	257,03	100,00
2013	33,63	13,02	24,58	9,52	49,31	19,10	0,57	0,22	0,00	0,00	0,00	10,14	3,93	118,22	45,78	258,21	100,00
2014	32,12	11,78	24,94	9,14	49,27	18,07	1,05	0,39	0,00	0,00	0,00	11,41	4,18	118,79	43,56	272,71	100,00
2015	30,94	10,80	24,90	8,69	50,42	17,61	1,86	0,65	0,01	0,00	0,00	12,45	4,35	120,58	42,11	286,37	100,00
Soma e média	488,20	13,92	414,74	12,04	608,44	16,83	4,64	0,11	0,01	0,00	0,00	114,37	3,09	1630,39	45,87	3554,69	100,00

Fonte: Elaboração própria, a partir dos dados do BEN, 2023.

No período recente, a produção de eletricidade a partir da fonte eólica alcançou 81,6 TWh em 2022, equivalente a um aumento de 13% em relação ao ano anterior, quando se atingiu 72,3 TWh. Em 2022, a potência instalada para geração eólica no país expandiu 14,3% (EPE, 2023).

Em relação às emissões de gases de efeito estufa, dados do Observatório do Clima (2023) apontam que o Brasil emitiu 2,4 bilhões de toneladas brutas de gases de efeito estufa em 2021. A alta do desmatamento, principalmente na Amazônia, foi a principal responsável pelo aumento de emissões. O setor de energia apresentou uma alta de emissões de 12,5%, representando o maior salto em 50 anos. Foram emitidas 435 milhões de toneladas, contra 387 milhões do ano anterior (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023). Essa alta tem relação com o retorno da economia pós pandemia. Outro setor que também apresentou alta foi o de agropecuária, 3,8%.

3. METODOLOGIA

3.1 O MODELO HÍBRIDO DE INSUMO-PRODUTO

Para a obtenção dos índices setoriais, primeiramente, deriva-se o modelo insumo-produto³ desenvolvido por Leontief. Este, busca contabilizar as contribuições de toda a cadeia produtiva para uma dada demanda (MILLER; BLAIR, 2009).

A contribuição de muitos pesquisadores tem se estendido para extensões do modelo tradicional proposto por Leontief empregando unidades físicas no processo. O que tem proporcionado novas pesquisas envolvendo uso de energia, seus fluxos físicos na atividade interindustrial e poluição ambiental (MILLER; BLAIR, 2009). Em geral, a entrada de energia normalmente determina 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, quanto indiretamente como a energia incorporada nos insumos dessa indústria.

Assim, no modelo híbrido por meio dos fluxos físicos pode-se verificar quais os requerimentos diretos, indiretos e totais do setor de energia, ou seja, a soma dos primeiros. A unidade física adotada foi tonelada equivalente de petróleo (TEP). De forma análoga ao modelo tradicional, o modelo híbrido também é composto por matrizes, entretanto as características das matrizes do modelo híbrido diferem do modelo de Leontief tradicional. Pois, neste substitui-se na matriz de transações interindustriais (Z), a linha dos fluxos de energia (G), oriunda do Balanço Energético Nacional (BEN). Com essa substituição, será obtida uma nova matriz (Z^*) contendo os fluxos interindustriais de energia em unidades físicas, além dos fluxos de unidades monetárias.

³ Para mais detalhes, ver Miller e Blair (2009).

Supondo, por exemplo, um modelo regional contendo dois setores, em que o primeiro é o setor de energia primária e os fluxos físicos de produção são medidos em tonelada equivalente de petróleo (TEP). Então, o modelo híbrido pode ser expresso da seguinte forma:

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ \\ \$ & \$ \end{bmatrix}, G = [\text{TEP} \quad \text{TEP}] \quad (1)$$

$$Z^* = \begin{bmatrix} \text{TEP} & \text{TEP} \\ \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (2)$$

Para a produção total (X) e a demanda final (Y) por setor, deve-se adotar o mesmo raciocínio:

$$X^* = \begin{bmatrix} \text{TEP} \\ \$ \end{bmatrix} \quad Y^* = \begin{bmatrix} \text{TEP} \\ \$ \end{bmatrix} \quad (3)$$

A matriz de coeficientes de requerimentos diretos (coeficientes técnicos) é dada por

$$A^* = Z^*(\hat{X}^*)^{-1} \quad (4), \text{ diferenciando da matriz de coeficientes técnicos tradicional } A = Z(\hat{X})^{-1} \quad (5).$$

Logo a matriz A^* é a matriz híbrida de coeficientes técnicos, dada por:

$$A^* = \begin{bmatrix} \frac{\text{TEP}}{\text{TEP}} & \frac{\text{TEP}}{\$} \\ \frac{\text{TEP}}{\$} & \frac{\text{TEP}}{\$} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Por sua vez, a matriz inversa de Leontief, $B^* = (I - A^*)^{-1}$ (7), seguirá o mesmo raciocínio e será utilizada no cálculo dos indicadores de insumo produto, deste trabalho).

Os requerimentos de energia do são obtidos a partir da subtração da matriz híbrida inversa de Leontief, B^* , da matriz identidade $Q^* = B^* - I^*$ (8), onde Q^* é a matriz de requerimento líquido total. Já a matriz de coeficientes de requerimentos indiretos é dada por $W^* = Q^* \cdot A^*$ (9), em que A^* é a matriz de requerimentos diretos de energia

3.2 BASE DE DADOS

Para análise do setor de energia no Brasil nos anos 2000 e 2015, foram utilizadas as matrizes de insumo produto estimadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os fluxos físicos de energia do Balanço Energético Nacional (BEN) para ambos os anos. Foi realizada uma compatibilização entre as duas bases, pois os dados de energia (fluxos físicos) do BEN apresentavam uma desagregação setorial diferente das matrizes de insumo-produto para o Brasil, gerando uma matriz com desagregação para quatorze setores produtivos. A análise será baseada em duas partes. A primeira tomará por base o modelo híbrido de insumo-produto que permitirá verificar quais os

requerimentos diretos, indiretos e totais do setor de energia. Já a segunda parte, permitirá observar o comportamento de setores de energia, agropecuária, industrial, além de resíduos e mudança de uso da terra e floresta do Brasil, em relação às emissões de GEE, a partir de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) é uma iniciativa do Observatório do Clima.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 REQUERIMENTOS TOTAIS DE ENERGIA DO SETOR ENERGÉTICO

A análise da evolução, 2000 a 2015, dos requerimentos totais de energia do setor energético envolve os requerimentos diretos e indiretos. Dada a adoção do modelo híbrido de insumo produto, os resultados estão em unidades físicas, isto é, toneladas equivalentes de petróleo (TEP). Há uma desagregação em quatorze setores produtivos. O que permite verificar a pressão destes sobre o setor energético, bem como sua evolução de 2000 a 2015. A partir da Tabela 2, observa-se que houve redução da média dos requerimentos totais de energia de 2000 (0,004) para 2015 (0,002), ou seja, os quatorze setores analisados demandaram menos energia, nesse período. Da mesma forma, se observa nos requerimentos diretos indiretos, ambos com redução similar, de 0,002, em 2000, para 0,001, em 2015. Esses resultados corroboram com Firme e Perobelli (2012), evidenciando, em comparação a estes, que de 1997 a 2015 vem ocorrendo uma queda dos requerimentos totais de energia de energia do setor energético.

