

# **Método Simplificado para Estimação de Emissões de GHG em 51 e 68 Atividades Econômicas**

Felipe Morelli Da Silva<sup>1</sup>

## **Resumo**

Em 2014, Montoya et al. apresentaram um método para desagregar os dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 22 setores para 56 atividades econômicas. Além disso, eles mostraram como estimar as emissões de CO<sub>2</sub> para cada atividade. Nosso objetivo é adaptar esse método para 51 e 68 atividades (mais famílias) e, além do CO<sub>2</sub>, também estimar as emissões de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO, e SO<sub>2</sub>. Uma das vantagens do nosso método é que ele permite estimar as emissões de GHG anualmente, pois, ao invés de usar a tabela Matriz de Insumos e Produtos (MIP56) como Montoya et al. (2014), nós utilizamos as tabelas de Recursos e Usos (TRU51 e TRU68) para fazer as estimativas. A vantagem de estimar as emissões desagregadas usando o método do Montoya et al. (2014) ou o nosso frente à outras metodologias (por exemplo aquela adotada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e tratada aqui como oficial) é que, apesar de serem menos precisas, são mais rápidas e simples de serem feitas e podem servir de base até que os dados oficiais do MCTI estejam disponíveis<sup>2</sup>.

**Palavras-chave:** Emissões de GHG, Desagregação de dados, Tabelas de Recursos e Usos

## **Abstract**

In 2014, Montoya et al. presented a method to disaggregate data from the National Energy Balance (BEN) from 22 sectors to 56 economic activities. Additionally, they demonstrated how to estimate CO<sub>2</sub> emissions for each activity. Our objective is to adapt this method for 51 and 68 activities (plus households) and, in addition to CO<sub>2</sub>, also estimate emissions of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO, and SO<sub>2</sub>. One advantage of our method is that it allows for annual GHG emissions estimates, as we use the Supply and Use Tables (TRU51 e TRU68) instead of the Input-Output Table (MIP56) used by Montoya et al. (2014). The advantage of estimating disaggregated emissions using the method of Montoya et al. (2014) or ours compared to other methodologies (for example, the one adopted by the Ministry of Science, Technology and Innovation (MCTI) and considered official here) is that, despite being less precise, they are faster and simpler to perform and can serve as a basis until official MCTI data becomes available.

**Keywords:** GHG Emissions, Data Disaggregation, Resource and Use Tables

**Área de submissão:** 9 Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade

**Classificação JEL:** Q53, Q56 e C82

---

<sup>1</sup> Doutorando, Departamento de Economia, Universidade de Brasília - UnB, Brasil, autor correspondente: fms.morelli@gmail.com

<sup>2</sup> A divulgação dos dados de emissões pelo MCTI é realizada bianualmente. A última divulgação foi feita em 2022.

## 1) Introdução

O método proposto por Montoya, Lopes e Guilhoto (2014), a partir daqui chamado de método MLG, possibilita estimar as emissões do setor energético brasileiro, ou seja, as emissões geradas pelo consumo de produtos como diesel, etanol, etc (doravante chamados apenas de produtos energéticos) em processos como geração de energia, força motriz, iluminação, etc (doravante chamados de processos energéticos). A inovação do método deles foi estimar essas emissões para 56 setores econômicos.

Nosso objetivo é apresentar uma metodologia que possibilite estimar as emissões para 51 e 68 atividades e seja anual. Como nosso método de estimação das emissões do setor energético é uma adaptação do método MLG, primeiro vamos apresentar esse método. Para facilitar a compreensão, vamos dividir em duas partes: preparação dos dados e estimação das emissões propriamente ditas.

### 1.1) Método MLG (Montoya et al., 2014)

O método MLG utiliza três informações básicas: matriz de Balanço energético Nacional (BEN), matriz de fatores de emissões (E&E) e matriz de Insumo e Produto (MIP56).

A matriz BEN estima o consumo de 26 produtos energéticos (i) para 22 setores da economia (j). Ela é produzida anualmente pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME) e esse consumo é medido em Toneladas Equivalente de Petróleo (TEP) (EPE, 2023).

A matriz (E&E) contém fatores para converter a matriz (BEN) em uma matriz de emissões (E), ou seja, o produto elemento por elemento dessas duas matrizes gera uma terceira matriz que é a quantidade de emissões (E) ( $BEN \odot E\&E = E$ ). Ela foi estimada em 2001 Pela parceria entre Ministério de Ciências e Tecnologia (MCTI) e a ONG Economia e Energia (E&E) e usa os coeficientes do Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC (revisão de 1996); adaptados para as condições brasileiras quando possível. Sua unidade é (Gg/tep), onde (Gg) simboliza 1.000 toneladas de emissões. Os gases considerados são: CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO e SO<sub>2</sub> (E&E, 2001).

Por último, a matriz MIP56 tem 56 setores e 107 produtos e é estimada a cada 5 anos pelo IBGE (2023). Mais precisamente, o que é utilizado da MIP é o consumo intermediário dos setores em valores nominais a preços de mercado (BRL).

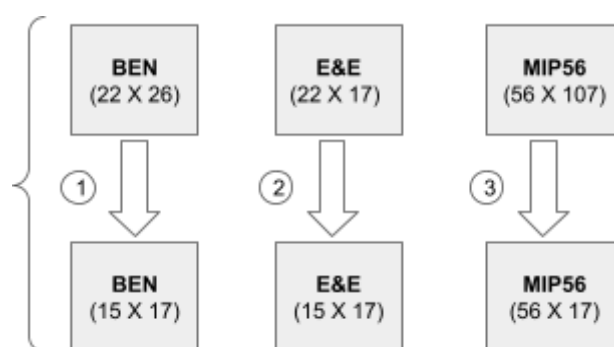
Para simplificar a explicação do método de estimação de emissões, vamos dividi-lo em duas partes: preparação dos dados e estimação propriamente dita.

