

ANÁLISE INSUMO-PRODUTO AMBIENTAL: UMA APLICAÇÃO DO MODELO DE COMMODITIES ECOLÓGICAS NO APOIO A GESTÃO AMBIENTAL INTERSETORIAL

João Gabriel Lássio (*)

* Programa de Planejamento Energético (PPE) do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), joao.gabriel@ppe.ufrj.br.

RESUMO

Tendo em vista a utilidade da Análise Insumo-Produto Ambiental em construir análises mais descritivas sobre a relação da economia com o meio ambiente, o presente trabalho tem por objetivo empregar a através do modelo de Commodities Ecológicas de modo a explorar seu emprego no âmbito da gestão ambiental intersetorial e no apoio a formulação de políticas públicas voltadas para o meio ambiente. Com isso em mente, o trabalho fornece uma aplicação de tal modelo através de uma análise tanto das relações econômicas quanto do consumo de recursos e da geração de resíduos de 30 setores dos países europeus membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). As informações econômicas e ambientais necessárias foram coletadas junto à base de dados The Dutch Input Output Database 95. Além disso, lança luz sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e descortina as contribuições diretas e indiretas de cada setor econômico de modo a apoiar políticas de redução de emissões desses gases. A partir dos resultados obtidos, evidenciou-se uma significativa participação dos setores relacionados com a alimentação humana nos impactos sobre o meio ambiente. No que diz respeito às emissões de GEE, mais precisamente de CO₂, o fornecimento de energia elétrica se revelou como a atividade mais emissora deste gás.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Insumo-Produto, Commodities Ecológicas, Gestão ambiental, Políticas públicas, Gases de efeito estufa.

INTRODUÇÃO

À medida em que a população mundial aumenta, ela exige níveis de geração de bens e serviços cada vez maiores e, conseqüentemente, uma compreensão mais profunda sobre as relações entre os setores econômicos e o meio ambiente. Dentro deste contexto, caminhar em direção do almejado desenvolvimento sustentável significa empreender um progresso socioeconômico que respeite os limites ecológicos da biosfera. Isso requer uma análise e monitoramento do fluxo produtivo associado não só a oferta de recursos naturais, mas também a geração de resíduos (CASTELAO et al., 2019).

Nesse sentido, desde o final da década de 1960, o panorama da Análise de Insumo-Produto (AIP) vem se ampliando com intuito de contemplar dimensões de natureza mais qualitativa, tal como as questões ambientais. Cumberland (1966) foi pioneiro neste movimento ao propor um modelo de matriz insumo-produto (MIP) expandido, o qual considera valores para os custos e benefícios ambientais associados ao nível de atividade de cada setor econômico. Mais tarde, Leontief (1970) forneceu algumas extensões metodológicas relevantes para a AIP visando incluir o meio ambiente. Além destes autores, é importante destacar que existem outros que contribuíram para um desenvolvimento socioeconômico vinculado a manutenção da qualidade ambiental através de uma Análise de Insumo-Produto Ambiental (AIPA) (MIRANDA, 1980).

Tendo como base a MIP (LEONTIEF, 1936) – a qual se caracteriza, em linhas gerais, como uma estrutura de quadros que revela os elos de dependência e interdependência dos setores econômicos (ROSSETTI, 1995) – a AIPA tem contribuído na construção de análises mais descritivas sobre o impacto de variações nos níveis de produção sobre o meio ambiente. Deste modo, ao auxiliar na gestão dos problemas ambientais gerados pelo crescimento econômico, pode fornecer subsídios a gestão ambiental e a formulação de políticas públicas em prol da preservação e manutenção ambiental (CASTELAO et al., 2019; MIRANDA, 1980). Apesar disto, vale mencionar que há um número relativamente pequeno de publicações que tratam da AIPA com dados do Brasil quando comparado com o cenário internacional. Segundo Castelao et al. (2019), isso decorre da dificuldade de obtenção de dados para a construção de MIPs e da periodicidade quinquenal que o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) adota para a construção de matrizes nacionais.

Dentre os modelos baseados na MIP que visam delinear a relação entre a economia e o meio ambiente, o presente trabalho está focado nos modelos denominados Modelos Generalizados de Insumo-Produto (MGIP), mais especificamente, na abordagem de Commodities Ecológicas. Modelos deste tipo resultam do aumento de linhas e colunas da MIP, e seus respectivos coeficientes, a fim de se rastrear os impactos atrelados à produção intersetorial (MILLER & BLAIR, 2009).

OBJETIVO

Tendo em vista a utilidade da AIPA em construir análises que descrevem mais detalhadamente a relação da economia com o meio ambiente, o presente trabalho tem por objetivo específico empregar a abordagem de Commodities Ecológicas em um estudo de caso cuja aplicação levanta as relações dos setores econômicos de países europeus e seus impactos sobre o meio ambiente. De modo mais geral, visa explorar o emprego da AIPA no âmbito da gestão ambiental intersetorial e no apoio a formulação de políticas públicas voltadas para a preservação e manutenção do meio ambiente.

METODOLOGIA

• Metodologia utilizada no trabalho

Para o alcance do objetivo deste trabalho, aplica-se o modelo de AIPA de Commodities Ecológicas tanto nas relações econômicas quanto no consumo de recursos e geração de resíduos atrelados aos setores dos países europeus membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico¹ (OCDE). As informações acerca dos fatores econômicos e ambientais são provenientes da base de dados The Dutch Input Output Database 95 (GOEDKOOOP, 2004). Em linhas gerais, esta base de dados descreve o impacto ambiental associado ao fluxo monetário entre 30 setores² da região objeto de estudo. De posse destas informações, o modelo de Commodities Ecológicas é empregado para avaliar o comportamento do consumo de insumos ecológicos e da geração de produtos ecológicos (ver Tabela 1) em razão do aumento de \$1 milhão na demanda final dos 30 setores econômicos europeus considerados. Na medida em que é possível obter os resultados da combinação dos impactos ambientais diretos e indiretos de cada um destes setores, são estabelecidas as condições favoráveis para o planejamento de políticas públicas em benefício do meio ambiente em um país ou uma região. Neste sentido, o presente trabalho avança em uma análise na qual lança luz sobre as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e descortina as contribuições diretas e indiretas de cada setor de modo a apoiar políticas de redução de emissões destes gases. Ao longo do trabalho, recursos gráficos são utilizados para subsidiar as análises dos resultados obtidos.

Tabela 1. Relação de insumos e produtos ecológicos considerados. Fonte: Autor do trabalho.