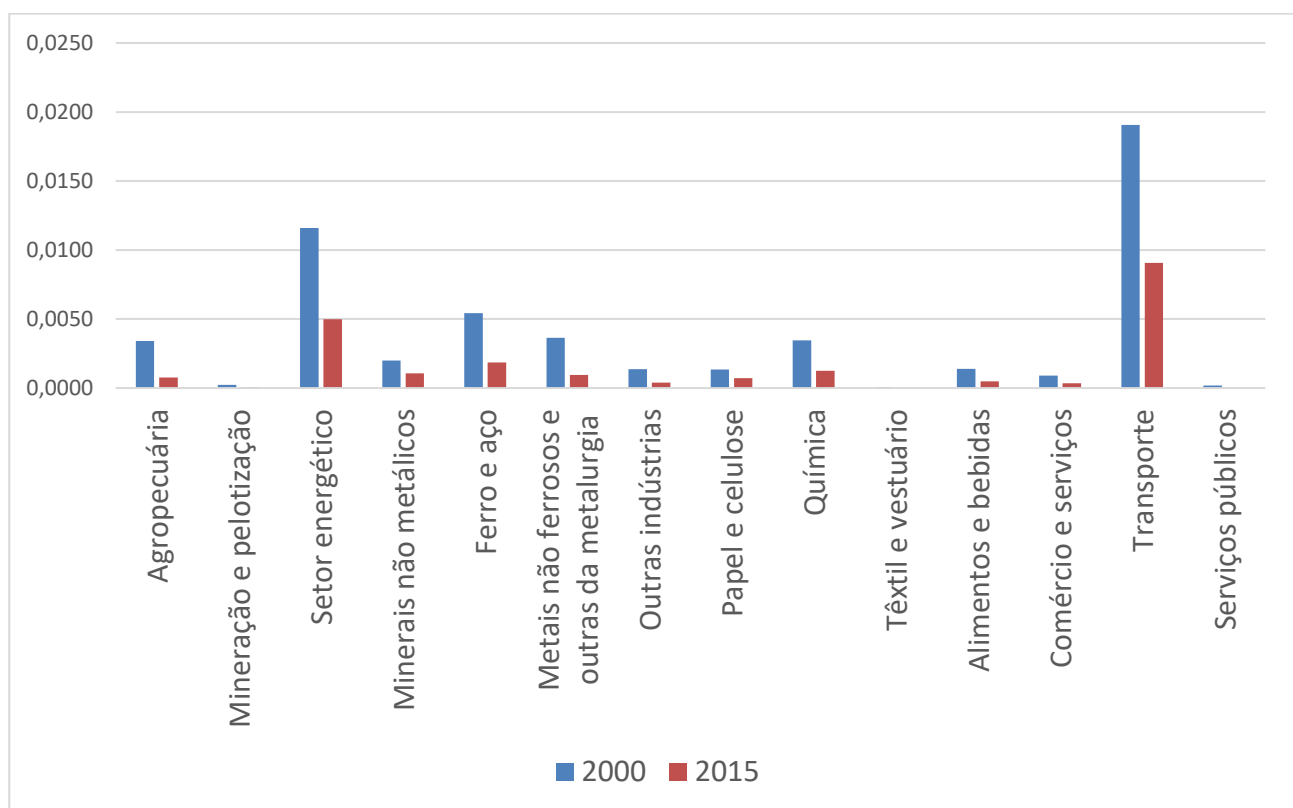
Tabela 2 – Evolução de requerimentos totais (RT), diretos (RD) e indiretos (RI) de energia do setor energético (2000-2015)

	RT 2000	RT 2015	RD 2000	RD 2015	RI 2000	RI 2015
1 Agropecuária	0,0034	0,0008	0,0021	0,0005	0,0013	0,0002
2 Mineração e pelotização	0,0002	0,0001	0,0000	0,0000	0,0002	0,0001
3 Setor energético	0,0116	0,0050	0,0071	0,0029	0,0045	0,0020
4 Minerais não metálicos	0,0020	0,0011	0,0003	0,0004	0,0017	0,0007
5 Ferro e aço	0,0054	0,0019	0,0002	0,0005	0,0052	0,0013
6 Metais não ferrosos e outras da metalurgia	0,0036	0,0010	0,0016	0,0004	0,0020	0,0006
7 Outras indústrias	0,0014	0,0004	0,0007	0,0002	0,0007	0,0002
8 Papel e celulose	0,0014	0,0007	0,0002	0,0001	0,0011	0,0006
9 Química	0,0035	0,0012	0,0010	0,0004	0,0025	0,0009
10 Têxtil e vestuário	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000
11 Alimentos e bebidas	0,0014	0,0005	0,0003	0,0002	0,0010	0,0003
12 Comércio e serviços	0,0009	0,0004	0,0005	0,0002	0,0004	0,0002
13 Transporte	0,0191	0,0091	0,0118	0,0057	0,0072	0,0034
14 Serviços públicos	0,0002	0,0000	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000
Média	0,0039	0,0016	0,0019	0,0008	0,0020	0,0008

Fonte: Elaboração própria, 2023.

No Gráfico 2, tem-se a evolução dos requerimentos totais líquidos de energia do setor energético em 2000 e 2015. Os setores que apresentam maiores índices de requerimento total foram: transporte (0,019 em 2000 e 0,009 em 2015), setor energético⁴ (0,012 em 2000 e 0,005 em 2015) e ferro e aço (0,005 em 2000 e 0,002 em 2015), respectivamente. Esses três, mesmo tendo apresentando diminuição pressionam o setor energético. Assim, evidencia-se que um crescimento destes setores demandará mais investimentos em energia. Em relação ao setor energético, em comparação ao trabalho de Firme e Perobelli (2012), notou-se que este apresentou um aumento no consumo de energia (RT crescente) de 1997 a 2002, mas no presente trabalho apresenta uma redução (RT decrescente) de 2000 a 2015.

Gráfico 2 – Requerimentos Totais Líquidos de Energia do Setor Energético (2000 - 2015)