#### 1.1.1) Preparação dos dados

A preparação dos dados no método MLG consiste em modificar as três bases de dados (BEN, E&E e a MIP56) para torná-las compatíveis; em outras palavras, cada uma delas deve ter os

mesmos setores e os mesmos produtos. Para isso podemos subdividir a preparação dos dados em três passos principais:

- 1) Na matriz BEN, selecionar apenas produtos que emitam GHG (reduzir número de produtos de 26 para 17). Selecionar também apenas setores possíveis de serem identificados; ou seja, excluir o setor “consumo não identificado” (portanto, reduzir o número de setores de 22 para 21). Também é preciso agregar alguns setores a fim de tornar a matriz BEN compatível com as demais. Os setores agregados são: ‘setor de transporte total’ ( ‘Rodoviária’ + ‘aéreo’ + ‘hidroviário’ + ‘Rodoviário’) e ‘setor Produção de Ferro’ ( ‘Ferro Liga’ + ‘Ferro Gusa’).
- 2) Os setores e produtos da matriz (BEN) e da matriz (E&E) são equivalentes; sendo assim, todas as mudanças feitas na primeira devem se repetir na segunda matriz. A diferença é apenas com relação àqueles setores que devem ser agregados. Na matriz BEN a agregação significa a soma dos valores TEP, já na matriz E&E significa encontrar a média dos coeficientes de emissões.
- 3) Os setores<sup>3</sup> da tabela MIP56 se mantêm constantes, já os produtos são reduzidos de 107 para 17. Ou seja, são selecionados apenas aqueles produtos que geram emissões e tem correspondência na matriz BEN. Para fazer esse filtro, usa-se a Tabela 1 dos anexos.



### 1.1.2 Estimação das emissões

Para encontrar as emissões de cada setor, basta multiplicar a matriz BEN pela matriz E&E (produto por produto). Porém, essas duas tabelas tem apenas 15 setores e gostaríamos de um resultado com 56 setores. A solução que Montoya et al (2014). propõe é usar os dados da MIP56 para converter os 15 setores da BEN em 56 setores. Depois de estimativa da matriz BEN com 56 setores, aplica-se os coeficientes de emissão para encontrar a emissão final. Os passos a seguir mostram como isso pode ser feito.

Para tornar a explicação mais simples, vamos considerar apenas um setor (J) e seus subsetores (atividades) correspondentes (j). A partir de agora a palavra ‘setor’ e o símbolo (J) se referem a um dos 15 setores das matrizes BEN e E&E, já a palavra ‘subsetor’ e o símbolo (j) se referem às atividades da matriz MIP56 correspondentes aos setores (J) (a tabela A.1 do artigo do Montoya et al. (2014) mostra essa correspondência para todos os setores).

---

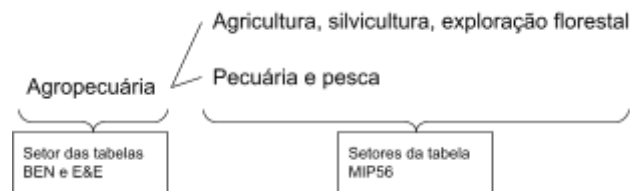
<sup>3</sup> O mais correto é utilizar o termo ‘atividade econômica’ ou ‘subsetor’, e não ‘setor’ quando estivermos tratando dos dados do IBGE (MIP e TRU).

- 1) O primeiro passo é utilizar a matriz MIP56 para encontrar os coeficientes de distribuição para um determinado setor (J),  $CD_J$ . Para isso, basta utilizar a seguinte fórmula matricial:

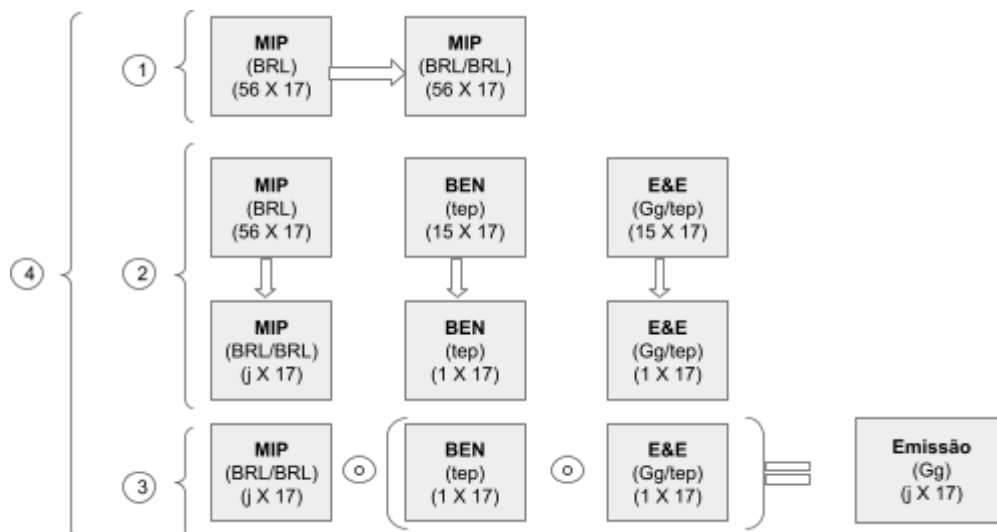
$$CD_J = MIP56_{(j,17)} * (diag(MIP56_{(j,1)}))^{-1}$$

$(CD_J)$  é a matriz de coeficientes de distribuição para o setor (J) e subsetores (j) (linhas) e para os 17 produtos (colunas).  $(MIP56_{(j,17)})$  é a matriz MIP56 apenas para o setor (J), subsetores (j) (linhas) e 17 produtos (colunas).  $(MIP56_{(1,17)})$  é o vetor de consumo intermediário total do setor (J) para os produtos energéticos, ou seja, é a soma das linhas da matriz  $MIP56_{(j,17)}$ . Repetindo esse processo para os 15 setores (J) e concatenando os resultados encontramos a matriz de coeficientes de distribuição ( $CD_{(56,17)}$ ).

- 2) Reduzir as matrizes para um único setor de preferência. (j) sempre será maior ou igual a um. Por exemplo, no caso do setor agropecuária, (j) será igual à (2):



- 3) Estimar as emissões para os setores (j), ou seja, o produto elemento por elemento das matrizes  $CD_{(j,17)}$ ,  $E\&E_{(1,17)}$  e  $BEN_{(1,17)}$ . Lembrando que ‘setor’ sempre irá se referir a um dos (15) setores (BEN) e (E&E), já ‘subsetor’ se refere a um dos (56) setores (ou atividades) da matriz MIP.
- 4) Estimar as emissões para os 15 setores, concatenar os dados e obter a matriz de emissões (E) final com 56 setores e 17 produtos.