Insumos ecológicos	Produtos ecológicos ³
Uso do solo	Emissões atmosféricas
Consumo de água	Emissões na água
Consumo de madeira	Emissões no solo
Consumo de peixe	Emissões imateriais

• Análise Insumo-Produto

Uma vez que o modelo de MIP, desenvolvido pelo economista russo Wassily Leontief (1936), descreve o fluxo monetário entre os setores produtivos de uma economia, ele permite identificar a dependência entre as suas atividades com relação aos insumos e produtos associados a cadeia produtiva dos mesmos (CASTELAO et al., 2019). De acordo com Guilhoto (2004), enquanto setores compram e vendem uns para os outros, um setor individual interage, tipicamente e diretamente, com um número relativamente pequeno de setores. Entretanto, devido à natureza desta dependência, pode-se mostrar que todos os setores estão interligados, direta ou indiretamente. Um modelo de MIP econômico representa a produção total (x_i) de um setor econômico i como sendo equivalente à sua produção total (z_{ij}) utilizada como insumo intermediário pelos outros setores ($j = 1, 2, 3, \dots, n$) mais a demanda final pelos seus produtos (y_i), conforme a equação (1).

$$x_i = z_{i1} + z_{i2} + z_{i3} + \dots + z_{in} + y_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i \quad \text{equação (1)}$$

¹ Bélgica, Irlanda, Luxemburgo, Grã-Bretanha, Alemanha, Dinamarca, França, Noruega, Espanha, Suécia, Portugal, Finlândia, Áustria, Islândia, Suíça, República Tcheca, Itália, Eslováquia, Grécia, Hungria e Turquia.

² Pecuária (S01); Agricultura (S02); Indústria de metais de base (S03); Bebidas e tabaco (S04); Indústria de materiais de construção (S05); Indústria de automóveis e transportes (S06); Indústria química, de borracha e plástico (S07); Extração de outros minerais (S08); Pesca (S09); Móveis e outras indústrias (S10); Horticultura (S11); Indústria de couro (S12); Indústria de máquinas e equipamentos elétricos (S13); Indústria de produtos de metal (S14); Indústria de petróleo (S15); Papel e papelão (S16); Produção de alimentos para humanos (com base em animais) (S17); Produção de outros alimentos para humanos (S18); Agricultura arável remanescente, silvicultura e caça (S19); Têxtil e vestuário (S20); Abastecimento público de água (S21); Indústria madeireira (S22); Companhias de eletricidade (S23); Distribuição de gás (S24); Extração de petróleo e gás (S25); Serviços de transporte (S26); Indústria de construção e instalações (S27); Serviços comerciais (S28); Serviço público e outros serviços (S29); e Comércio (S30).

³ Emissões atmosféricas: CO₂, CO, CH₄, NO_x, SO_x, N₂O, gases HFC e HCFC, compostos orgânicos voláteis não-metano, benzeno, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, metais pesados, material particulado (PM₁₀), etc.; Emissões na água e no solo: metais pesados, nitrogênio, fósforo, etc.; Devido à grande quantidade de produtos ecológicos considerados, a seção de resultados do presente trabalho se atém apenas aqueles de maior significância para cada um dos meios naturais afetados.

Utilizando a expressão abaixo:

$$z_{ij} = a_{ij} \cdot x_j \quad \text{equação (2)}$$

Onde a_{ij} é o coeficiente técnico que indica a quantidade de insumo do setor i necessária para a produção de uma unidade de produto final do setor j . A equação (2) pode, portanto, ser reescrita da seguinte forma:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j + y_i = x_i \quad \text{equação (3)}$$

Simplificando a equação (3), obtém-se em termos matriciais a equação (4).

$$Ax + y = x \quad \text{equação (4)}$$

Onde A é a matriz de coeficientes diretos de insumo de ordem n . Resolvendo a equação (4) é possível obter a produção total que é necessária para satisfazer a demanda final, ou seja,

$$x = (I - A)^{-1}y \quad \text{equação (5)}$$

Onde x representa o vetor da produção total x_i para cada setor i ; y corresponde ao vetor que contém a demanda final y_i de cada setor i ; I representa a matriz identidade de dimensões $n \times n$. A matriz $(I-A)^{-1}$ corresponde a matriz de coeficientes diretos e indiretos, ou a matriz de Leontief, onde cada entrada fornece a demanda total de saída de um setor associada a um aumento de uma unidade monetária na demanda final do setor associado. Segundo Canto (2014), a partir da equação (5), obtém-se o valor de cada um dos setores para atender à demanda final por um ou mais setores; entende-se que um setor usa insumo de outros setores para sua produção, e assim sucessivamente. Denomina-se efeito direto e indireto este procedimento em somar os insumos necessários de todos os setores para atender a demanda final.

• Análise Insumo-Produto Ambiental: Modelos Generalizados de Insumo-Produto (MGIP)

De acordo com Guilhoto (2004), a utilização de modelos de MIP em problemas de meio ambiente, como poluição e uso de recursos naturais, vem crescendo nos últimos anos. Para o autor, isto decorre não só do aumento da conscientização relativa à importância das questões ambientais, mas também do fato do instrumental da MIP ser o mais indicado tanto para a mensuração de impactos indiretos quanto para a consideração do uso de recursos naturais. Os impactos diretos correspondem a uma simples relação de causa e efeito e representam os impactos gerados no primeiro nível das cadeias de suprimentos dos setores; enquanto que os impactos indiretos fazem parte do restante da cadeia de suprimentos.

De fato, para Canto (2014), a utilização de modelos de MIP parece ser o modo mais adequado para identificar os verdadeiros responsáveis por impactos ambientais, já que os setores econômicos possuem certa interdependência, na esfera da produção e na geração de impactos. Dentro deste contexto, Miller & Blair (2009) fornecem alguns modelos considerados base, dentre os quais tem-se os MGPI que são aplicados em estudos de análises de impactos e planejamento ambiental (CASTELAO et al., 2019; MILLER & BLAIR, 2009).

• Commodities Ecológicas

Dentro da variação dos MGPI voltada para o planejamento, a abordagem de Commodities Ecológicas define o consumo de um conjunto de insumos ecológicos que corresponde a matriz M ; e a geração de um conjunto de produtos ecológicos que corresponde a matriz N . Deste modo, os coeficientes de $M = [m_{kj}]$ refletem a quantidade de insumo ecológico do tipo k necessário para a produção total do setor econômico j ; enquanto que os coeficientes de $N = [n_{kj}]$ refletem a quantidade de produto ecológico do tipo k gerado com a produção do setor j .

