

ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DO AGRONEGÓCIO BRASILEIRO (2010-2017)

Autor(es): Carlos Eduardo Espinel Campos¹, Maria Aparecida Silva Oliveira², Eduardo Rodrigues de Castro²

Filiação: ¹Universidade Federal de Viçosa; ²Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós-Graduação em Economia (PPGEc);

E-mail : carlos.e.campos@ufv.br, aparecidaoliveira@ufscar.br, eduardo@ufscar.br

JEL Classification: Q1, Q5

Área de Submissão: Meio ambiente, recursos naturais e sustentabilidade.

Resumo

Projeções da Organização das Nações Unidas indicam que a população global pode alcançar 9,7 bilhões em 2050 e atingir até 10,9 bilhões em 2100. O crescimento populacional sustentará, nas próximas décadas, o aumento da demanda mundial por alimentos e o Brasil, como terceiro maior exportador de produtos agrícolas, será capaz de atender à demanda externa crescente. Sendo o comércio internacional relevante para estruturação industrial do país, na demanda energética do mesmo e conseqüentemente, responsável por parte das emissões nacionais de gases de efeito estufa (GEE), o presente estudo tem por objetivo avaliar as mudanças estruturais da economia brasileira relativas às emissões de poluentes com foco direcionado sobre o agronegócio, responsável por alta participação no PIB, no nível de empregos, no uso de energia e na geração de emissões. A metodologia empregada consistiu na Análise de Decomposição Estrutural (SDA), com foco ambiental, a partir das matrizes de insumo-produto estimadas para o Brasil, entre 2010 e 2017 e dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG). Os resultados obtidos permitiram identificar que a demanda final via exportação foi o fator que mais contribuiu para o aumento das emissões nos setores que compõem o agronegócio brasileiro, evidenciando a participação das exportações de *commodities* no nível de emissões de GEE.

Palavras-chave: Emissões de GEE, Insumo-Produto, Agronegócio.

Abstract

United Nations projections indicate that the global population may reach 9.7 billion in 2050 and up to 10.9 billion in 2100, which will sustain the increase in world demand for food in the next decades. As the third largest exporter of agricultural products Brazil is able to increase agricultural production and contribute to attend the increasing foreign demand. International trade is relevant to the country's economy as well as to its energy demand and the national emissions of greenhouse gases (GHG). This study aims to evaluate the structural changes of the Brazilian economy related to pollutant emissions focused on agribusiness sectors, which have relevant share in GDP, in the energy use and in the GHG emissions. It is carried out the Structural Decomposition Analysis (SDA) based on the 2010 to 2017 input-output matrices estimated for Brazil and data from the GHG emissions and removals estimation system (*Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa - SEEG*). The results show that Exports are the largest contributors to GHG emissions within the Brazilian agribusiness sectors, which is partially explained by the high share of commodities in the agribusiness exports.

Key words: GHG Emissions, Input-Output, Agribusiness.

1. Introdução

Segundo o *World Population Prospects*, da Organização das Nações Unidas (ONU, 2019), a população mundial continua a crescer, embora em um ritmo mais lento do que em qualquer momento desde 1950, devido aos níveis reduzidos de natalidade. De uma estimativa de 7,7 bilhões de pessoas em todo o mundo em 2019, a projeção indica que a população global poderia crescer para cerca de 9,7 bilhões em 2050 e atingir até 10,9 bilhões em 2100. Neste sentido, de acordo com Saath e Fachinelo (2018), o crescimento populacional, o consequente maior volume de população concentrada em centros urbanos e o aumento da renda per capita sustentarão, nas próximas décadas, um crescimento contínuo da demanda mundial por alimentos.

A abertura do agronegócio brasileiro aumentou consideravelmente entre os anos 1996 e 2014, passando de 14,3% a 22,6%, com pico em 2004, quando atingiu 25,9%. De 1989 e 2014, as exportações do setor passaram de US\$ 13,9 bilhões para US\$ 96,7 bilhões, o que representou uma taxa de crescimento de 7,7% ao ano (FGV, 2015). Maranhão e Vieira Filho (2017) indicam que em 2016, o Brasil se inseriu como terceiro maior exportador de produtos agrícolas do mundo, atrás da União Europeia e dos Estados Unidos. Entretanto, Vieira Filho *et al.* (2011) salientam que a relevância da agropecuária brasileira no mercado internacional não se resume apenas às vantagens do país em termos do clima, regime de chuvas, disponibilidade de água doce e áreas agricultáveis de alta produtividade, como também é estabelecida a partir de avanços tecnológicos, que alavancam o desempenho exportador do setor e possibilitam que o mesmo atenda de forma eficiente as necessidades do mercado interno.