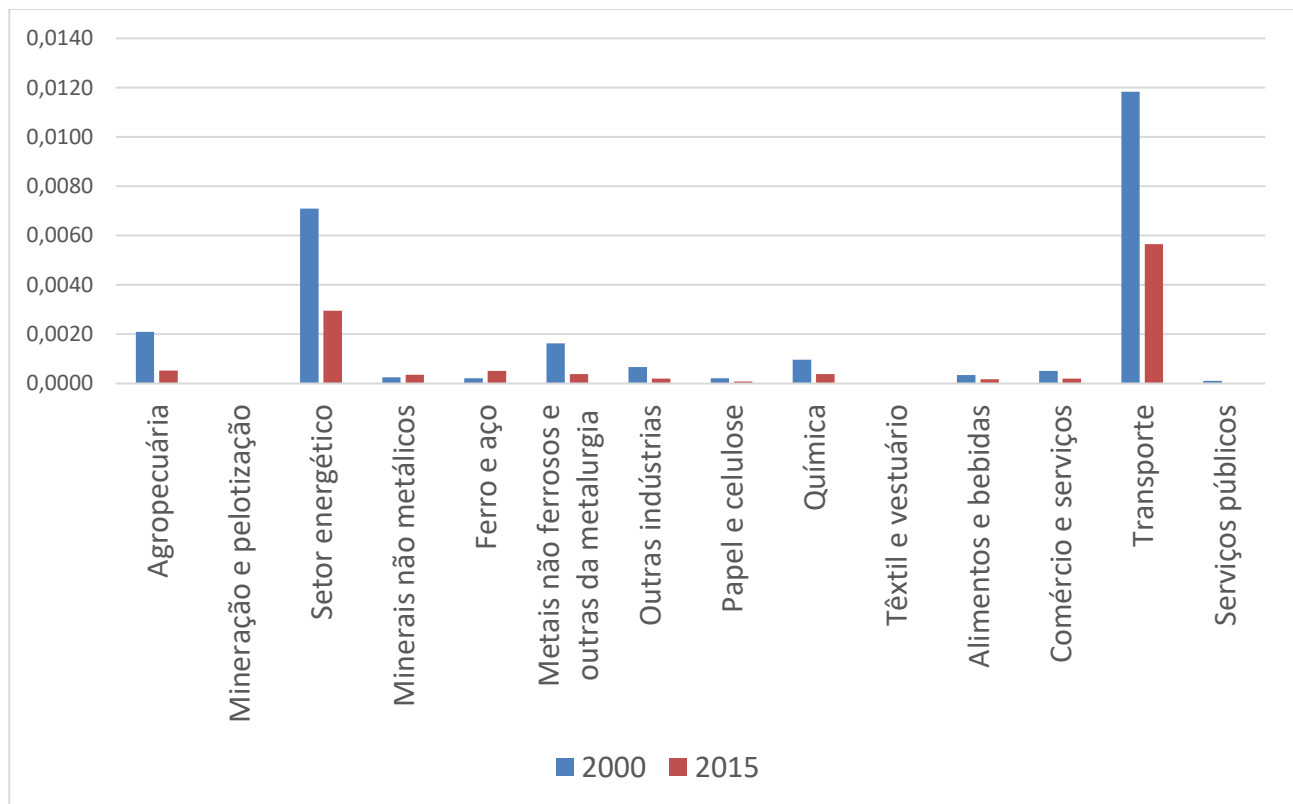
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Contudo, na análise dos requerimentos diretos e indiretos é que se pode ter uma melhor avaliação da pressão exercida por estes setores sobre o setor energético. No Gráfico 3, pode-se analisar os requerimentos diretos de energia do setor energético, observa-se que com exceção dos setores de mineração e pelletização e têxtil e vestuários que se mantiveram constantes (0,000 em 2000 e 0,000

⁴ O setor energético inclui os seguintes setores: petróleo e gás natural, carvão mineral, gás liquefeito de petróleo, gasolina automotiva, gasoálcool, óleo combustível, óleo diesel, outros produtos do refino de petróleo e coque, álcool, eletricidade e gás.

em 2015, ambos), e minerais não metálicos e ferro e aço que apresentaram aumento do consumo de energia, os demais setores tiveram redução em seus índices. O setor de transportes e o energético lideram como os setores com maiores requerimentos diretos, com 0,012 em 2000 e 0,006 em 2015; e 0,007 em 2000 e 0,003 em 2015, respectivamente. A agropecuária apresentou o terceiro maior requerimento direto de energia em 2000 (0,002), em 2015, assim como os setores de transporte e energético também apresenta redução no requerimento direto.

Gráfico 3 – Requerimentos Diretos de Energia do Setor Energético (2000 - 2015)



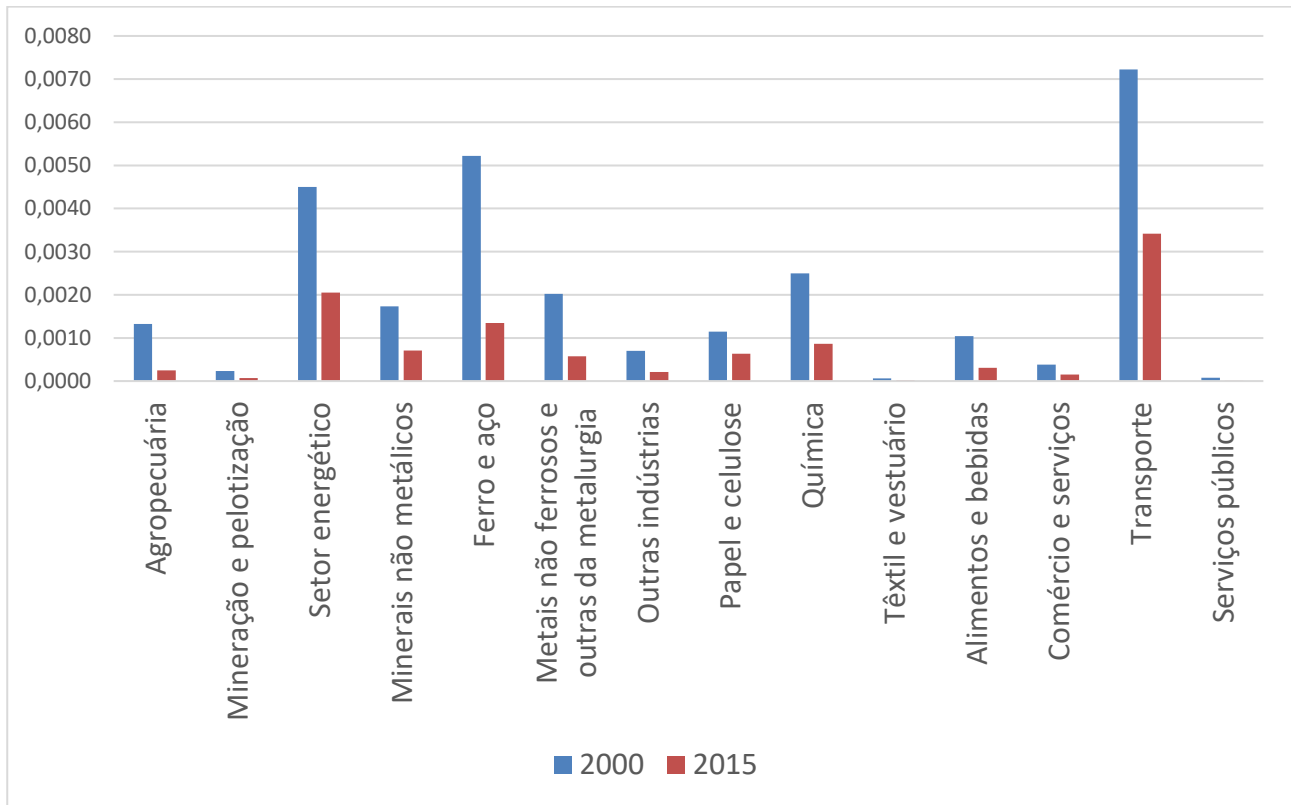
Fonte: Elaboração própria, 2023.

O setor de transportes é um grande consumidor de óleo diesel, gasolina e álcool etílico, já o setor energético inclui petróleo, álcool, eletricidade e gás, por exemplo, o que explica o elevado índice de requerimentos diretos de energia. Isso por sua vez está de acordo com os dados do Balanço Energético Nacional (BEN).