Para fins ilustrativos, Miller & Blair (2009) apresentam o Quadro 1 de insumos e produtos econômicos e ecológicos. Nele, pode-se observar o consumo intermediário entre setores econômicos (mensurados em unidades monetárias) e os insumos e produtos ecológicos (mensurados em unidades físicas). As matrizes de insumos – água e terra – e produtos – dióxido de enxofre (SO_2) e hidrocarbonetos (HC) – ecológicos correspondem as matrizes M (verde) e N (vermelho), respectivamente; enquanto que o consumo intermediário entre os setores é dado pela matriz Z (amarelo). A identificação dos elementos é concluída com o vetor f (cinza), correspondendo à demanda final, e com o vetor x (azul), cujos elementos são iguais a produção total de cada um dos setores.

Quadro 1. Fluxo de produtos econômico-ecológicos. Fonte: adaptado de Miller e Blair (2009).

	Transações intersetoriais			Demanda Final	Produção Total	Produtos Ecológicos	
	Setores Consumidores					SO ₂	HC
	Agricultura	Mineração	Indústria				
Setores Produtores							
Agricultura	1	3	5	3	12	0	1
Mineração	0	2	10	0	12	0	2
Indústria	0	2	6	16	24	4	3
Insumos Ecológicos							
Água	5	4	8				
Terra	10	10	1				

Legenda:

Matriz *Z*
 Vetor *f*
 Vetor *x*
 Matriz *M*
 Matriz *N*

Para o cálculo da matriz dos coeficientes técnicos, emprega-se a equação (6) que aplicada sobre os dados do Quadro 1 fornece o seguinte resultado:

$$A = Z\hat{x}^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 0 & 2 & 10 \\ 0 & 2 & 6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/12 & 0 & 0 \\ 0 & 1/12 & 0 \\ 0 & 0 & 1/24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,08 & 0,25 & 0,21 \\ 0 & 0,17 & 0,42 \\ 0 & 0,17 & 0,25 \end{bmatrix} \quad \text{equação (6)}$$

As matrizes dos coeficientes de entrada e saída de produtos ecológicos são definidas pelas equações (7) e (8), respectivamente – onde N' corresponde a matriz transposta de N . Os elementos de $R = [r_{kj}]$ especificam a quantidade do insumo ecológico k necessária para um incremento de uma unidade monetária na demanda final do setor j ; enquanto que os elementos de $Q = [q_{kj}]$ especificam a quantidade da commodity ecológica k gerada em um incremento de uma unidade monetária na demanda final do setor j . As matrizes R e Q podem, portanto, ser interpretadas como os impactos diretos de cada setor devido a esta variação da demanda final.

$$R = M\hat{x}^{-1} = \begin{bmatrix} 5 & 4 & 8 \\ 10 & 10 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/12 & 0 & 0 \\ 0 & 1/12 & 0 \\ 0 & 0 & 1/24 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,42 & 0,33 & 0,33 \\ 0,83 & 0,83 & 0,04 \end{bmatrix} \quad \text{equação (7)}$$

$$Q = N'\hat{x}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 4 \\ 1 & 2 & 3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/12 & 0 & 0 \\ 0 & 1/12 & 0 \\ 0 & 0 & 1/24 \end{bmatrix} \quad \text{equação (8)}$$

De posse dessas informações, é possível obter os coeficientes de entradas e saídas ecológicas em função das demandas finais que são dados pelas equações (9) e (10), respectivamente. Os elementos r^*_{kj} da Matriz R^* refletem a quantidade do insumo ecológico k necessária direta e indiretamente para um incremento de uma unidade monetária na demanda final do setor j . Por exemplo, $r^*_{11} = 0,455$ indica que 0,455 unidades de água são necessárias para um incremento de uma unidade monetária na demanda final do setor agrícola. Analogamente, os elementos q^*_{kj} da Matriz Q^* refletem a quantidade do produto ecológico k gerada direta e indiretamente devido um incremento de uma unidade monetária na demanda final do setor j . Por exemplo, $q^*_{23} = 0,358$ significa que se gera 0,358 unidades de hidrocarbonetos no incremento de uma unidade monetária na demanda final do setor industrial.

$$R^* = R(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 0,42 & 0,33 & 0,33 \\ 0,83 & 0,83 & 0,04 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1,09 & 0,44 & 0,55 \\ 0 & 1,35 & 0,75 \\ 0 & 0,30 & 1,50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,46 & 0,73 & 0,98 \\ 0,91 & 1,5 & 1,14 \end{bmatrix} \quad \text{equação (9)}$$

$$Q^* = Q(I - A)^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,17 \\ 0,08 & 0,17 & 0,13 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1,09 & 0,44 & 0,55 \\ 0 & 1,35 & 0,75 \\ 0 & 0,30 & 1,50 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0,05 & 0,25 \\ 0,01 & 0,30 & 0,36 \end{bmatrix} \quad \text{equação (10)}$$

RESULTADOS

• Insumos ecológicos: uso do solo

Os impactos sobre o uso da terra compreendem a ocupação do solo rural e urbano, além da transformação do solo em área agrícola arável. Na Figura 1, é possível observar que os setores mais intensivos em termos do *Uso do solo rural* (ECI01) no atendimento do aumento da demanda final em \$1 milhão são *Agricultura* (S02), *Horticultura* (S11) e *Pecuária* (S01). Para o *Uso do solo urbano* (ECI02), *Serviços de transportes* (S26) e *Indústria de construção e instalações* (S27) se destacam. Por fim, o setor *Agricultura arável remanescente, silvicultura e caça* (S19) é o principal responsável pela *Transformação do solo em áreas agrícolas aráveis* (ECI03).