O papel de destaque das exportações agropecuárias do Brasil, explicita a asserção proposta por Machado *et al.* (2001), de que o comércio internacional é um fator relevante para estruturação industrial do país, na demanda energética do mesmo e, conseqüentemente, em suas emissões de gases de efeito estufa. Além disso, ao constituírem uma das forças motrizes do crescimento econômico, as exportações contribuem para a emissão de gases na atmosfera terrestre e, como demandas finais, exercem seus papéis através de efeitos indutores, evidenciando as relações de interdependência setoriais (GUO; LIU, 2016). Sendo assim, as políticas comerciais brasileiras devem incorporar as preocupações ambientais, a fim de harmonizar as metas comerciais do país com suas prioridades ambientais (MACHADO *et al.*, 2001).

Segundo Ferreira Neto *et al.* (2016), o processo de crescimento econômico de um país ou região relaciona-se, também, com a disponibilidade de insumos relativos à produção, os quais destacam-se o capital, o trabalho, a terra e a energia. Ainda, para que um país ou região obtenha sustentabilidade econômica, é necessário integrar capacidade logística e oferta de energia, com o objetivo de desenvolver sua produção, de forma segura, em condições competitivas e ambientalmente sustentáveis (TOLMASQUIM, 2012). Ademais, Montoya e Pasqual (2015) exprimem que um grande desafio para o crescimento econômico sustentável é justamente a questão acerca do consumo de energia versus as incertezas de uma maior degradação ambiental.

É frequente na literatura¹ que os setores de transportes sejam identificados como uma das principais fontes de emissão de GEE no Brasil. Além disso, caracterizam-se, de acordo com Carvalho e Perobelli (2009), como setores-chave². A primeira asserção relaciona-se com o

¹ O setor de transportes se apresentou como grande emissor de GEE em Morais (2007); Carvalho e Perobelli (2009); Silva e Perobelli (2012); Perobelli *et al.* (2015); Freitas (2015) e Teixeira *et al.* (2020).

² Conforme apontam Guilhoto *et al.* (1994), os índices de Rasmussen-Hirschman podem ser utilizados no modelo de insumo-produto para estabelecer quais são os setores dentro de uma economia que apresentam maior poder de

grande desequilíbrio na utilização dos modais de transporte no Brasil, em função do consumo quase que estrito de combustíveis fósseis, altas taxas de consumo energético e excessiva dependência do modal rodoviário (FLEURY, 2012; POMPERMAYER, 2012). A segunda concepção evidencia-se a partir das ligações entre os setores de transporte e os demais setores da economia, que podem ser observadas pela crescente demanda que o agronegócio brasileiro tem por insumos dos transportes, já que grande parte da produção agropecuária ocorre no interior do país, distante dos grandes centros e dos portos de exportação. Entretanto, em áreas de produção afastadas, há deficiências de infraestrutura para atender à crescente demanda por transporte para escoamento da produção dos setores ligados ao agronegócio (CASTRO, 2015).

A avaliação acerca das características estruturais da economia brasileira e suas variações relativas às emissões de GEE, tais como composição da demanda final, concentração da matriz de transportes, intensidade de emissões e tecnologia de produção, tornam-se relevantes tanto sob uma ótica agregada quanto setorial. O foco direcionado sobre os setores que compõem o agronegócio baseia-se no peso que este segmento tem na economia do país, já que a atividade responde por 22% do PIB, 32% dos empregos e 35% do consumo energético (MONTROYA *et al.*, 2016).

Para identificar os impactos das emissões de GEE no Brasil, a metodologia de insumo-produto tem sido amplamente utilizada³. Uma forma de analisar as emissões de GEE detalhadamente, ocorre através da Análise de Decomposição Estrutural (SDA). Conforme apontam Silva e Perobelli (2012), a SDA é uma extensão do modelo de insumo-produto, que possibilita detalhar as mudanças relativas ao processo produtivo e de origens tecnológicas. Sendo assim, em uma aplicação ambiental, a SDA viabiliza uma análise detalhada das emissões, onde cada atividade produtiva é separada de todo o sistema de produção, promovendo a identificação de padrões pelos quais a poluição é gerada e transmitida, assinalando as especificidades individuais das emissões originadas por cada um dos setores da economia. Pode-se, então, analisar a origem destas emissões, uma vez que se obtém acesso a informações relevantes sobre o processo de poluição de GEE, caracterizando as emissões efetivas de cada setor econômico, independentemente da atividade que originou o nível final de poluição. Desta forma, de acordo com Llop e Tol (2013), pode-se destacar os papéis diferenciados dos inúmeros setores de uma economia, no que tange ao nível total de poluição e, devido à essas características, são encontrados na literatura internacional diversos estudos utilizando essa técnica para a análise de emissões de poluentes.