### **1.1.3) Problema do método MLG**

O método do Montoya et al. (2014) tem basicamente três limitações; o primeiro deles é a periodicidade da divulgação da matriz MIP56, que acontece apenas de 5 em 5 anos. Isso quer dizer que a matriz de coeficientes de distribuição CD é precisa apenas para o ano de divulgação da MIP56 e, portanto, deve ser usada com ressalvas para os outros anos.

O segundo problema é o tratamento proposto pelos autores para lidar com os dados faltantes. Quando não há dados na MIP56 para criar os coeficientes de distribuição, a solução proposta por Montoya et al. (2014) é alocar essa emissão para outro setor. Por exemplo, pela MIP, o consumo de Carvão mineral pelo setor Papel e Celulose em (2013) foi nulo. Por outro lado, pela tabela BEN, o consumo deste produto foi de 124 tep. Como não há dados de consumo intermediário (BRL) para gerar os coeficientes de distribuição nesse caso, a proposta dos autores é alocar as emissões do setor Carvão mineral para o setor Energia.

O terceiro problema ocorre quando o número de setores é mais desagregados do que o número de atividades. Por exemplo, os setores ‘Rodoviário’, ‘ferroviário’, ‘hidroviário’ e ‘aéreo’ devem ser todos agregados para compor a atividade ‘transporte terrestre’. Nesse caso, Montoya et al. (2014) utilizam um fator de conversão igual à média dos fatores dos setores. Isso gera emissões por atividade maiores ou menores do que as realmente observadas.

A seguir eu explico a proposta de metodologia para lidar com esses três problemas metodológicos.

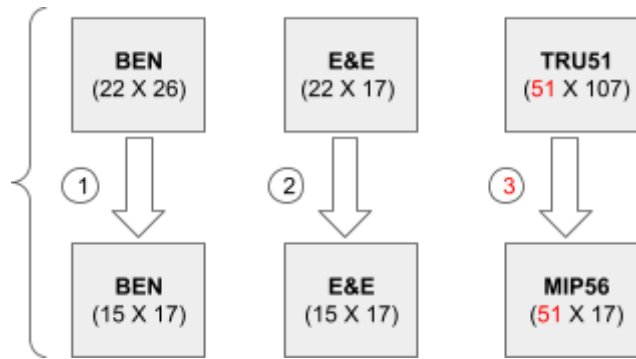
## **2) Metodologia**

Propomos uma metodologia para lidar com três problemas identificados na desagregação dos dados de emissões do setor energético brasileiro. A primeira adaptação do método MLG consiste em utilizar a tabela TRU51 ao invés da MIP56 e não distribuir as emissões entre setores quando não houver consumo intermediário. Essa alteração simplifica a implementação e permite estimativas anuais, utilizando médias de coeficientes de distribuição quando necessário. A segunda adaptação aborda a questão dos setores mais desagregados, utilizando dados da TRU51 para distribuir emissões, mantendo a precisão ao evitar a média de fatores de emissão. Criamos o pacote BenToTru em Python para facilitar essas estimativas tanto para 51 quanto para 68 atividades. Para verificar a precisão das nossas estimativas, comparamos nossos resultados com os dados oficiais do MCTI, ajustando coeficientes para minimizar diferenças entre as séries históricas.

### **2.1 Novo Método 1 (não-exato)**

Inicialmente eu proponho duas alterações no método MLG: a primeira é utilizar a tabela TRU51 ao invés da MIP56, a segunda é não distribuir as emissões entre os setores diferentes, mesmo quando não haja consumo intermediário pela TRU51.

A preparação dos dados segue os mesmos passos apresentados no MLG, mas agora utilizamos dicionários específicos para selecionar os produtos fontes de energia e de emissões (tabelas 1 e 2 nos anexos respectivamente).



A grande diferença é que, para um determinado setor (J) e produto (i) que não possui consumo pela tabela (TRU51) (portanto impossível de estimar os coeficiente de distribuição pelo método MLG), os coeficientes de distribuição serão estimados através da média dos outros coeficientes para o mesmo ano e o mesmo setor:

$$\alpha_{i,j,t} = \sum_{k=1}^K \frac{\alpha_{k,j,t}}{K}$$

( $\alpha_{i,j,t}$ ) é o coeficiente de distribuição para o produto (i), atividade (j) e ano (t). (K) é o número de produtos com coeficientes de distribuição observáveis para o setor (j) e ano (t). (k) são os produtos diferentes de (i).

As vantagens desse novo método são:

- 1) Mantém as emissões nos setores corretos, pois a TRU e a MIP não devem ser usadas para realocar emissões entre setores, mas apenas distribuir as emissões dentro de um mesmo setor (entre atividades diferentes).
- 2) Como a tabela TRU51 e as tabelas BEN22 são divulgadas anualmente, é possível estimar os coeficientes de distribuição e as emissões também anualmente.
- 3) A solução que propomos para encontrar os coeficientes faltantes (média) é mais simples de ser implementada computacionalmente que a solução proposta no modelo MLG (redistribuição da tep).

## 2.2) Novo método 2 (exato)

Para solucionar o terceiro problema do método MLG — aquele envolvendo setores mais desagregados do que atividades — é preciso desenvolver uma nova forma de estimar as emissões. Nesse caso, a ideia do novo método é utilizar os dados da TRU51 para distribuir as emissões, e não os valores tep dos setores. A vantagem nesse caso é que as emissões totais serão as mesmas, tanto na estrutura com 22 setores quanto na estrutura com 51 atividades, pois não será preciso estimar coeficientes médios de distribuição.