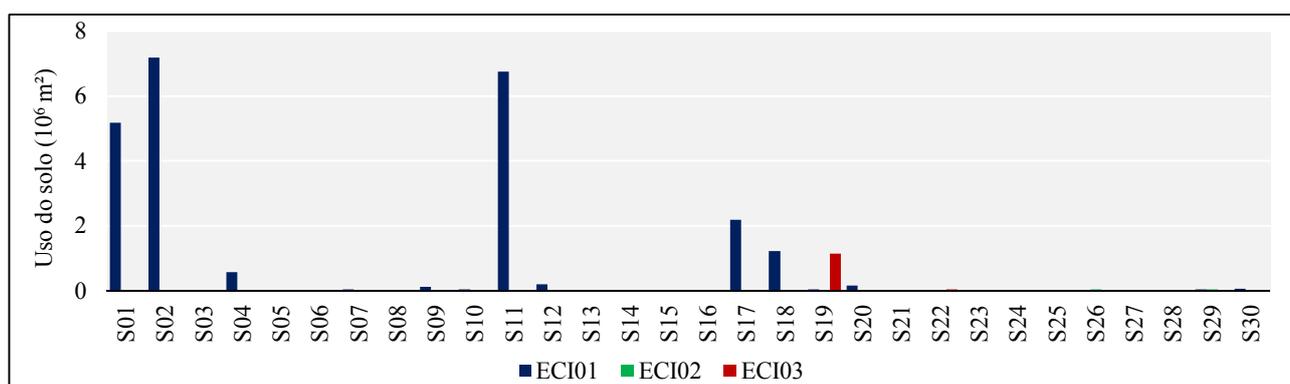


Figura 1: Uso do solo associado ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• Insumos ecológicos: consumo de água

O consumo de água contempla tanto o *Consumo de água subterrânea* (ECI04) quanto o *Consumo de água superficial* (ECI05). Os setores que mais requerem água subterrânea são *Pecuária* (S01), *Horticultura* (S11), *Companhias de Eletricidade* (S23). No que diz respeito ao *Consumo de água superficial*, os destaques ficam por conta das atividades de *Abastecimento público de água* (S21), *Agricultura* (S02) e *Horticultura* (S11) (Figura 2).

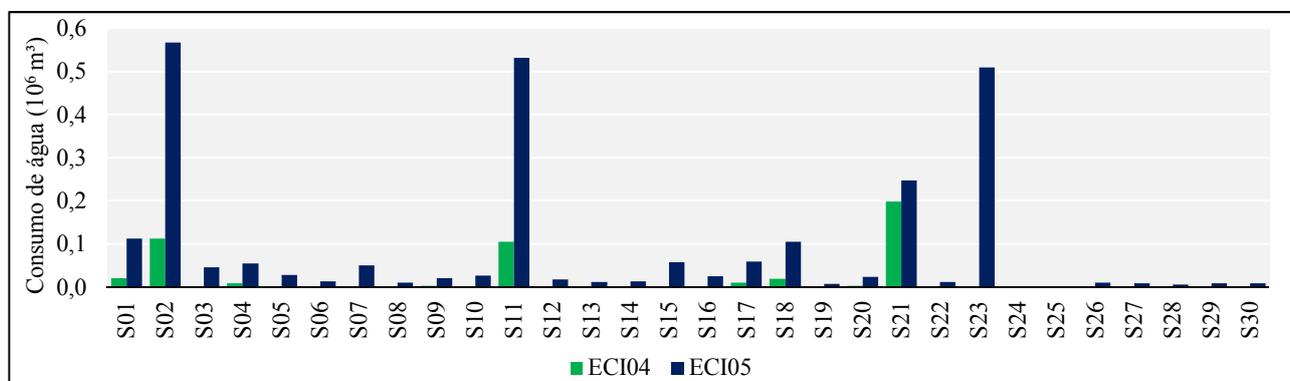


Figura 2: Consumo de água associado ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• Insumos ecológicos: consumo de madeira

O setor *Agricultura arável remanescente, silvicultura e caça* (S19) apresenta um *Consumo de madeira* muito superior aos demais setores, o qual é seguido pela *Indústria madeireira* (S22) e pelo setor *Papel e papelão* (S16) (Figura 3).

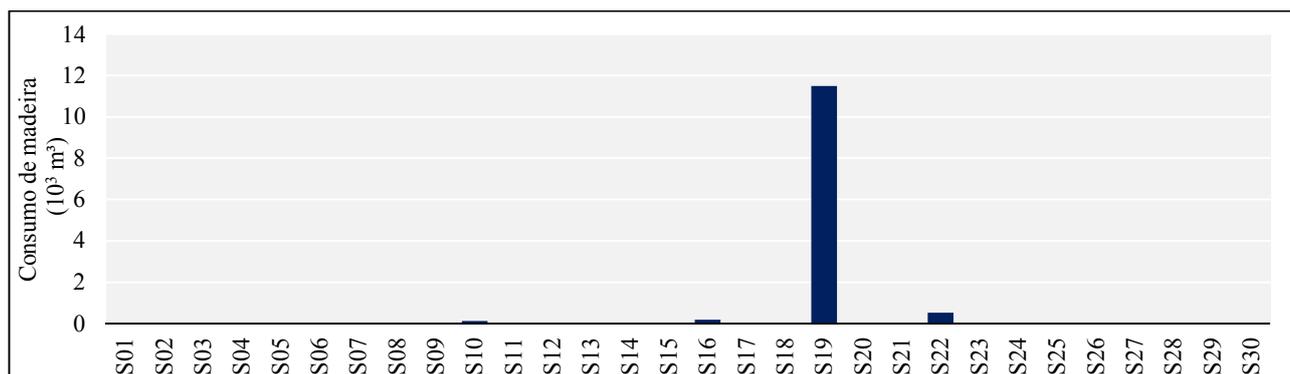


Figura 3: Consumo de madeira associado ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Insumos ecológicos: consumo de peixe**

Com relação ao *Consumo de peixe*, o setor *Pesca* (S09) é dominante. Outros setores bem menos expressivos vem em seguida, são eles: *Produção de alimentos para humanos (com base em animais)* (S18) e *Indústria madeireira* (S22) (Figura 4).

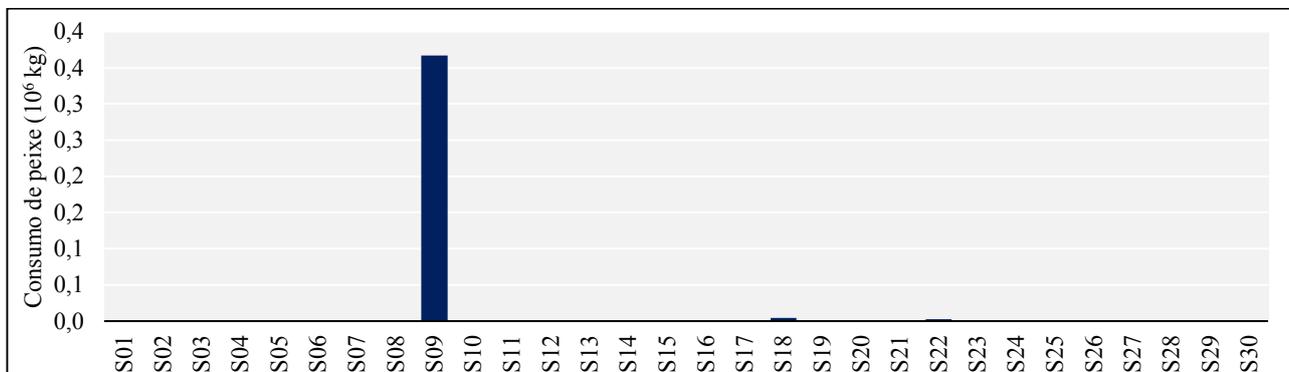


Figura 4: Consumo de peixe associado ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Produtos ecológicos: emissões atmosféricas**