Propõe-se como diferencial para este artigo a utilização da base de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), em sua versão 8.0⁴, ainda não utilizada na literatura disponível que emprega a metodologia de SDA. A base de dados do SEEG avalia todos os setores que são fontes de emissões: Agropecuária, Energia, Mudanças de Uso da Terra, Processos Industriais e Resíduos. Ademais, serão utilizadas matrizes de insumo-produto para o Brasil estimadas para períodos mais recentes. Além disso, uma vez que os setores de transportes se encontram desagregados neste estudo, será viável identificar o peso indireto das suas emissões de GEE, nos setores que compõem o agronegócio brasileiro, durante o período 2010-2017.

encadeamento. Pode-se então calcular os índices de ligações para trás que indicariam o quanto um setor demanda dos outros e os índices de ligações para frente que determinariam o quanto este setor é demandado pelos demais.

³ Young (1998); Machado *et al.* (2001); Hilgemberg e Guilhoto (2006); Carvalho e Perobelli (2009); Oliveira (2011); Perobelli *et al.* (2015); Souza *et al.* (2015); Freitas *et al.* (2016); Montoya *et al.* (2016); Souza *et al.* (2016); Suela (2019); Carvalho *et al.* (2020); Lima (2020) e Teixeira *et al.* (2020).

⁴ A base de dados do SEEG é gerada a partir de diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), com base na metodologia dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa do MCTI e em dados provenientes de relatórios governamentais, centros de pesquisa, entidades setoriais, institutos e organizações não governamentais.

Segue-se a esta introdução uma breve exposição acerca dos dados e os métodos usados durante a elaboração deste estudo. A seção 3 apresenta os resultados, que se dividem entre uma análise exploratória das emissões de GEE no Brasil e uma análise dos resultados obtidos com a aplicação da SDA e a seção 4 expõe as considerações finais.

2. METODOLOGIA

2.1. Base de Dados

Com o intuito de atingir os objetivos propostos, utiliza-se dados coletados das matrizes de insumo-produto do Brasil relativos aos anos de 2010 e 2017, compostas por 68 setores e 128 produtos. Estas matrizes foram estimadas de acordo com o método proposto por Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010), baseadas no Sistema de Contas Nacionais (SCN) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), divulgado em novembro de 2019. Tais matrizes encontram-se disponíveis no site do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo (NEREUS). Também serão utilizados os dados do Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), acerca das emissões de GEE relacionadas ao consumo de energia no Brasil, entre 2010 e 2017. Estas estimativas, em sua versão 8.0, ainda não utilizada com a metodologia proposta na literatura disponível, são geradas de acordo com diretrizes do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), conforme metodologia dos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa, estruturados pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e através de dados provenientes de relatórios governamentais, centros de pesquisa, institutos, entidades setoriais e organizações não governamentais.

2.2. Deflacionamento

Conforme apontam Miller e Blair (2009), ao comparar dados de matrizes insumo-produto de períodos distintos, é necessário diferenciar as mudanças originadas a partir de preços, daquelas atribuídas a outros tipos de fontes. Sendo assim, é necessário converter os valores correntes das tabelas para valores constantes de um determinado ‘ano-base’, de forma que seja possível identificar as mudanças ‘reais’ ocorridas no período analisado. Este trabalho utiliza como método de deflacionamento, a “*chaining technique*” proposta por De Haan (2001) e utilizada recentemente em estudos realizados por Xu e Dietzenbacher (2014) e Cansino *et al.* (2016).

A “*chaining technique*” é utilizada para eliminar os efeitos de preço a fim de obter os efeitos de fontes físicas. Por exemplo, subtraindo a produção de 2010 (a preços correntes) da produção de 2011 (a preços do ano anterior), obtém-se o crescimento do volume da produção entre 2010 e 2011, porque os bens e serviços são expressos em preços de 2010. Isso é feito usando os índices de preços de 2011 (com 2010 = 100). Da mesma forma, o uso da produção em preços de 2011 fornece o crescimento de volume entre 2011 e 2012 e a adição de ambos os aumentos de volume resulta na variação de volume entre 2010 e 2012.