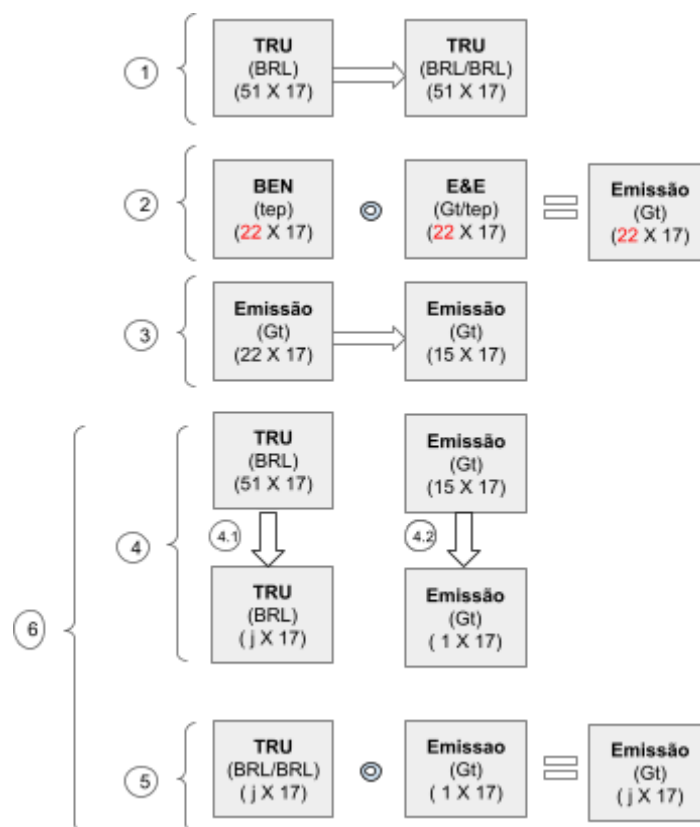
Essa solução só é possível porque, quando ocorre do número de setores ser maior do que o número de atividades, o número de atividades é sempre igual a um, ou seja, não é preciso usar a tabela MIP56 ou TRU51 nesses casos.

Método MLG				Novo Método 2			
Consumo por setor (tep)	Consumo por atividade (tep)	Fator de Emissão (Gt/tep)	Emissão por atividade (Gt)	Consumo por setor (tep)	Fator de Emissão (Gt/tep)	Emissão (Gt)	Emissão por atividade (Gt)
BEN(1,1)	BEN(1,1)	E&E(1,1)	[BEN(1,1)+ BEN(2,1)]*[ E&E(1,1) + E&E(2,1)]/2	BEN(1,1)	E&E(1,1)	E(1,1)	E(1,1) + E(2,1)
BEN(2,1)	BEN(2,1)	E&E(2,1)		BEN(2,1)	E&E(2,1)	E(2,1)	

Perceba que a emissão por atividade não é igual nos dois métodos , sendo a segunda estimativa mais precisa.

Uma alternativa é utilizar a matriz de coeficientes para distribuir as emissões e não os valores tep. Para simplificar a explicação do método, acompanhe o passo a passo seguinte:

- 1) Estimar a matriz de coeficientes de distribuição normalmente
- 2) Estimar a matriz de emissões sem agregar os fatores de emissão (média) ou os valores tep (produto elemento por elemento).
- 3) Agregar a matriz de emissões (somar as emissões) para reduzir o número de setores de 22 para 15.
- 4) Selecionar apenas o setor J das matrizes (ex: Agropecuária)(usar dicionários 1 e 2 nos anexos).
- 5) Usar a matriz de coeficientes de distribuição para estimar as emissões por subsetor (produto elemento por elemento).
- 6) Repetir o loop para todos os subsetores J.



Dessa forma, estaremos distribuindo toda a emissão gerada pelos setores energéticos em 51 subsetores. Além disso, as distribuições dentro de um mesmo setor (J) continuam sendo precisas pois estamos aplicando o método para cada produto (i), ou seja, não é preciso fazer a média dos fatores de emissão (é por isso que não podemos usar os coeficientes de distribuição para desagregar os dados de emissão final divulgados pelo MCTI, eles contêm emissões geradas por produtos diferentes e uma atividade (j) pode ter consumido mais de um produto do que outra atividade (k)).

Como já explicado, esse problema de precisão no método MLG ocorre quando dois ou mais setores BEN devem ser agregados, pois eles correspondem a uma única atividade TRU. Portanto, se aumentarmos o número de atividades, reduzimos esse problema de agregação. Por isso propomos desagregar os dados do BEN e estimar as emissões também para 68 atividades da economia, e não apenas 51.

Os passos para desagregar os dados BEN e estimar as emissões para 68 são os mesmos passos para 51 setores. As únicas mudanças são as tabelas de correspondência entre setores e produtos (tabelas 3 e 4 dos anexos respectivamente).

Para facilitar todas essas estimações, tanto do método 1 (não exato) quanto do método 2 (exato) e para ambos os níveis de desagregação (51 ou 68 atividades), nós criamos o pacote BenToTru usando python e que pode ser consultado aqui ([BenToTru](#)).

### 2.3) Verificação dos Resultados

Para verificar se nossas estimativas de emissões estão corretas, uma alternativa é compará-las com estimativas que usaram métodos diferentes; como a do MCTI .



Em 2020, através do Relatório de Referências, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) divulgou as emissões oficiais do setor de energia, de forma agregada e separados apenas por setores do IPCC.

Se nossas emissões estiverem corretas, a sua correlação com os dados do MCTI deve ser elevada. Só devemos tomar cuidado de agregar corretamente os dados; para isso, basta utilizar as tabelas 5 e 6 dos anexos.

A tabela seguinte mostra a correlação entre entre nossas estimativas e as estimativas do MCTI. A maioria das correlações estão acima de 95%. Quando retiramos as emissões geradas pelo produto ‘Eletricidade’ (pois o MCTI não considera essa fonte de emissões), essa correlação é ainda maior. Cabe ressaltar também que muitas das correlações baixas se devem apenas à presença de outliers.

<b>Setor BEN (estrutura com 68 atividades)</b>	<b>Correlação</b>	<b>Setor BEN (estrutura com 51 atividades)</b>	<b>Correlação</b>
AGROPECUÁRIO	99.06%	AGROPECUÁRIO	58.23%
SETOR ENERGÉTICO	37.62%	SETOR ENERGÉTICO	76.19%
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	99.97%	MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	98.94%
ALIMENTOS E BEBIDAS	66.11%	ALIMENTOS E BEBIDAS	74.33%
OUTROS	99.84%	TÊXTIL	99.35%
TÊXTIL	99.56%	PAPEL E CELULOSE	70.13%
PAPEL E CELULOSE	89.08%	QUÍMICA	98.62%
QUÍMICA	97.26%	CIMENTO + CERÂMICA	98.75%
CIMENTO + CERÂMICA	98.23%	FERRO-LIGAS + FERRO-GUSA E AÇO	74.83%
FERRO-LIGAS + FERRO-GUSA E AÇO	78.63%	NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	99.26%
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	98.78%	OUTROS	50.50%
COMERCIAL + PÚBLICO	90.97%	AÉREO + RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO + HIDROVIÁRIO	98.80%
RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO	84.60%	COMERCIAL + PÚBLICO	99.77%
HIDROVIÁRIO	85.56%	RESIDENCIAL	26.54%
AÉREO	98.51%		
RESIDENCIAL	91.76%		

Esses dados são um forte indicativo de que nossas estimativas por atividade econômica (51 e 68) e por produto estão corretas.