Ao se analisar as emissões de gases e partículas na atmosfera, verificou-se uma predominância indiscutível do dióxido de carbono (CO₂). Sendo um dos principais GEE, o CO₂ apresentou taxas emissões muito superiores aos outros gases considerados. Na Figura 5, nota-se que uma grande parcela destas emissões é proveniente de *Companhias de eletricidade* (S23), seguido pela *Indústria de metais de base* (S03), *Indústria de materiais de construção* (S05) e *Indústria do petróleo* (S15). Outra emissão atmosférica destaque está relacionada à geração de monóxido de carbono (CO) cujos maiores responsáveis são *Serviços de transportes* (S26), *Indústria de metais de base* (S03) e *Agricultura* (S02) (Figura 6).

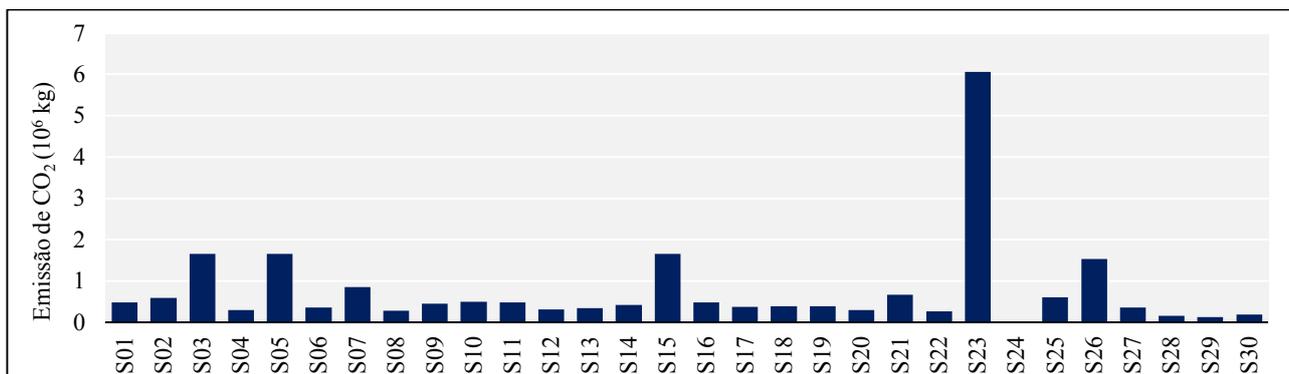


Figura 5: Emissões de CO₂ associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

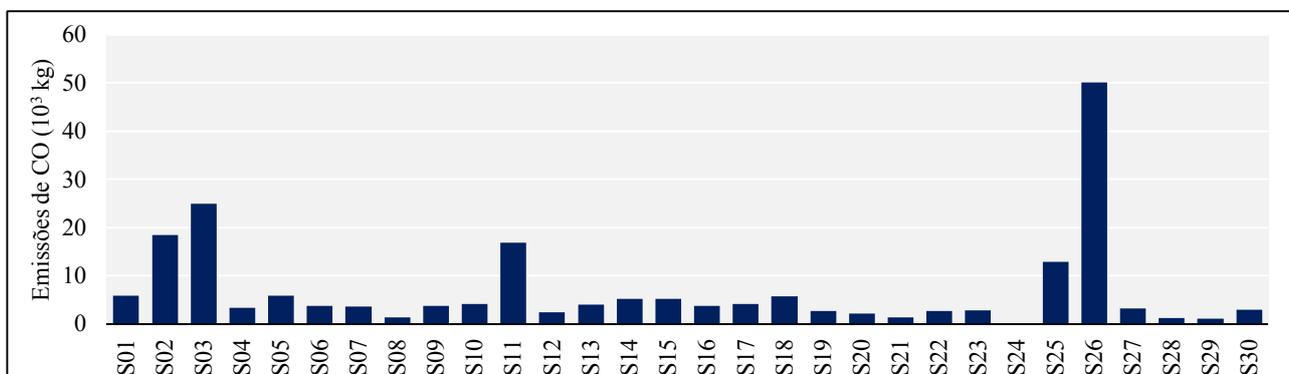


Figura 6: Emissões de CO associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Produtos ecológicos: emissões na água**

Quanto ao lançamento de produtos no meio aquático, verificou-se a predominância das substâncias Nitrogênio (N) e Fósforo (P). Ambas substâncias apresentam uma procedência majoritária de setores relacionados a alimentação humana, como *Agricultura* (S02), *Horticultura* (S11), *Pecuária* (S01) e *Agricultura arável remanescente, silvicultura e caça* (S19) – este último, no caso do Fósforo (Figura 7 e Figura 8).

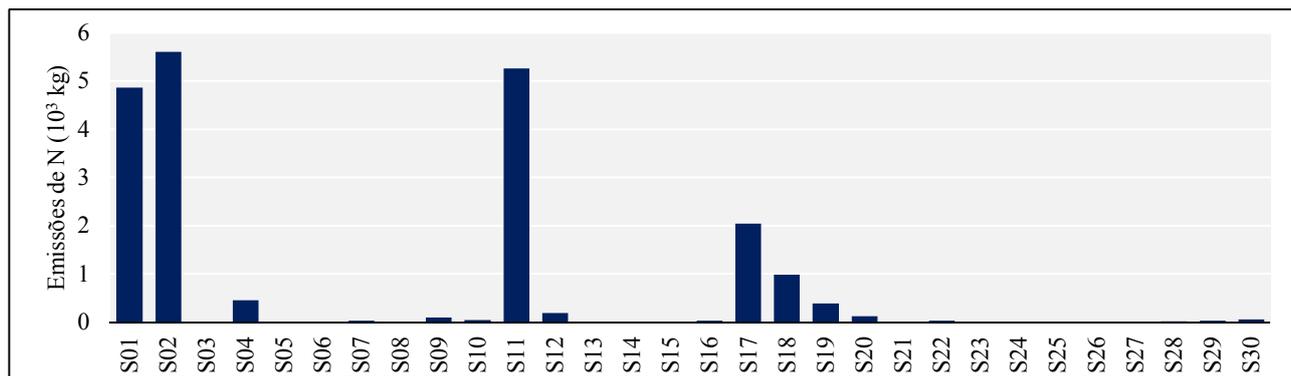


Figura 7: Emissões de N associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