Enquanto as tabelas em preços constantes expressam todos os dados em preços do mesmo ano-base (2010, neste exemplo), a “*chaining technique*” utiliza anos-base que mudam anualmente. Como os dados a preços constantes usam o mesmo ano-base, sua precisão geralmente diminui à medida que se afasta do ano-base, ao passo que o uso de uma série de tabelas anuais em preços do ano anterior implica que a cesta de bens (que é usada para determinar o índice de preços) seja atualizada a cada ano. O uso da “*chaining technique*” evita, portanto, o acúmulo de vieses Xu e Dietzenbacher (2014).

Os valores correntes da demanda intermediária, da demanda final e do valor bruto da produção são deflacionados a partir de um índice de preços setorial, construído a partir da

Tabela de Recursos e Usos do IBGE. Conforme aponta Figueiredo (2015), ao considerar 2010 como o ano-base (ou seja, 2010 = 100), o índice pode ser definido genericamente como:

$$Ix_{2010} = 100 \quad (1)$$

$$Ix_t = Ix_{t-1} * \frac{Px_t * Qx_t}{Px_{t-1} * Qx_t}$$

Em que $x =$ setor 1, ..., 68; $t = 2010, \dots, 2017$; $Px_t * Qx_t$ é o valor da produção em t , a preços correntes e $Px_{t-1} * Qx_t$ é o valor da produção em t , a preços do ano anterior. Para que todos os valores sejam expressos em preços do ano mais recente, é necessário que se converta o ano-base de 2010 para 2017, de forma que:

$$\pi_x^t = (Ix_{2017}/Ix_t) \quad (2)$$

Onde π_x^t equivale ao índice de preços dos 68 setores da economia brasileira. Em notação matricial é possível expressar os índices calculados da seguinte maneira:

$$\pi_t = [\pi_1^t \pi_2^t \dots \pi_{68}^t] \quad (3)$$

Sendo assim, a demanda intermediária Z^b , a demanda final f^b e o valor bruto da produção X^b podem ser deflacionados por:

$$Z^b = (\hat{\pi}^t)^{-1} Z^t \quad (4)$$

$$f^b = (\hat{\pi}^t)^{-1} f^t \quad (5)$$

$$X^b = (\hat{\pi}^t)^{-1} X^t \quad (6)$$

2.3. Agregação e Compatibilização

As matrizes de insumo-produto do Brasil relativas aos anos de 2010 a 2017, estimadas por Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010), apresentam uma desagregação setorial para 68 atividades econômicas e 128 produtos. Dada a necessidade de compatibilizar os dados das matrizes de insumo-produto com os dados referentes às emissões do SEEG, uma nova agregação foi realizada, possibilitando a obtenção de matrizes de consumo intermediário (16x16), para os anos de 2010 e 2017. A Tabela 1 apresenta os dezesseis setores da nova agregação. O agronegócio é definido neste artigo, como a junção dos setores ‘Agropecuária’, ‘Alimentos e Bebidas’ e ‘Papel e Celulose’. A inclusão do setor ‘Papel e Celulose’ como componente do agronegócio, baseia-se na Balança Comercial do Agronegócio, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Tabela 1. Setores econômicos considerados na análise.

Setores Econômicos	
1	Agropecuária
2	Extrativa Mineral
3	Minerais Não Metálicos
4	Siderurgia
5	Metais Não Ferrosos e Outros Metais
6	Papel e Celulose
7	Química
8	Têxtil

9	Alimentos e Bebidas
10	Comércio e Serviços
11	Administração Pública
12	Outras Indústrias
13	Energético
14	Transporte Terrestre
15	Transporte Aéreo
16	Transporte Aquaviário

Fonte: Elaboração própria.

Dos 68 setores originais, 3 setores passaram a constituir o setor ‘Energético’ (refino de petróleo e coqueiras, fabricação de biocombustíveis e energia elétrica, gás natural e outras utilidades). O setor de transportes foi mantido desagregado para captar o efeito dos modais sobre os níveis de emissões de GEE.

2.4. Análise de Insumo-Produto

Um modelo de insumo-produto é construído a partir de dados observados para uma área econômica específica – um país, uma região, um estado, etc. Os dados correspondem aos fluxos de produtos de cada um dos setores vendedores, para cada um dos setores compradores. Esses fluxos (ou transações interindustriais) são medidos em um horizonte temporal específico (geralmente um ano) e em termos monetários (MILLER; BLAIR, 2009).