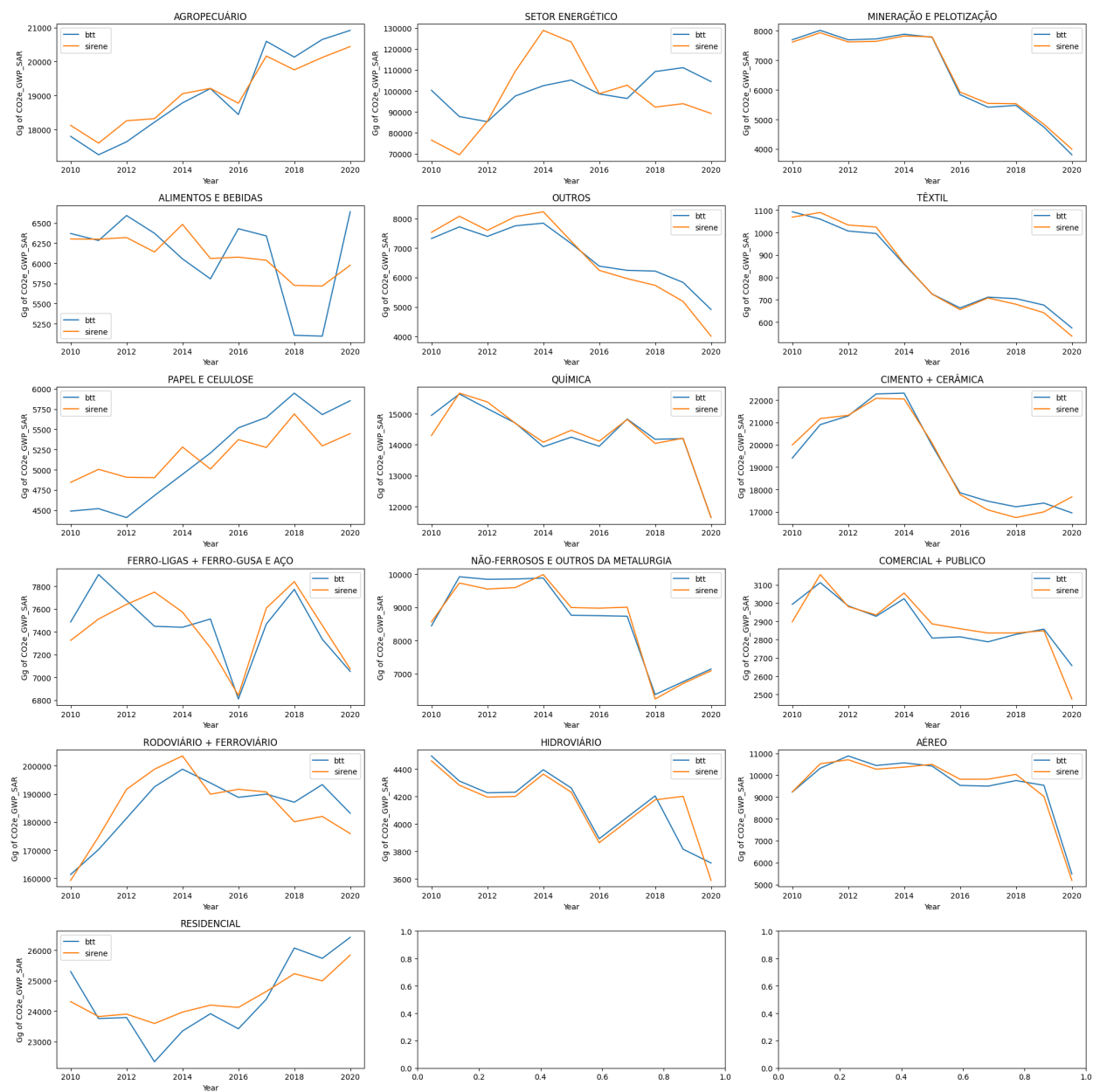
Apesar da elevada correlação, os nossos dados não estão equiparáveis em nível com os dados do MCTI. Um possível motivo é que o MCTI divulga suas emissões em termos de quantidade de carbono, enquanto nós estimamos em termos de CO<sub>2</sub>. Outro motivo é a escala dos dados apresentados (em toneladas ou Gg toneladas). Um terceiro fator, esse mais importante, são os próprios fatores de conversão usados pelo MCTI (mais atualizados e detalhados por tipo de uso do combustível).

Para resolver esse problema, estimamos coeficientes de correção para nossos dados usando os dados oficiais do MCTI. Foram feitas regressões lineares para encontrar os coeficientes que minimizam os erros entre as duas séries. Para os dados desagregados em 51 setores, utilizamos a série histórica entre 2000 e 2020. Para os dados desagregados em 68 setores, utilizamos a série histórica entre 2010 e 2020.