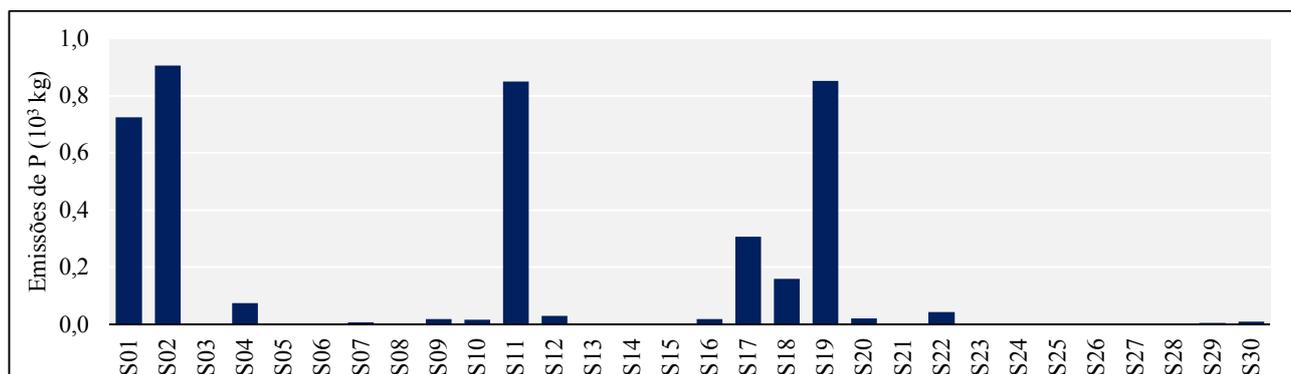


Figura 8: Emissões de P associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Produtos ecológicos: emissões no solo**

Análogo as emissões ocorridas no meio aquático, as emissões no solo têm dominância das substâncias Nitrogênio (N) e Fósforo (P). Novamente tais substâncias são oriundas essencialmente de setores alimentícios, são eles: *Agricultura arável remanescente, silvicultura e caça* (S19), *Agricultura* (S02), *Horticultura* (S11) e *Pecuária* (S01) – este último, no caso do Fósforo (Figura 9 e Figura 10).

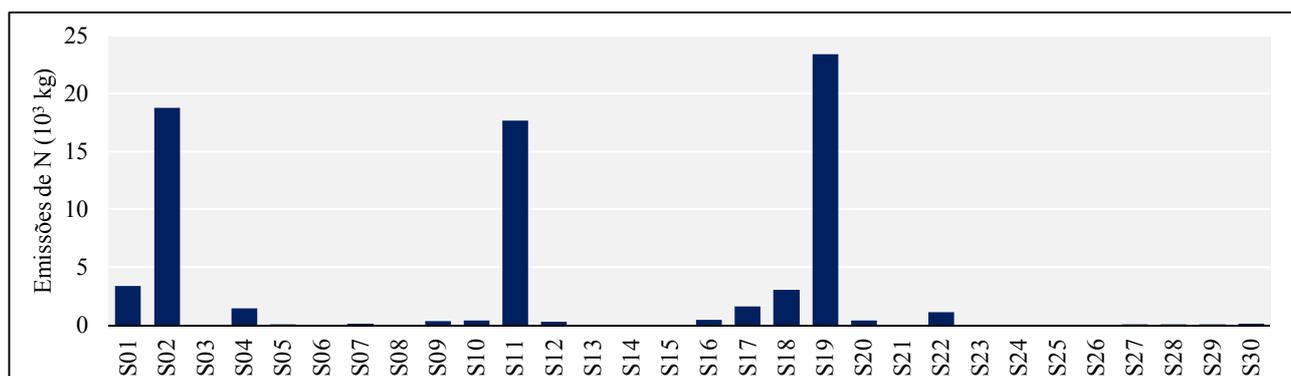


Figura 9: Emissões de N associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

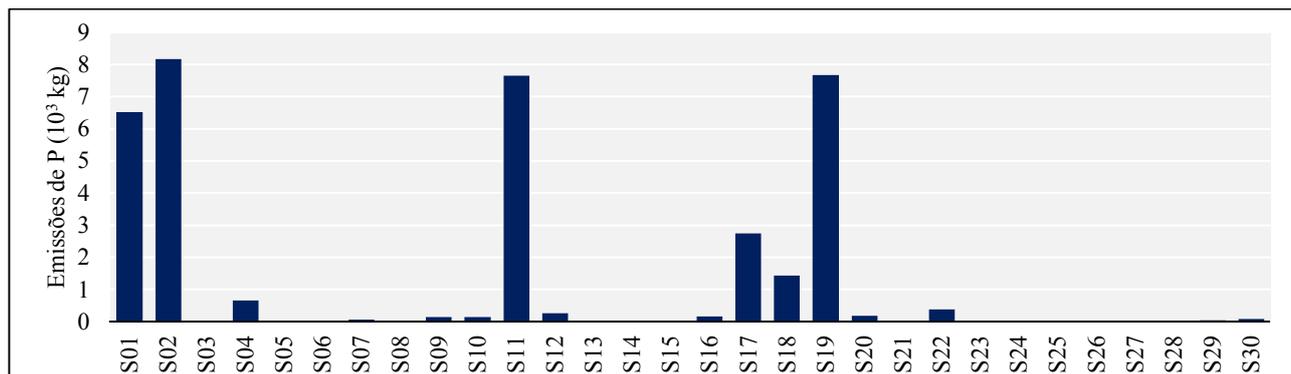


Figura 10: Emissões de P associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Produtos ecológicos: emissões imateriais**

Por fim, as emissões imateriais têm como único representante o produto ecológico *Ruído de veículos*, o qual corresponde ao nível de perturbação sonora (medida em km) dos veículos em geral. Na Figura 11, observa-se que os setores que mais contribuem na geração de ruídos veiculares são *Serviços de transportes* (S26), *Horticultura* (S11) e *Agricultura* (S02).