O modelo básico de insumo-produto pode ser expresso por:

$$x = Lf \quad (7)$$

Onde x representa um vetor de valor bruto de produção, $L = (I - A)^{-1}$ é conhecida como a Inversa de Leontief, f é um vetor de demanda final, I é uma matriz identidade e A é uma matriz de coeficientes técnicos, que define os requerimentos de insumos por unidade de produto de cada setor da economia. Uma abordagem direta para contabilizar a geração de poluição associada às atividades intersetoriais, de acordo com Miller e Blair (2009), consiste em assumir um vetor diagonalizado de produção de poluição ou coeficientes de impactos diretos, $\hat{D} = [d_{kj}]$, onde cada elemento deste vetor indica a quantidade de poluente do tipo k gerado por unidade monetária de produto do setor j . Desta forma, \hat{D} exprime os coeficientes de intensidade de emissão (CIE). Sendo assim, o nível de poluição associado a um vetor de produção total pode ser expresso como:

$$c = \hat{D}x \quad (8)$$

Em que, c é o vetor ($n \times 1$) dos níveis de poluição. Portanto, adicionando ao modelo tradicional de Leontief, $x = Lf$, onde $L = (I - A)^{-1}$, pode-se calcular c em função da demanda final, ou seja, a poluição total de cada tipo, gerada pela economia direta e indiretamente, para atender a essa demanda final:

$$c = [\hat{D}L]f = \hat{D}(I - A)^{-1}f \quad (9)$$

Onde, a quantidade entre colchetes pode ser entendida como uma matriz de coeficientes de impacto ambiental (CIA) e, cada elemento contido na mesma expressa o impacto total da poluição gerado por unidade monetária de demanda final apresentada à economia. Ao considerar na demanda final apenas o componente das exportações, obtém-se as emissões provenientes da produção destinada à demanda externa.

De acordo com Miller e Blair (2009), quando existem dois ou mais conjuntos de dados

de insumo-produto, para uma economia, a análise de decomposição estrutural pode ser empregada com o intuito de desagregar a quantidade total de mudança, em algum aspecto dessa economia, em contribuições determinadas por seus vários componentes.

Supondo que existam dois períodos de tempo distintos, para os quais os dados de insumo-produto e de emissões encontram-se disponíveis, usam-se os sobrescritos 0 e 1 para indicar estes diferentes anos. A equação (10) representa as emissões para cada um dos períodos.

$$c^1 = \widehat{D}^1 L^1 f^1 \quad \text{e} \quad c^0 = \widehat{D}^0 L^0 f^0 \quad (10)$$

Sendo assim, a mudança nas emissões entre os anos 0 e 1 pode ser expressa da seguinte forma:

$$\Delta c = c^1 - c^0 = \widehat{D}^1 L^1 f^1 - \widehat{D}^0 L^0 f^0 \quad (11)$$

Conforme apontam Miller e Blair (2009), a tarefa consiste em decompor a mudança total na emissão em termos de seus componentes, o que, neste ponto, significa atribuir à Δc às variações em \widehat{D} ($\Delta \widehat{D} = \widehat{D}^1 - \widehat{D}^0$), em L ($\Delta L = L^1 - L^0$) e variações em f ($\Delta f = f^1 - f^0$).

Uma possível decomposição para a equação (11) seria:

$$\Delta c = \Delta \widehat{D} L^1 f^1 + \widehat{D}^0 \Delta L f^1 + \widehat{D}^0 L^0 \Delta f \quad (12)$$

A equação (12) mostra que a mudança nas emissões setoriais pode ser decomposta em três efeitos. O primeiro termo do lado direito da equação é o Efeito Intensidade que mede a variação nas emissões devido à mudança na emissão por unidade produzida em cada setor. O segundo termo mede a influência de mudanças nos coeficientes de insumo-produto, ou Efeito Tecnologia sobre as emissões⁵. O terceiro termo diz respeito ao Efeito da Demanda Final, mensurando o efeito da variação no nível de demanda sobre as emissões setoriais.

Uma outra decomposição também pode ser realizada, como mostrado na equação seguinte:

$$\Delta c = \Delta \widehat{D} L^0 f^0 + \widehat{D}^1 \Delta L f^0 + \widehat{D}^1 L^1 \Delta f \quad (13)$$

Essas duas formas de decomposição são consideradas polares e são matematicamente possíveis e corretas. Com r fatores considerados, poderão ocorrer $r!$ formas de decomposição estrutural, seguindo uma estrutura similar à descrita nas duas equações acima. Dietzenbacher e Los (1998) examinaram uma grande variedade de possibilidades de decomposição e concluíram que a utilização de uma média dos resultados de (12) e (13) constituiria uma abordagem aceitável.