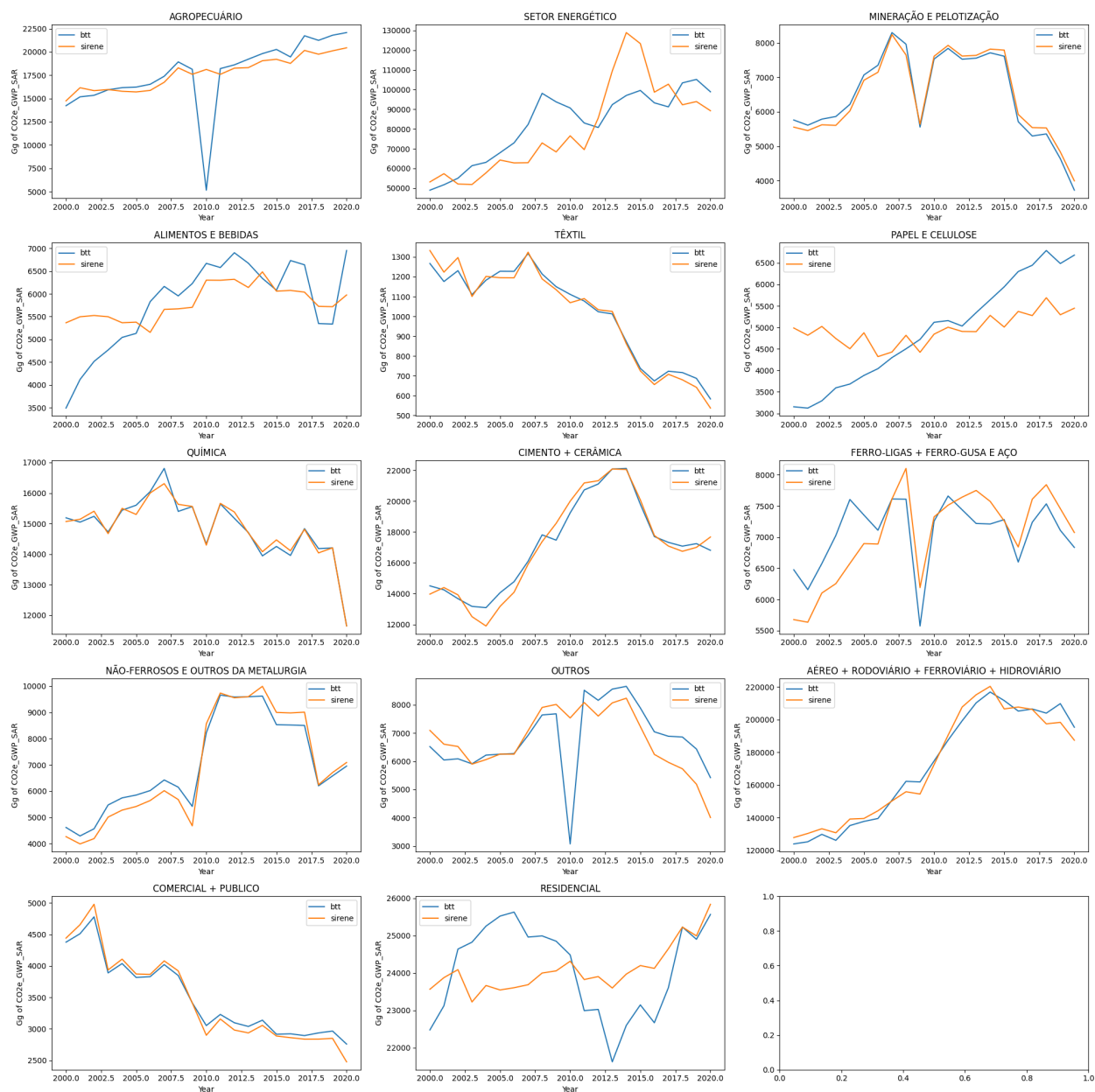
<b>Setor BEN (estrutura com 68 atividades)</b>	<b>Coeficiente de ajuste</b>	<b>Setor BEN (estrutura com 51 atividades)</b>	<b>Coeficiente de ajuste</b>
AGROPECUÁRIO	0.001982	AGROPECUÁRIO	0.002092
SETOR ENERGÉTICO	0.0036	SETOR ENERGÉTICO	0.003407
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0.003462	MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0.003389
ALIMENTOS E BEBIDAS	0.000207	ALIMENTOS E BEBIDAS	0.000217
OUTROS	0.002027	TÊXTIL	0.002357
TÊXTIL	0.002319	PAPEL E CELULOSE	0.000528
PAPEL E CELULOSE	0.000463	QUÍMICA	0.003133
QUÍMICA	0.003131	CIMENTO + CERÂMICA	0.002174
CIMENTO + CERÂMICA	0.002193	FERRO-LIGAS + FERRO-GUSA E AÇO	0.000376
FERRO-LIGAS + FERRO-GUSA E AÇO	0.000388	NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	0.002388
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	0.002454	OUTROS	0.002235
COMERCIAL + PÚBLICO	0.002626	AÉREO + RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO + HIDROVIÁRIO	0.002835
RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO	0.002784	COMERCIAL + PÚBLICO	0.002724
HIDROVIÁRIO	0.003145	RESIDENCIAL	0.466169
AÉREO	0.00289		
RESIDENCIAL	0.481715		

Os gráficos a seguir mostram que, aplicando esses coeficientes de correção às nossas séries, elas se comportam de forma muito parecida com as séries do MCTI. Para simplificar, chamamos a metodologia do MCTI de ‘Sirene’, um acrônimo para ‘Sistema de Registro Nacional de Emissões’, e a nossa metodologia exata de ‘btt’, outro acrônimo para ‘balanço energético para TRU’.

## Gráficos comparando os métodos (sirene) e (btt) em uma estrutura de 68 setores (2010 a 2020)



## Gráficos comparando os métodos (sirene) e (btt) em uma estrutura de 51 setores (2000 a 2020)



Lembre que existem três principais diferenças entre o nosso método (btt) e o método do MCTI (sirene) para estimar emissões. O primeiro deles é que o método (sirene) utiliza fatores de conversão mais precisos e condizentes com a realidade brasileira, enquanto nós utilizamos fatores propostos pelo IPCC (1996) e ajustados em (2000) pela ong E&E. Segundo, o método (sirene) usa fatores de conversão específicos por atividade, produto, destinação e em alguns casos ano. Nossos fatores são mais simples e específicos apenas para atividade e produto. A terceira diferença é que o método sirene é mais complexo, depende de mais informações e, portanto, tem uma defasagem maior do que o nosso método proposto; pois dependemos apenas dos dados do BEN que são informados anualmente.

Apesar do nosso método ser mais simples, ele se mostrou bastante similar ao método (sirene). Outra vantagem é que, no nosso método, a emissão está dividida em 51 e 68 atividades (+residências), o que possibilita usar esses dados junto com outras informações econômicas.