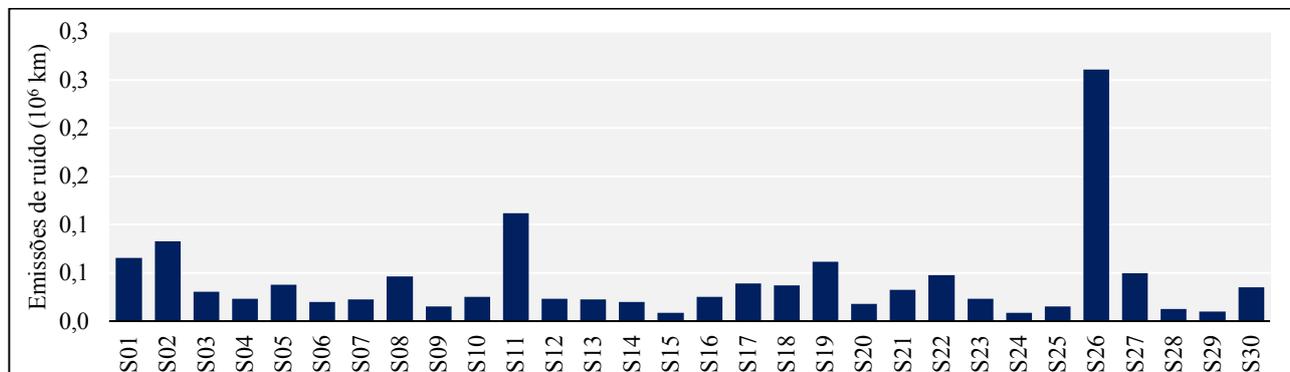


Figura 11: Emissões de ruído associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

• **Apoio a políticas de redução de emissões de GEE**

Dado que os principais GEE podem ser representados pelo CO₂, metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio (IPCC, 2007), os resultados referentes às emissões de CH₄ e óxidos de nitrogênio – óxido nitroso (N₂O; ECO09) e NO_x (ECO15) – são ilustrados na Figura 12 e Figura 13, respectivamente. A Figura 12 evidencia os maiores responsáveis pelas emissões de CH₄, são eles: *Pecuária* (S01), *Extração de outros minerais* (S08), *Produção de alimentos para humanos (com base em animais)* (S17) e *Distribuição de gás* (S24). A Figura 13 mostra que grande parte das emissões de N₂O (ECO09) deriva da *Pecuária* (S01), *Agricultura* (S02) e *Horticultura* (S11). Para os NO_x (ECO15), os setores mais representativos são *Companhias de eletricidade* (S23), *Serviços de transportes* (S26) e *Indústria de materiais de construção* (S05).

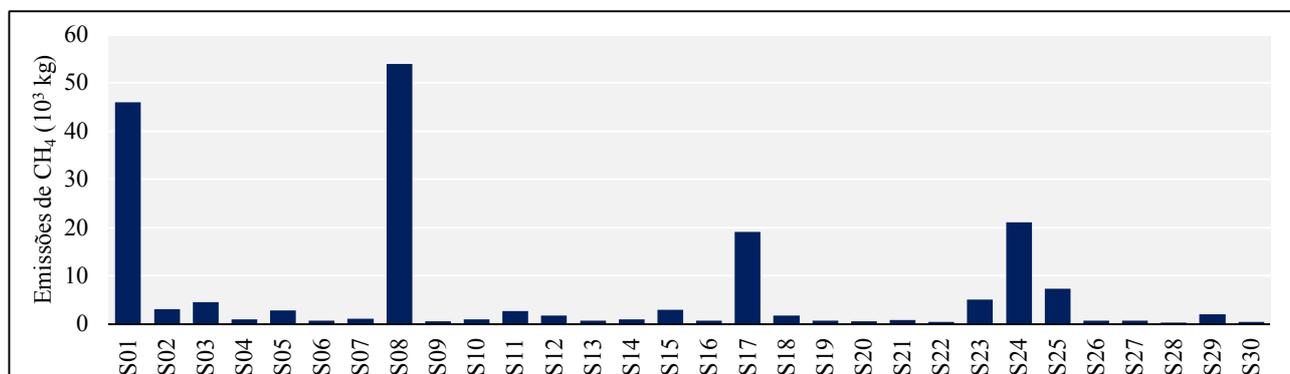


Figura 12: Emissões de CH₄ associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

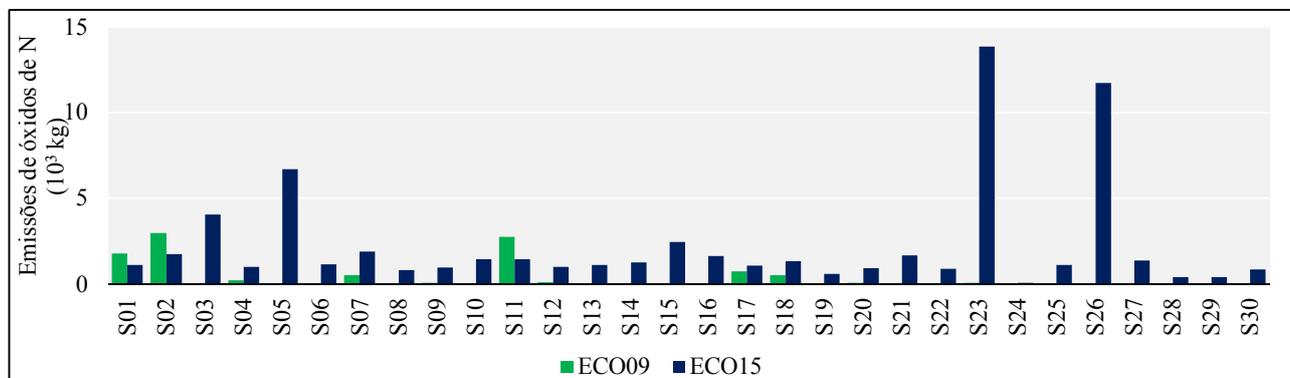


Figura 13: Emissões de N associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a fim de se limitar o aumento da temperatura média terrestre em 2°C – com uma probabilidade de, no mínimo, 50% – é essencial assegurar a estabilização da concentração atmosférica dos GEE em 450ppmv CO_{2eq}. Para isto, seria necessária uma redução pela metade das emissões antrópicas mundiais destes gases até o ano de 2050 – tendo como base os níveis de 1990. Tendo em vista que esta medida

não deveria comprometer as perspectivas de desenvolvimento dos países menos industrializados, o “princípio de responsabilidade comum, mas diferenciada” aponta para uma redução por quatro das emissões dos países industrializados – caso da maioria dos países europeus considerados neste trabalho (Brunetière et al., 2006; IPCC, 2014, 2001).