Dessa forma, serão calculados os seguintes efeitos:

$$\text{Efeito intensidade: } \frac{(\Delta \widehat{D} L^1 f^1) + (\Delta \widehat{D} L^0 f^0)}{2}$$

$$\text{Efeito tecnologia: } \frac{(\widehat{D}^0 \Delta L f^1) + (\widehat{D}^1 \Delta L f^0)}{2}$$

⁵ Conforme aponta Schuschny (2005), o efeito tecnológico mostra como variam as ligações entre os setores (enfraquecimento ou fortalecimento dos elos), uma vez que é calculado a partir das mudanças na matriz de Leontief. Os fatores que explicam as mudanças tecnológicas são as inovações, as substituições de importações, o crescimento dos benefícios decorrentes de economias de escala, as alterações no *mix* de produtos, a mudança dos preços relativos e mudanças nos padrões comerciais.

$$\text{Efeito demanda final: } \frac{(\widehat{D}_0 L_0 \Delta f) + (\widehat{D}_1 L_1 \Delta f)}{2}$$

Ainda, ao considerar cada componente da demanda final separadamente, pode-se conhecer o quanto da variação das emissões deve-se à variação de cada um desses componentes, como será feito para as exportações do agronegócio e demais componentes da demanda final doméstica.

3. RESULTADOS

A Tabela 1, elaborada a partir de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG), expressa as emissões de GEE (em tCO₂e GWP – AR5) de cada uma das atividades econômicas consideradas neste estudo, nos anos de 2010 e 2017, as variações absolutas e equivalentes destas emissões e as participações das emissões dos setores nas emissões totais em cada ano.

Tabela 1. Emissões de gases de efeito estufa (em tCO₂e GWP – AR5) dos setores do agronegócio brasileiro, em 2010 e 2017.

Setor Econômico	Emissões em 2010	Emissões em 2017	Varição Absoluta	Varição Relativa (%)	(%) Participação 2010	(%) Participação 2017
Agropecuária	18.155.344	20.209.498	2.054.155	11,3	5,2	5,0
Alimentos e Bebidas	6.303.178	6.086.982	(216.195)	(3,4)	1,8	1,5
Papel e Celulose	4.719.403	5.067.084	347.680,87	7,4	1,4	1,3

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

A Tabela 1 evidencia a evolução das emissões diretas de GEE (em tCO₂e GWP-AR5), dos setores do agronegócio brasileiro, entre 2010 e 2017. Em 2010, a ‘Agropecuária’ respondeu por 5,2% das emissões de GEE do Brasil ou 18.155.344 tCO₂e. Em 2017, o mesmo setor apresentou redução de sua participação na geração de poluição no Brasil, entretanto, o setor tornou-se mais poluente, emitindo 20.209.498 tCO₂e (crescimento de 11,31% nas emissões do respectivo setor).

No que diz respeito ao setor ‘Alimentos e Bebidas’, o mesmo apresentou redução em suas emissões durante o período compreendido por este estudo: Em 2010, gerou 6.303.178 tCO₂e, enquanto no ano de 2017, esta atividade econômica emitiu 6.086.982 tCO₂e (uma redução de 3,43% das emissões). Por sua vez, o setor ‘Papel e Celulose’, apresentou crescimento em suas emissões de GEE: em 2010, o setor foi responsável por 4.719.403 tCO₂e e em 2017, 5.067.084 tCO₂e, expressando um aumento de 7,4% nas emissões, durante o período analisado. Cabe ressaltar que esses dados representam apenas as emissões diretas geradas pelos setores. O presente estudo, trará como diferencial, a análise indireta dos dados relativos às emissões de poluentes, visto que, ao demandarem insumos, os setores econômicos indiretamente provocam a geração de poluição em outros segmentos da economia.

Conforme apontam Guo e Liu (2016), sendo fatores que contribuem para o crescimento econômico, as exportações respondem por parte da emissão de gases poluentes. A Figura 1 apresenta as parcelas das emissões de GEE originadas com as exportações, em relação às emissões totais de GEE da economia brasileira (em 2010 e 2017). Em 2010, 17,1% das emissões totais de poluentes eram provenientes das exportações. Em 2017 o peso do componente de exportações nas emissões de GEE equivaliam a 19,7%.