Por fim, é possível usar os nossos dados de emissão indiretamente, ou seja, utilizá-los apenas como coeficientes para converter os dados oficiais de emissões, aqueles gerados pelo MCTI e que estão em uma estrutura setorial, para uma nova estrutura com 51 ou 68 atividades.

## **Conclusões**

Nosso método (btt) para estimar as emissões de GHG se baseia em modificações significativas no método proposto por Montoya et al. (2014). Primeiramente, utilizamos a tabela TRU51 ao invés da MIP56, e não distribuímos as emissões entre setores quando não há consumo intermediário pela TRU51, simplificando a implementação e permitindo estimativas anuais. Para setores e produtos sem consumo registrado, estimamos os coeficientes de distribuição pela média dos coeficientes observáveis para o mesmo setor e ano, facilitando a execução computacional.

Além dessas adaptações, desenvolvemos um novo método para lidar com a desagregação em setores mais específicos do que atividades, utilizando dados da TRU51 para distribuir as emissões e mantendo a precisão ao evitar a média dos fatores de emissão. Com a criação do pacote BenToTru em Python, facilitamos as estimativas tanto para 51 quanto para 68 atividades.

Comparando com o método do MCTI (sirene), destacam-se três principais diferenças: o uso de fatores de conversão mais precisos no sirene, a aplicação de fatores específicos por atividade, produto e ano, e a maior complexidade e defasagem temporal do método sirene. Apesar dessas diferenças, nosso método demonstrou alta similaridade com o sirene, especialmente na correlação das emissões estimadas.

A vantagem do nosso método reside na desagregação das emissões em 51 e 68 atividades (mais residências), possibilitando o uso desses dados em análises econômicas e ambientais detalhadas e atualizadas. Além disso, nossos dados podem ser utilizados como coeficientes para converter os dados oficiais de emissões do MCTI para estruturas mais detalhadas, tornando nosso método uma ferramenta valiosa para estudos avançados em emissões e economia.

## Referências

- Economia e Energia (E&E). (2001). *COEFICIENTES DA MATRIZ DE EMISSÕES*.  
[http://ecen.com/matriz/eee24/coef\\_mat.htm](http://ecen.com/matriz/eee24/coef_mat.htm)
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2023, September 24). *Balanço Energético Nacional*. EPE.  
<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>
- IBGE. (n.d.). *Matriz de Insumo-Produto*. IBGE. Retrieved August 25, 2023, from  
<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?=&t=sobre>
- MCTI. (2020). *Relatório de Referências*. Ministério Da Ciência, Tecnologia e Inovação.  
<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-de-referencia-setorial>
- Montoya, M. A., Lopes, R. L., & Guilhoto, J. J. M. (2014). Desagregação setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: Uma avaliação metodológica. *Economia Aplicada*, 18(3), 379–419. <https://doi.org/10.1590/1413-8050/ea463>

## Anexos

**Tabela 1**

A tabela 1 mostra a relação entre produtos da matriz BEN e os produtos da matriz MIP56. Para maiores detalhes, consulte a tabela original em Montoya et al. (2014).

<b>Produto BEN</b>	<b>Produto MIP56</b>
GÁS NATURAL	Petróleo e gás natural
CARVÃO VAPOR	Carvão mineral
LENHA	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
PRODUTOS DA CANA	Produtos das usinas e do refino de açúcar
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
ÓLEO DIESEL	Óleo diesel
ÓLEO COMBUSTÍVEL	Óleo combustível
GASOLINA	Gasoálcool
GLP	Gás liquefeito de petróleo
QUEROSENE	Outros produtos do refino de petróleo e coque
GÁS DE CIDADE E DE COQUERIA	Produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana
COQUE DE CARVÃO MINERAL	Carvão mineral
ELETRICIDADE	Produção e distribuição de eletricidade gás água esgoto e limpeza urbana
CARVÃO VEGETAL	Produtos químicos orgânicos
ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO E HIDRATADO	Álcool
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	Outros produtos do refino de petróleo e coque
ALCATRÃO	Carvão mineral

**Tabela 2**

O objetivo principal é criar uma correspondência entre os 22 setores produtivos do Balanço Energético Nacional (BEN) e os 56 setores da Matriz Insumo Produto (MIP) disponibilizada pelo IBGE. Essa correspondência já foi criada por Montoya et al. (2014) e adotada pelo MCTI. Consulte a tabela 25 do quarto Relatório de Referências (RR) para o setor de energia e disponibilizado aqui: ([Relatórios de Referência Setorial](#)). Cabe lembrar que a MIP56 está baseada no CNAE2.0.

Atividade de (MIP56)	Setor BEN	Atividade de (MIP56)	Setor BEN	Atividade de (MIP56)	Setor BEN
1	Agropecuários	19	Química	37	Outras Indústrias
2	Agropecuários	20	Química	38	Outras Indústrias
3	Energético	21	Química	39	Outras Indústrias
14	Energético	22	Química	41	Outras Indústrias
15	Energético	23	Química	42	Comercial
40	Energético	24	Cimento	44	Comercial
4	Mineração e Pelotização	25	Cerâmica	45	Comercial
5	Mineração e Pelotização	26	Ferroligas	46	Comercial
6	Alimentos e Bebidas	26	Ferro-Gusa e Aço	47	Comercial
7	Alimentos e Bebidas	27	Não Ferrosos e Outros Metálicos	48	Comercial
8	Têxtil	28	Não Ferrosos e Outros Metálicos	49	Comercial
9	Têxtil	29	Outras Indústrias	50	Comercial
10	Têxtil	30	Outras Indústrias	51	Comercial
11	Papel e Celulose	31	Outras Indústrias	52	Comercial
12	Papel e Celulose	32	Outras Indústrias	53	Comercial
13	Papel e Celulose	33	Outras Indústrias	43	Transporte Total
16	Química	34	Outras Indústrias	54	Público
17	Química	35	Outras Indústrias	55	Público
18	Química	36	Outras Indústrias	56	Público



**Tabela 3**

Montoya et al. (2013) propõem uma correspondência entre os produtos MIP56 e BEN. Eu apenas ajustei esses dados para uma correspondência TRUE68 e BEN.