Já analisando os requerimentos indiretos de energia, Gráfico 4, evidencia-se algumas mudanças em relação aos setores. O setor de transportes continua se destacando, com um elevado índice de requerimento indireto: 0,007 em 2000 e 0,003 em 2015. O setor energético, que figurava em segundo lugar entre os setores que mais despontaram nos índices de requerimentos totais e diretos, em 2000 apresenta um índice menor (0,004) do que o setor de ferro e aço (0,005), em termos indiretos, já em 2015 ocorrendo inverso (0,002 e 0,001, respectivamente). Observa-se que setores que não exerciam

pressão sobre os requerimentos diretos, tornam-se mais expressivos em relação aos requerimentos indiretos, como: química; metais não ferrosos e outros da metalurgia; papel e celulose; minerais não metálicos e agropecuária. O setor têxtil e vestuário e o setor de serviços públicos são praticamente inexpressivos em termos de requerimentos indiretos,

Gráfico 4 – Requerimentos Indiretos de Energia do Setor Energético (2000 - 2015)



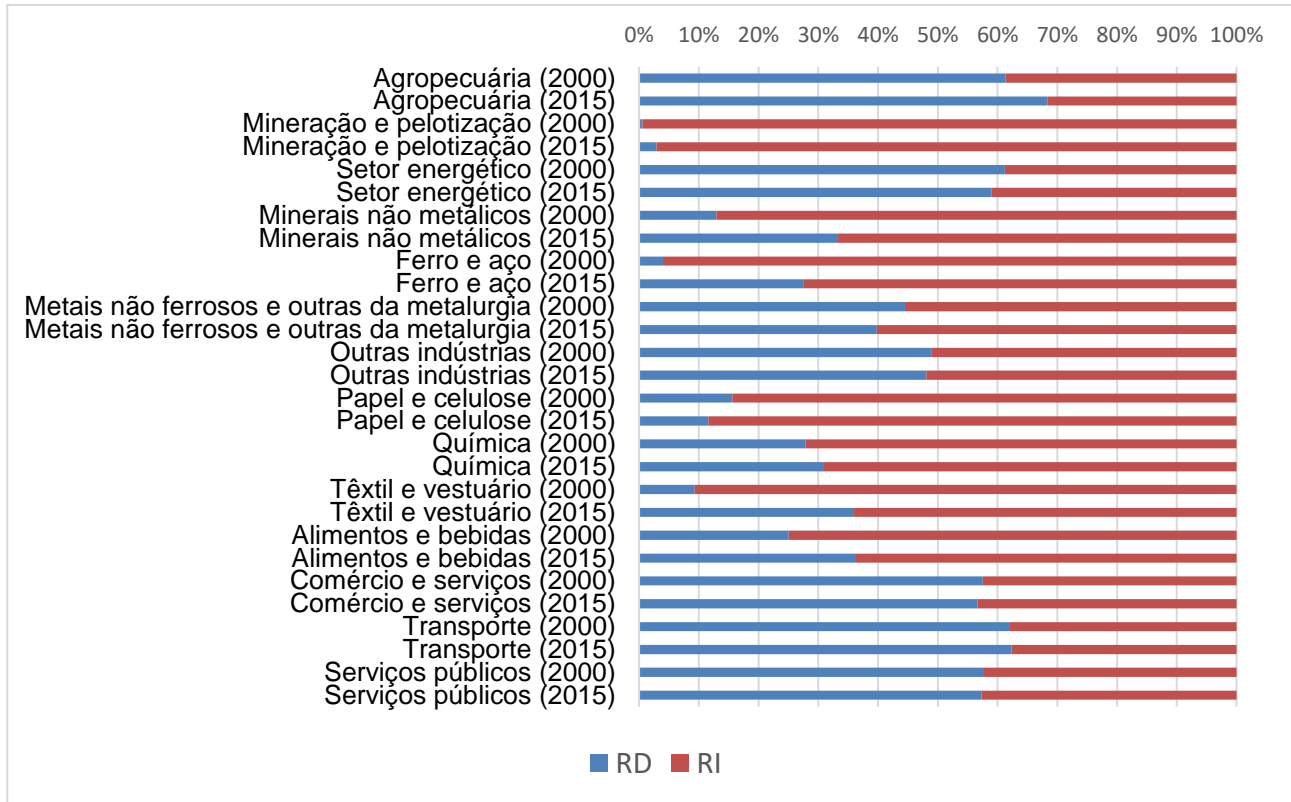
Fonte: Elaboração própria, 2023.

De acordo com Firme e Perobelli (2012), podem existir dois extremos, de um lado setores com alta demanda de energia e baixa relação entre requerimentos diretos versus indiretos, tendem a ter forte pressão no setor de energia da região; por outro lado, setores com baixa demanda de energia e alta relação entre requerimentos diretos versus indiretos provocam baixa pressão sobre o setor de energia local.

O Gráfico 5 apresenta a relação percentual de requerimentos diretos e indiretos por setor em 2000 e 2015. Observa-se que o setor de mineração e pelotização é o que apresenta a menor relação entre requerimentos diretos e indiretos, ou seja, menor pressão sobre o setor de energia da região. Em 2000, o requerimento desse setor era 100% indireto, em 2015, menos de 5% é direto, demonstrando que o setor possui elevado poder de multiplicação sobre o consumo de energia. Setores como minerais não metálicos, ferro e aço, papel e celulose, química, têxtil e vestuário, alimentos e bebidas

apresentam requerimentos indiretos superiores a 50% do total de requerimentos. Logo, possuem elevado poder multiplicador.

Gráfico 5 – Participação Setorial de Requerimentos Diretos e Indiretos nos Requerimentos Totais de Energia do setor Energético (2000 e 2015)



Fonte: Elaboração própria, 2023.

O setor de transporte, no Gráfico 5, apresenta uma peculiaridade em relação aos demais, pois em 2000 e 2015 apresentou o maior requerimento total. No entanto, 62% desse total, aproximadamente, correspondia a requerimentos diretos em 2000 e 2015. Isso demonstra, portanto, que este setor demanda muita energia do setor energético, mas apresenta um baixo poder multiplicador. Caso semelhante foi evidenciado por Firme e Perobelli (2012), em 1997 e 2002. A agropecuária também é outro caso interessante, em 2000 seu requerimento direto era de 61%, aproximadamente, já em 2015 teve um crescimento, indo para quase 70%, demonstrando maior demanda de energia e baixo poder multiplicador.