Sob essa perspectiva, as emissões de CO₂ foram tão superiores aos demais GEE que a redução desses gases representa quase que uma intervenção exclusiva, ou, pelo menos, concentrada, sobre as emissões totais de CO₂. Considerando apenas este gás, explora-se a capacidade da AIPA em evidenciar os impactos diretos e indiretos de cada setor devido ao aumento de \$1 milhão na demanda final dos mesmos. Na Figura 14, nota-se que os setores *Indústria de metais de base* (S03), *Indústria de materiais de construção* (S05) e *Companhias de eletricidade* (S23) são aqueles que apresentam as maiores quotas de emissões indiretas de CO₂ – as quais podem passar despercebidas durante uma análise mais superficial sobre os impactos ambientais dos diferentes setores econômicos. Interessante notar que as emissões de CO₂ de grande parte dos 30 setores considerados são dominadas por emissões indiretas.

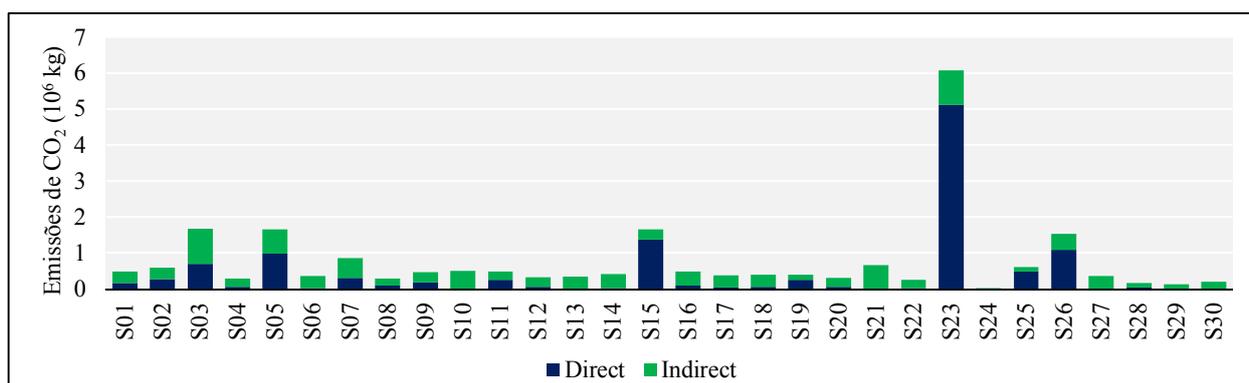


Figura 14: Emissões diretas e indiretas de CO₂ associadas ao aumento de \$1 milhão na demanda final. Fonte: Autor do Trabalho.

Este exercício demonstra a utilidade da MIP em identificar os verdadeiros emissores de modo a apoiar a definição de ações mitigadoras prioritárias. Mais do que isso, seus resultados parecem apontar um caminho paralelo ao enfoque sobre ações direcionadas aos principais responsáveis pelas emissões de CO₂, o qual corresponde à uma mudança de comportamento dos setores como um todo em prol de uma maior eficiência energética e do uso de recursos energéticos de origem renovável.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, evidenciou-se uma significativa participação dos setores relacionados com a alimentação humana nos impactos sobre o meio ambiente, o que denota a necessidade de um esforço na transição tanto dos seus modelos de processos produtivos tradicionais quanto dos padrões de consumo da sociedade atual. Por outro lado, ao se analisar as emissões de GEE, mais precisamente de CO₂, o fornecimento de energia elétrica se revelou como a atividade mais emissora deste gás. Sob uma perspectiva de sustentabilidade, isto implica planejar o suprimento elétrico futuro baseado em uma mudança que priorize fontes renováveis de energia, em detrimento de fontes baseadas em combustíveis fósseis, na matriz elétrica dos países europeus considerados. Cabe ressaltar que estes resultados vão ao encontro da literatura especializada disponível uma vez que os setores econômicos que foram colocados em relevo neste trabalho são, via de regra, os principais responsáveis pelas alterações do meio natural nele consideradas.

No que diz respeito a utilidade da AIPA, a abordagem de Commodities Ecológicas cumpre com as expectativas estabelecidas pelo presente trabalho no que se refere à sua contribuição na gestão ambiental intersetorial e, mais especificamente, nas políticas de redução de emissões de GEE. De fato, ao identificar os verdadeiros consumidores de recursos naturais e emissores de poluentes, o emprego do modelo de MIP viabiliza a priorização das políticas ambientais mais convenientes para determinado país ou região. Apesar da dificuldade de obter dados para a construção de estudos como este voltados para o cenário brasileiro, o modelo de Commodities Ecológicas da AIPA se mostra também como um instrumento adequado para apoiar a gestão ambiental intersetorial no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brunetière, J-R.; Alexandre, S.; d’Aubreby, M.; Debieesse, G.; Guérin, A-J.; Perret, B.; Schwartz, D. **Le facteur 4 en France: la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre à l’horizon 2050**. Ministère de l’Écologie et du Développement Durable et de l’Énergie de la République Française, 215 pp., 2013.

2. Canto, A. **Avaliação dos indicadores de energia e emissões de GEE da gasolina e óleo diesel no Brasil através da análise de insumo-produto**. Dissertação de mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014.
3. Castelao, R.; Souza, C.; Frainer, D. **Aplicações da Matriz Insumo-Produto em análises ambientais no Brasil: uma revisão sistemática de literatura**. *Ciência e Natura*, v. 41, e. 17, 2019.
4. Cumberland, J. H. **A regional interindustry model for analysis of development objectives**. *Regional Science Association*, v. 17, n. 1, p. 65-94, 1966.
5. Goedkoop, M. **SimaPro Database Manual – Dutch Input Output Database 95**. PRé Consultants, 2004.
6. Guilhoto, J. J. M. **Análise de insumo-produto: Teoria e fundamentos**. Apostila FEA/USP. São Paulo, 2004.
7. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC [Core Writing Team, Pachauri, R. K. and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp., 2007.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). **Climate Change 2001: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Third Assessment Report of the IPCC [Watson, R.T. and Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 398 pp., 2001.
10. Leontief, W.W. **Quantitative input and output relations in the economic system of the United States**. *The Review of Economics and Statistics*, v. 18, n. 3, p. 105-125, 1936.
11. Leontief, W. W. **Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach**. *The Review of Economics and Statistics*, v. 52, n. 3, p. 262-271, 1970.
12. Miller, R; Blair, P. **Input-output analysis: foundations and extensions**. New York: Cambridge University Press, 2009.
13. Miranda, C. R. **Economia e meio ambiente: uma abordagem de insumo-produto**. *Pesquisa e Planejamento Econômico*, v. 10, n. 2, p. 601-636, 1980.
14. Rossetti, J. P. **Contabilidade social: uma abordagem introdutória**. São Paulo: Atlas, 1995.