<b>produto BEN</b>	<b>produto TRU68</b>
GÁS NATURAL	Petróleo, gás natural e serviços de apoio
CARVÃO VAPOR	Carvão mineral
LENHA	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
PRODUTOS DA CANA	Etanol e outros biocombustíveis
OUTRAS FONTES PRIMÁRIAS	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
ÓLEO DIESEL	Diesel – biodiesel
ÓLEO COMBUSTÍVEL	Óleo combustível
GASOLINA	Gasoálcool
GLP	Outros produtos do refino do petróleo
QUEROSENE	Outros produtos do refino do petróleo
GÁS DE CIDADE E DE COQUERIA	Eletricidade, gás e outras utilidades
COQUE DE CARVÃO MINERAL	Carvão mineral
ELETRICIDADE	Eletricidade, gás e outras utilidades
CARVÃO VEGETAL	Produtos químicos orgânicos
ÁLCOOL ETÍLICO ANIDRO E HIDRATADO	Etanol e outros biocombustíveis
OUTRAS SECUNDÁRIAS DE PETRÓLEO	Outros produtos do refino do petróleo
ALCATRÃO	Carvão mineral

**Tabela 4**

A EPE divulgou quais códigos CNAE2.0 compõem cada setor ([aqui](#)), já o IBGE divulgou quais códigos CNAE2.0 compõem cada atividade econômica da TRU68 ([aqui](#)). Essas duas informações foram utilizadas para criar a correspondência final entre CNAE2.0, TRU68 e BEN.

atividade e TRU68	Setor BEN	atividade e TRU68	Setor BEN	atividade e TRU68	Setor BEN
191	agropecuário	2100	outros	5500	comerci al
192	agropecuário	2200	outros	5600	comerci al
280	agropecuário	2300	cimento + cerâmica	5800	comerci al
580	setor energético	2491	ferro-ligas + ferro-gusa e aço	5980	comerci al
680	setor energético	2492	não-ferrosos e outros da metalurgia	6100	comerci al
791	mineração e pelotização	2500	não-ferrosos e outros da metalurgia	6280	comerci al
792	mineração e pelotização	2600	outros	6480	comerci al
1091	alimentos e bebidas	2700	outros	6800	comerci al
1092	alimentos e bebidas	2800	outros	6980	comerci al
1093	alimentos e bebidas	2991	outros	7180	comerci al
1100	alimentos e bebidas	2992	outros	7380	comerci al
1200	outros	3000	outros	7700	comerci al
1300	têxtil	3180	outros	7880	comerci al
1400	outros	3300	outros	8000	comerci al

1500	outros	3500	setor energético	8400	público
1600	outros	3680	público	8591	público
1700	papel e celulose	4180	outros	8592	comercial
1800	outros	4500	comercial	8691	público
1991	setor energético	4680	comercial	8692	comercial
1992	setor energético	4900	rodoviário + ferroviário	9080	comercial
2091	química	5000	hidroviário	9480	comercial
2092	química	5100	aéreo	9700	comercial
2093	química	5280	comercial		

**Tabela 5**

Correspondência entre setores BEN (estrutura com 51 atividades) e setores IPCC.

Setor BEN	Setor IPCC
SETOR ENERGÉTICO	1.A.1.a. Produção de eletricidade e calor como atividade principal
SETOR ENERGÉTICO	1.A.1.b. Refino de petróleo
SETOR ENERGÉTICO	1.A.1.c. Produção de combustíveis sólidos e outras indústrias de energia
FERRO-LIGAS + FERRO-GUSA E AÇO	1.A.2.a. Ferro e aço
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	1.A.2.b. Metais não ferrosos
QUÍMICA	1.A.2.c. Produtos químicos
PAPEL E CELULOSE	1.A.2.d. Celulose, papel e impressão
ALIMENTOS E BEBIDAS	1.A.2.e. Processamento de alimentos, bebidas e tabaco
CIMENTO + CERÂMICA	1.A.2.f. Minerais não metálicos
OUTROS	1.A.2.g. Equipamentos de transporte
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	1.A.2.i. Mineração (exceto combustíveis) e extração
TÊXTIL	1.A.2.l. Têxtil e couro
AÉREO + RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO + HIDROVIÁRIO	1.A.3. Transporte
COMERCIAL + PÚBLICO	1.A.4.a. Comercial / institucional
AGROPECUÁRIO	1.A.4.c. Agricultura / silvicultura / pesca / piscicultura
SETOR ENERGÉTICO	1.B.1. Combustíveis sólidos

SETOR ENERGÉTICO	1.B.2. Petróleo e Gás Natural
RESIDENCIAL	1.A.4.b. Residencial

**Tabela 6**

Correspondência entre setores BEN (estrutura com 68 atividades) e setores IPCC.

setor BEN	setor IPCC
SETOR ENERGÉTICO	1.A.1.a. Produção de eletricidade e calor como atividade principal
SETOR ENERGÉTICO	1.A.1.b. Refino de petróleo
SETOR ENERGÉTICO	1.A.1.c. Produção de combustíveis sólidos e outras indústrias de energia
FERRO-LIGAS + FERRO-GUSA E AÇO	1.A.2.a. Ferro e aço
NÃO-FERROSOS E OUTROS DA METALURGIA	1.A.2.b. Metais não ferrosos
QUÍMICA	1.A.2.c. Produtos químicos
PAPEL E CELULOSE	1.A.2.d. Celulose, papel e impressão
ALIMENTOS E BEBIDAS	1.A.2.e. Processamento de alimentos, bebidas e tabaco
CIMENTO + CERÂMICA	1.A.2.f. Minerais não metálicos
OUTROS	1.A.2.g. Equipamentos de transporte
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	1.A.2.i. Mineração (exceto combustíveis) e extração
TÊXTIL	1.A.2.l. Têxtil e couro
AÉREO	1.A.3.a.ii. Aviação doméstica
RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO	1.A.3.b. Transporte rodoviário
RODOVIÁRIO + FERROVIÁRIO	1.A.3.c. Transporte Ferroviário
HIDROVIÁRIO	1.A.3.d.ii. Navegação doméstica
COMERCIAL + PÚBLICO	1.A.4.a. Comercial / institucional
AGROPECUÁRIO	1.A.4.c. Agricultura / silvicultura / pesca / piscicultura
SETOR ENERGÉTICO	1.B.1. Combustíveis sólidos
SETOR ENERGÉTICO	1.B.2. Petróleo e Gás Natural
RESIDENCIAL	1.A.4.b. Residencial