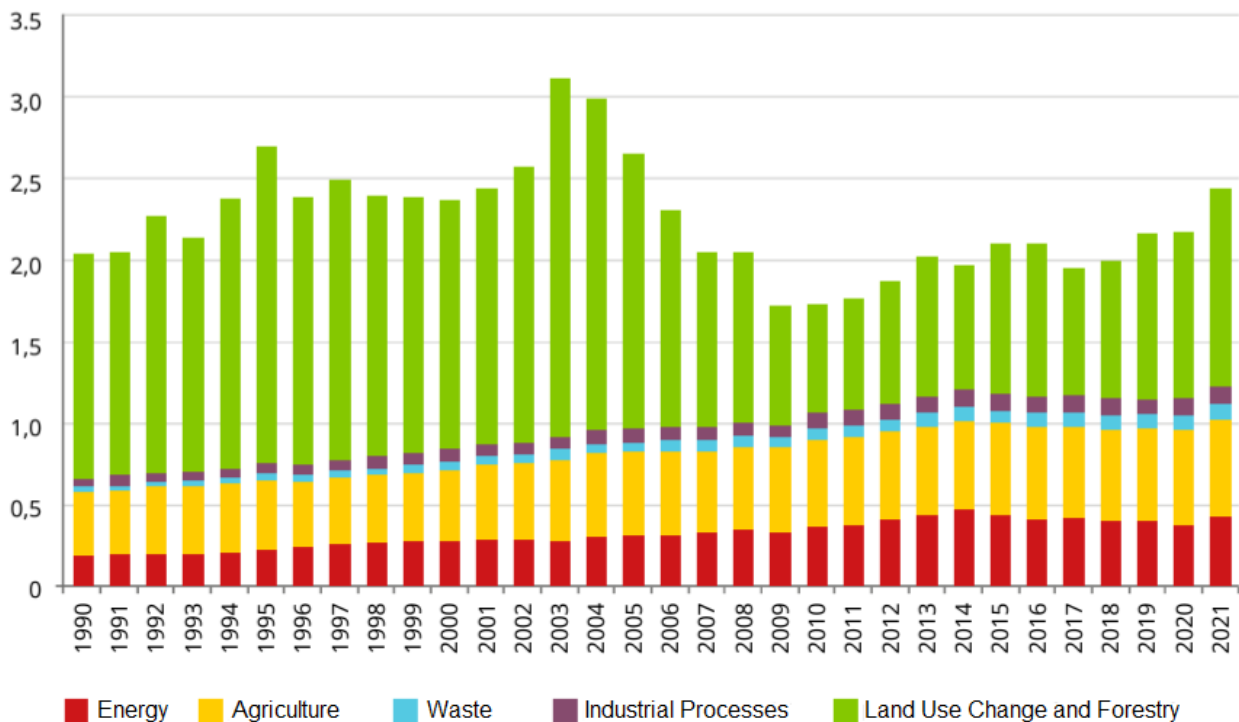
4.2 SETORES DE ATIVIDADE ECONÔMICA E AS EMISSÕES DE GEE

Mesmo tendo cumprido a meta numérica de sua política Nacional sobre Mudança do Clima, o Brasil ainda não alterou sua trajetória de emissões e nem perfil da poluição, concentrado, principalmente, no desmatamento. O crescimento das emissões brutas de GEE foi de 12,2% em 2021, quando

comprado a 2020, enquanto as emissões globais cresceram cerca de 5%., demonstrando que as emissões no país foram superiores à média mundial (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023).

Os setores de energia, agropecuária, industrial, de resíduos e mudança de uso da terra e floresta do Brasil devem ser analisados para compreensão das emissões de GEE no país, considerando o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), iniciativa do Observatório do Clima. A destruição de biomas brasileiros contribuiu para elevar as emissões do país. Na Figura 1, tem-se as emissões de GEE no Brasil de 1990 a 2021 em toneladas de gás carbônico equivalente (GtCO₂). Mudança do uso da terra e floresta é o setor com maiores emissões de GEE nas últimas décadas, atrelados ao desmatamento de diferentes biomas, como o cerrado e a Amazônia.

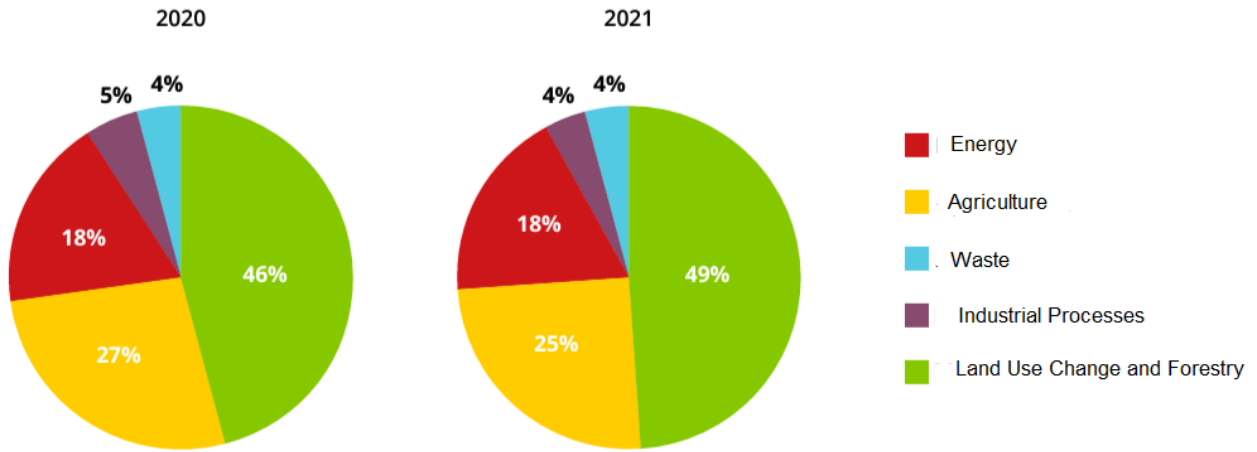
Figura 1 – Emissões de gases de efeito estufa no Brasil de 1990 a 2021 (GtCO₂)



Fonte: Observatório do Clima, 2023.

Na Figura 2, é possível comparar as emissões pelos diferentes setores. Em relação aos dois anos em análise, nota-se como três setores permanecessem entre os maiores emissores.

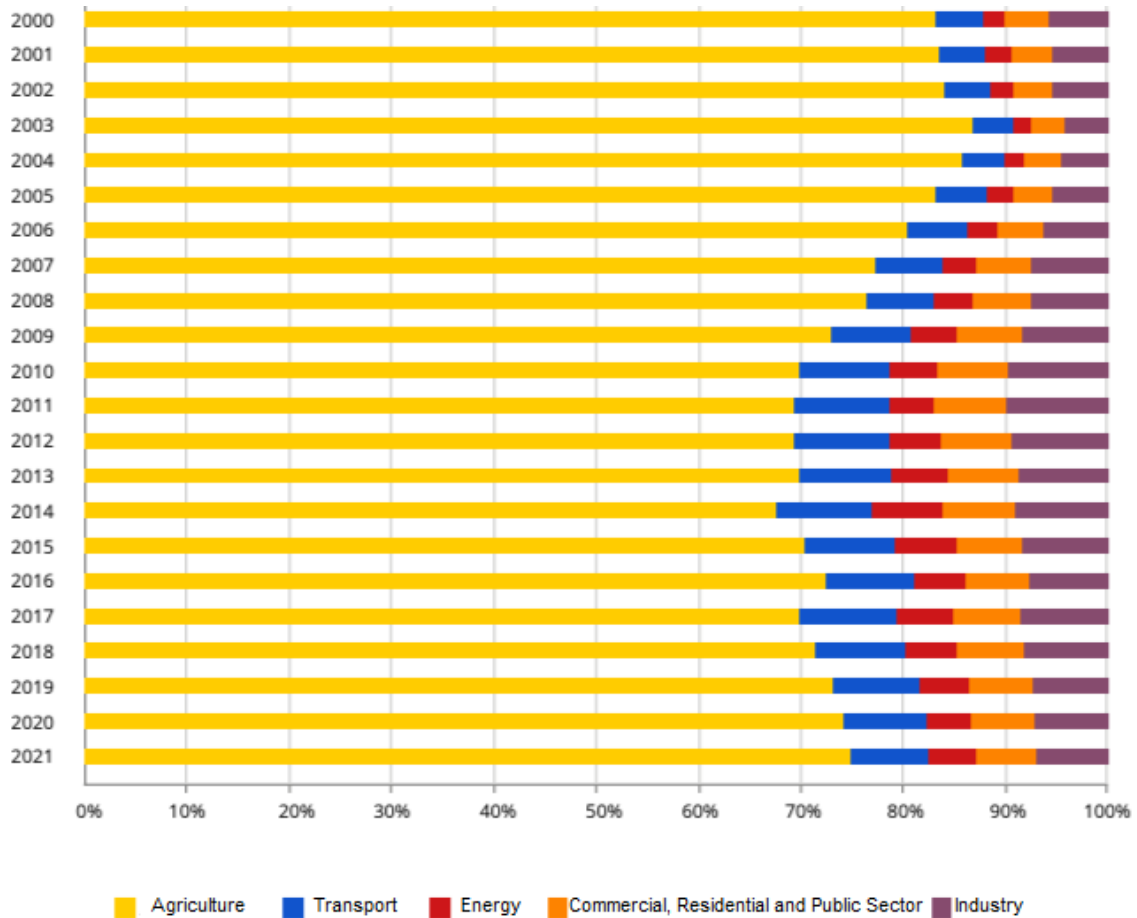
Figura 2 – Participação dos setores nas emissões de GEE brasileiras