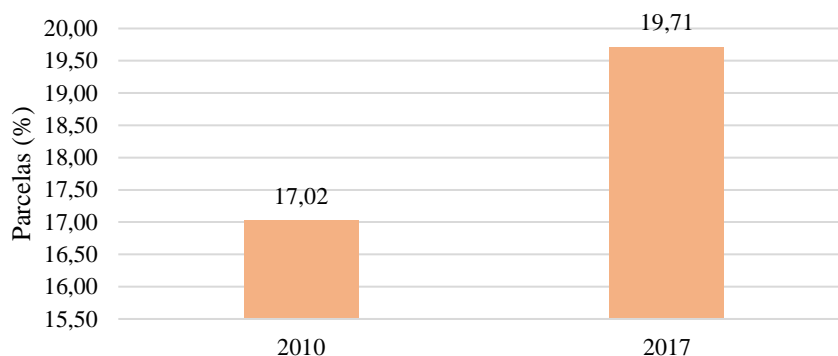


Figura 1. Parcelas (%) das emissões originadas com as exportações em relação às emissões totais de GEE da economia brasileira (em 2010 e 2017). Elaboração própria, com base em Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

De forma a expandir a análise das emissões de GEE oriundas das exportações, a Figura 2 expressa as parcelas das emissões de GEE das exportações dos setores que compõem o agronegócio brasileiro, em relação às emissões de GEE das exportações totais da economia (em 2010 e 2017). Chama a atenção a magnitude dessas participações, uma vez que três setores que compõem o agronegócio responderam por 25,62% e 28,88% das emissões geradas por todas as exportações brasileiras em 2010 e 2017, respectivamente. Entretanto, uma comparação com as parcelas setoriais das exportações do país nesses anos demonstra que as participações dos valores exportados por esses setores respondem mais que proporcionalmente às suas participações nas emissões. Segundo dados das matrizes de insumo-produto utilizadas, essas parcelas foram 26,89% em 2010 e 29,92% em 2017.

Pode-se observar, a partir da Figura 2, que os setores ‘Agropecuária’ e ‘Alimentos e Bebidas’ apresentaram comportamento inverso entre os anos considerados nesta análise. Enquanto a parcela de emissões provenientes das exportações do setor ‘Agropecuária’ cresceu de 2010 a 2017, a parcela das emissões originadas a partir das exportações do setor ‘Alimentos e Bebidas’ apresentou redução no mesmo período. Ainda, pode-se identificar que em 2010, o setor ‘Alimentos e Bebidas’ apresentou a maior parcela de emissões provenientes das exportações e no ano de 2017, foram as emissões das exportações da ‘Agropecuária’ que responderam pela maior parcela. Por sua vez, o setor ‘Papel e Celulose’ apresentou as menores parcelas de emissões relativas às exportações entre os setores do agronegócio, tanto em 2010, quanto em 2017.

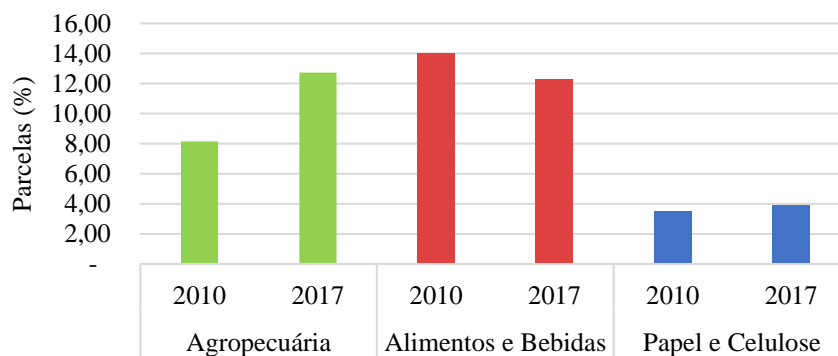


Figura 2. Parcelas das emissões de GEE das exportações dos setores ‘Agropecuária’, ‘Alimentos e Bebidas’ e ‘Papel e Celulose’ em relação às emissões de GEE das exportações totais do Brasil (em 2010 e 2017). Elaboração própria, com base em Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010) e dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

De forma a ampliar a análise setorial, a Tabela 2 expressa as parcelas referentes aos transportes nos coeficientes de impacto ambiental (CIA) dos setores do agronegócio, nos anos de 2010 e 2017. Os CIA expressam o impacto total, ou seja, direto e indireto, da poluição gerado por unidade monetária de demanda final da economia. Por serem utilizados como insumos, os serviços dos setores de transportes participam indiretamente da poluição gerada pelos demais setores da economia. Os impactos ambientais são, portanto, transmitidos ao longo das cadeias produtivas dos demais setores, fomentados pela maior quantidade de insumos do setor demandados pelas demais atividades econômicas.