Fonte: Observatório do Clima, 2023.

Já observando o perfil das emissões por atividade econômica (Figura 3) considerando Produto Interno Bruto, tem-se que o Brasil ainda polui do gerado em termos de riqueza, quando comprado com média mundial (OBERSVATÓRIO DO CLIMA, 2023).

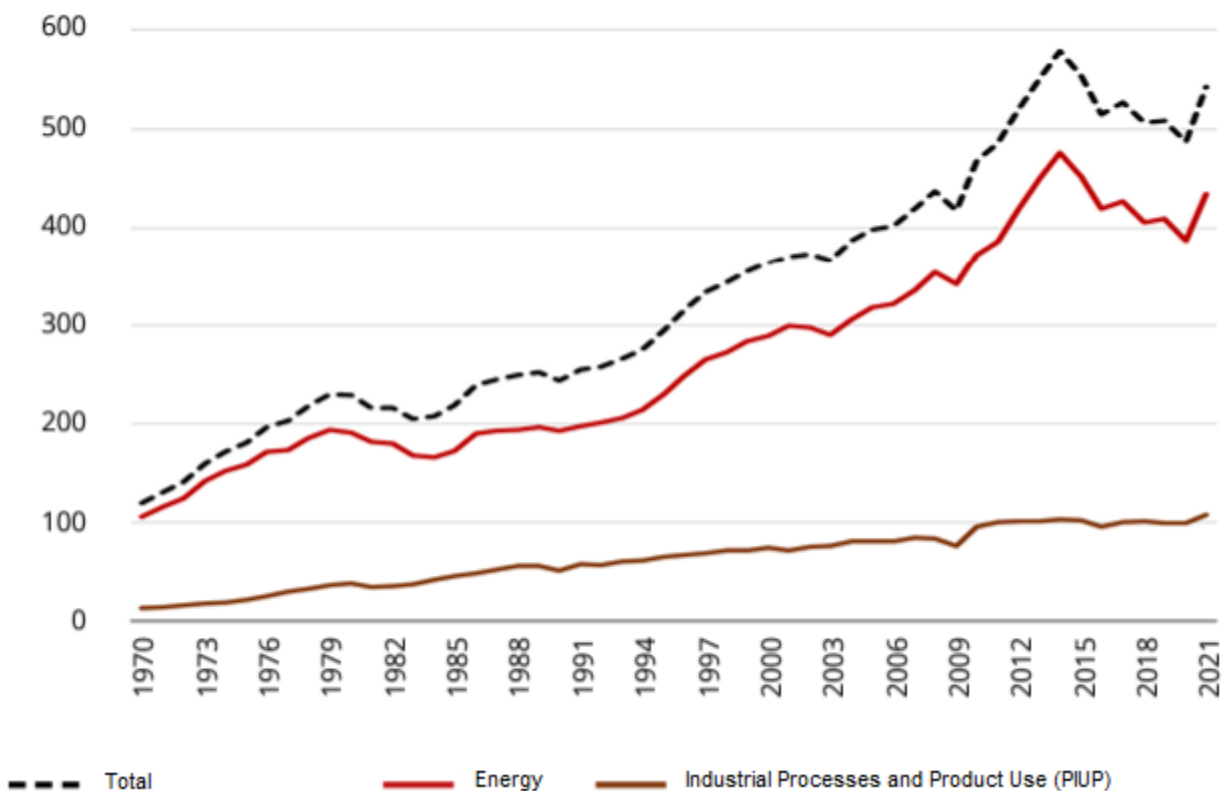
Figura 3 – Emissões por atividades econômicas



Fonte: Observatório do Clima 2023.

O setor agropecuário detém a maior participação, seguidos dos transportes e energia, conforme Figura 3. Tratando-se especificamente do setor de energia, neste é onde estão alocadas as emissões provenientes da queima de combustíveis em atividades como o transporte, a indústria e a geração de eletricidade. Integram esse setor tanto gases emitidos devido à queima de gasolina em um motor de um carro, como os gases emitidos pela queima de gás natural de uma caldeira industrial (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2023). Na Figura 4, observa-se que o setor de energia tem trajetória de emissões ascendente, devido à pandemia do Covid-19 após 2020 os valores são menores do que a média.

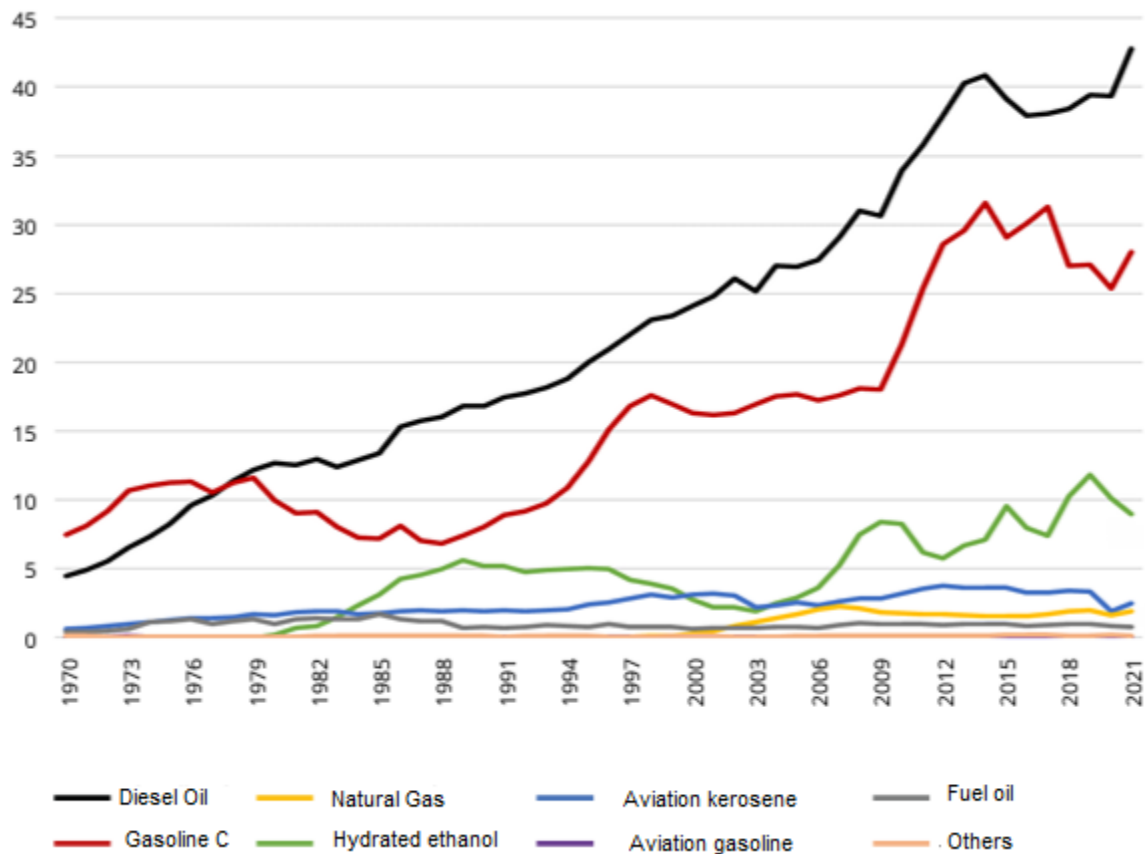
Figura 4 – Emissões de GEE nos setores de energia e processos industriais (PIUP)



Fonte: Observatório do Clima 2023.

Em relação às atividades do setor de energia, o setor de transporte destaca-se em termos de emissões de GEE no Brasil. A atividade de transporte foi a que mais emitiu (203,8 milhões toneladas de gás carbônico) dentro dos setores de energia e PIUP (incluem transporte, indústria, geração de eletricidade, edifícios, agropecuária e produção de combustíveis). As emissões de transporte tiveram um aumento 10%, sendo puxado principalmente pelo consumo de óleo diesel em veículos pesados, superando o patamar de 2014. Além disso, o consumo de gasolina também aumentou, enquanto o de etanol foi reduzido, levando a uma elevação das emissões, medidos em TEP, conforme Figura 5.

Figura 5 – Uso de combustíveis na atividade de transporte



Fonte: Observatório do Clima, 2023.

As emissões relacionadas ao consumo de óleo diesel só não foram ainda maiores devido à parcela de biodiesel presente em sua composição, conforme o Observatório do Clima (2023). Os automóveis (31%) são a segunda categoria na emissão de GEE, em primeiro lugar estão os caminhões (42%). Assim, novas fontes energéticas, que poluam menos, devem ser empregadas e desenvolvidas visando a descarbonização do setor. Ações como redução do uso de transporte e alteração nos modais de transporte menos intensivos em carbono.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve por objetivo analisar as pressões no setor de energia e as emissões de poluentes. Para isso, utilizou as matrizes de insumo produto do Brasil, agregadas em quatorze setores produtivos, para os anos de 2000 e 2015, visando verificar as mudanças ocorridas no cenário energético. Além disso, investigar o comportamento de setores de energia, agropecuária, industrial, além de resíduos e mudança de uso da terra e floresta do Brasil, em relação às emissões de GEE, Os requerimentos de energia do setor energético apresentaram uma redução dos requerimentos totais de 41% de 2000 para 2015 dos quatorze setores analisados. Mesmo os setores que mais demandam

energia apresentaram redução significativa nos requerimentos totais de energia, como o setor de transporte, com redução de 48%. Uma análise mais aprofundada deve ser realizada para se definir o perfil dos setores com maior pressão sobre o setor energético, como corroboram Firme e Perobelli (2012). Pois, em torno de 62% dos requerimentos desse setor advém de requerimentos diretos, tratando-se de um setor com baixo poder multiplicador. Já o setor de mineração e pelotização apresentou mais de 95% de seus requerimentos compostos por requerimentos indiretos, logo, apresenta elevado poder multiplicador.

Verificou-se também que os setores com maior poder de pressão de consumo sobre o setor energético são os setores de transportes e o energético, respectivamente. Analisando o setor de transportes no contexto da transição energética, observa-se que o setor exerce uma pressão sobre o uso de fontes não renováveis de energia. Ou seja, mesmo apresentando uma matriz elétrica com predominância de energia renovável, o setor que requer mais energia é intensivo em energia não renovável, conforme o Balanço Energético Nacional. Como o setor de transportes é vital para a economia do país, é imprescindível que se busque adotar fontes menos poluentes e alternativas ao diesel, a fim de reduzir a emissão de gases de efeito estufa e combater a mudança climática.

O uso do modelo híbrido e da análise com os dados do SEEG evidenciaram as pressões do setor de energia, incluso nele os transportes. A análise histórica permitiu observar que as emissões brutas de GEE vêm aumentando no Brasil. Além disso, há alertas sobre o período de 2019 a 2022 ser considerado como sendo marcado pelo desmonte da agenda de governança climática brasileira, devido as ações feitas pelo governo Bolsonaro, recorrendo a mudanças do referencial de emissões no ano-base de 2005 que fariam o Brasil chegar a 2030 emitindo mais do que o previsto, como aponta o Observatório do Clima.

Por fim, ressalta-se que a presente pesquisa não é conclusiva e apresenta considerações preliminares das investigações em curso no Grupo de Estudos em Energias Renováveis, Impactos, Conflitos e Clima (GEERIC). Trabalhos futuros ampliarão a temática estudada.

REFERÊNCIAS

- ABEEÓLICA. **Desenvolvimento da eólica no Brasil**. 2023. Disponível em: www.abeeolica.org.br. Acesso em: 08 mar. 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional (BEN) 2023**. Rio de Janeiro: EPE, 2023.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Balanço Energético Nacional (BEN) 2015**. Rio de Janeiro: EPE, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética e Elétrica. 2020**. 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

- FIRME, V A C; PEROBELLI, F S O setor energético brasileiro: uma análise via indicadores de insumo-produto e o modelo híbrido para os anos de 1997 e 2002 **Planejamento e Políticas Públicas**, n. 39, 2012
- GUILHOTO, J. J. M. **Input – Output Analysis: Theory and Foundations**. Departamento de Economia. FEA-USP. 2011.
- HIRSCHMAN, A.O. **The Strategy of Economic Development**. New Haven: Yale University Press. 1958.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produto Interno Bruto**. Série Histórica. 2023.
- IEA. **Key world energy statistics 2020**. Stataistics report. 2020.
- IEA **Electricity Information: Overview**. IEA, Paris, 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview>>. Acesso em: 5 fev. 2021.
- IRENA. **Global energy transformation: a road map to 2050**. Abu Dhabi, 2019. Disponível em: <www.irena.org/publications>. Acesso em: 20 ago. 2020.
- IPCC. **Summary for Policymakers**. In: Global Warming of 1.5°C. In Press. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf>. Acesso em: 5 fev. 2021.
- MILLER, R.E.; P.D. BLAIR. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. 2ª Edição. Cambridge: Cambridge University Press. 2009.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021**. 2023.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões de GEE**. 2024.
- OECD. **Climate Change Mitigation: Policies and Progress**. OECD Publishing, 2015.
- RASMUSSEN, P. **Studies in Intersectoral Relations**. Amsterdam: North Holland. 1956.
- REN 21. **Renewables 2020: Global Status Report**. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, 2020. Disponível em: <https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2020.
- ZAPAROLLI , I. D. et al. Análise dos Transbordamentos nas Emissões de Dióxido de Carbono: Brasil, Rússia, Índia e China – BRIC. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 49, n. 1, p. 149-164, jan./mar., 2018

Apêndice A

Tabela A.1 – Compatibilização das matrizes insumo produto com os setores do BEN

Matriz Brasil 2000		Matriz Brasil 2015		Matriz Brasil 2015		BEN	
55 Setores		67 Setores		67 Setores		BEN	
1 Agropecuária	11 Alimentos e bebidas	Agropecuária	11 1000 Fabricação de bebidas	11 1000 Fabricação de bebidas	1 Agropecuária	1 Agropecuária	1 Agropecuária
1 101 Agricultura, silvicultura, exploração florestal	11 301 Alimentos e bebidas	191 Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita			Agropecuária	Agropecuária	Agropecuária
1 102 Pecuária e pesca		192 Pecuária, inclusive o apoio à pecuária					
	12 Comércio e serviços	280 Produção florestal, pesca e aquicultura			12 Comércio e serviços	2 Mineração e pelotização	2 Mineração e pelotização
2 Mineração e pelotização	12 601 Comércio				12 4580 Comércio por atacado e varejo	Mineração e pelotização	Mineração e pelotização
2 202 Minério de ferro	12 1102 Serviços de alojamento e alimentação	Mineração e pelotização			12 5500 Alojamento		
	12 801 Serviços de informação	791 Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração			12 5600 Alimentação		
3 Setor energético	12 901 Intermediação financeira e seguros				12 5900 Edição e edição integrada à impressão	3 Setor energético	3 Setor energético
3 201 Petróleo e gás natural	12 1001 Serviços imobiliários e aluguel	Setor energético			12 5980 Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem	Setor energético	Setor energético
3 309 Refino de petróleo e coque	12 1103 Serviços prestados às empresas	580 Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos			12 6100 Telecomunicações		
3 310 Alcool	12 1104 Serviços de manutenção e reparação	680 Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio			12 6280 Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	4 Minerais não metálicos	4 Minerais não metálicos
3 401 Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	12 1104 Educação mercantil	1931 Refino de petróleo e coqueiras			12 6480 Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	Não ferrosos e outras metalurgias	Não ferrosos e outras metalurgias
	12 1105 Saúde mercantil	1932 Fabricação de biocombustíveis			12 6800 Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas		
4 Minerais não metálicos	12 1106 Outros serviços	3500 Energia elétrica, gás natural e outras utilidades			12 7180 Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D	5 Ferro e aço	5 Ferro e aço
4 203 Outros da indústria extrativa		3680 Água, esgoto e gestão de resíduos			12 7380 Outras atividades profissionais, científicas e técnicas	Ferro gusa e aço	Ferro ligas
4 320 Outros produtos de minerais não-metálicos	13 Transporte	Minerais não metálicos			12 7700 Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual		
	13 701 Transporte, armazenagem e correio	2300 Fabricação de produtos de minerais não metálicos			12 7980 Outras atividades administrativas e serviços complementares	6 Metais não ferrosos e outras da metalurgia	6 Metais não ferrosos e outras da metalurgia
5 Ferro e aço	14 Serviços públicos	Ferro e aço			12 8000 Atividades de vigilância, segurança e investigação	Cimento	Cimento
5 321 Fabricação de aço e derivados	14 1203 Administração pública e segurança social	2491 Produção de ferro gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura			12 8532 Educação privada	Cerâmica	Cerâmica
	14 1201 Educação pública				12 8632 Saúde privada		
6 Metais não ferrosos e outras da metalurgia	14 1202 Saúde pública				12 9080 Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	7 Outras indústrias	7 Outras indústrias
6 319 Cimento		6 Metais não ferrosos e outras da metalurgia			12 9480 Organizações associativas e outros serviços pessoais	Outras indústrias	Outras indústrias
6 322 Metalurgia de metais não-ferrosos		6 792 Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos			12 9700 Serviços domésticos		
6 323 Produtos de metal - esolusive máquinas e equipamentos		6 2492 Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais					
		6 2500 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos					
7 Outras indústrias		7 Outras indústrias			13 Transporte	8 Papel e celulose	8 Papel e celulose
7 302 Produtos do fumo		7 1200 Fabricação de produtos do fumo			13 4900 Transporte terrestre	Papel e celulose	Papel e celulose
7 306 Produtos de madeira - esolusive móveis		7 1600 Fabricação de produtos da madeira			13 5000 Transporte aquaviário		
7 318 Artigos de borracha e plástico		7 2200 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico			13 5100 Transporte aéreo	9 Química	9 Química
7 324 Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos		7 2600 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos			13 5280 Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	Química	Química
7 325 Eletrodomésticos		7 2700 Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos					
7 326 Máquinas para escritório e equipamentos de informática		7 2800 Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos			14 Serviços públicos	10 Têxtil e vestuário	10 Têxtil e vestuário
7 327 Máquinas, aparelhos e materiais elétricos		7 2901 Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças			14 8400 Administração pública, defesa e segurança social	Têxtil	Têxtil
7 328 Material eletrônico e equipamentos de comunicações		7 2992 Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores			14 8591 Educação pública		
7 329 Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico		7 3000 Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores			14 8691 Saúde pública	11 Alimentos e bebidas	11 Alimentos e bebidas
7 330 Automóveis, camionetas e utilitários		7 3180 Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas				Alimentos e bebidas	Alimentos e bebidas
7 331 Caminhões e ônibus		7 3300 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos					
7 332 Peças e acessórios para veículos automotores		7 4180 Construção					
7 333 Outros equipamentos de transporte							
7 334 Móveis e produtos das indústrias diversas							
7 501 Construção							
8 Papel e celulose		8 Papel e celulose					
8 307 Celulose e produtos de papel		8 1700 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel					
8 308 Jornais, revistas, discos		8 1800 Impressão e reprodução de gravações					
9 Química		9 Química					
9 311 Produtos químicos		9 2091 Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros					
9 312 Fabricação de resina e elastômeros		9 2092 Fabricação de defensivos, desmistantes, tintas e químicos diversos					
9 313 Produtos farmacêuticos		9 2093 Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal					
9 314 Defensivos agrícolas		9 2100 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos					
9 315 Perfumaria, higiene e limpeza							
9 316 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas		10 Têxtil e vestuário					
9 317 Produtos e preparados químicos diversos		10 1300 Fabricação de produtos têxteis					
10 Têxtil e vestuário		10 1400 Confeção de artefatos do vestuário e acessórios					
10 303 Têxteis		10 1500 Fabricação de calçados e de artefatos de couro					
10 304 Artigos do vestuário e acessórios							
10 305 Artefatos de couro e calçados		11 Alimentos e bebidas					
		11 1091 Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca					
		11 1092 Fabricação e refino de açúcar					
		11 1093 Outros produtos alimentares					

Fonte: Elaboração própria, 2023.