Tabela 2. Participação (%) dos setores de transportes nos coeficientes de impacto ambiental dos setores ‘Agropecuária’, ‘Alimentos e Bebidas’ e ‘Papel e Celulose’ do Brasil, em 2010 e 2017.

Setor Econômico	Transporte Terrestre		Transporte Aéreo		Transporte Aquaviário	
	2010	2017	2010	2017	2010	2017
Agropecuária	19,36	26,10	0,38	0,41	0,28	0,32
Alimentos e Bebidas	45,09	50,94	0,84	0,78	0,84	0,86
Papel e Celulose	24,15	26,40	0,73	0,60	2,21	2,39

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

A análise das parcelas dos transportes, nos CIA dos setores do agronegócio, explicita a relação de dependência entre estas atividades e os setores de transportes. Pode-se verificar que indiretamente os setores de transporte (mais especificamente o ‘Transporte Terrestre’) apresentam elevada participação nas emissões dos setores do agronegócio, contribuindo por elevar o nível de emissão de GEE na economia. Em 2017, o setor ‘Transporte Terrestre’ respondeu por 50,94% das emissões de ‘Alimentos e Bebidas’, 26,40% das emissões de ‘Papel e Celulose’ e 26,10% das emissões da ‘Agropecuária’.

Além disso, a análise da Tabela 2 evidencia que os setores ‘Transporte Aéreo’ e ‘Transporte Aquaviário’ foram responsáveis por pequena participação indireta nas emissões dos setores do agronegócio. Em 2017, o ‘Transporte Aéreo’ respondeu indiretamente por 0,78% da poluição do setor ‘Alimentos e Bebidas’, 0,60% das emissões de ‘Papel e Celulose’ e 0,41% das emissões do setor ‘Agropecuária’. Por sua vez, o ‘Transporte Aquaviário’ foi indiretamente responsável por 2,39% das emissões do setor ‘Papel e Celulose’, 0,86% da poluição de ‘Alimentos e Bebidas’ e 0,32% das emissões da ‘Agropecuária’.

Os resultados da análise de decomposição estrutural (SDA) permitirão uma avaliação pormenorizada dos fatores que acarretaram o nível de emissão de GEE no país. A Tabela 3 apresenta os efeitos da decomposição estrutural das emissões de GEE (em tCO₂e GWP-AR5) nos setores que compõem o agronegócio, entre os anos de 2010 e 2017. Pode-se observar que o efeito intensidade (*D*) foi negativo nos três setores analisados. A interpretação deste efeito, conforme apontam Mendonça e Gutierrez (2000) e Perdigão *et al.* (2017), está associada ao grau de eficiência na produção: um efeito intensidade negativo é entendido como uma melhora nas técnicas produtivas, que possibilitam a redução das emissões de GEE por produto.

Tabela 3. Efeitos da decomposição estrutural das emissões de Gases de Efeito Estufa (em tCO₂e GWP – AR5) nos setores ‘Agropecuária’, ‘Alimentos e Bebidas’ e ‘Papel e Celulose’ do Brasil, entre 2010 e 2017.

Setor Econômico	Efeito Intensidade	Efeito Tecnologia	Efeito Demanda Final
Agropecuária	(2.455.614,95)	839.267,99	3.670.501,54
Alimentos e Bebidas	(110.120,24)	(10.431,04)	(95.644,01)
Papel e Celulose	(77.004,49)	(341.545,26)	766.230,62

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

Por sua vez, os efeitos tecnologia (L) e demanda final (f) variaram entre os setores analisados. Entre 2010 e 2017, o efeito demanda final (f) foi responsável por mais de 3.670.501 tCO₂e emitidas no setor ‘Agropecuária’. Ainda, o efeito tecnologia, que expressa a influência de mudanças nos coeficientes de insumo-produto, também apresentou variação positiva para o setor (839.267 tCO₂e). Por outro lado, o efeito (D) que mensura as mudanças nos coeficientes de intensidade de emissão (CIE), ou seja, a variação na quantidade de GEE emitida por unidade produzida em milhões de reais, constituiu a força descendente das emissões do respectivo setor (-2.565.735 tCO₂e).

O setor ‘Alimentos e Bebidas’ apresentou redução em todos os três efeitos considerados neste estudo. A maior redução ocorreu no efeito intensidade (110.120 tCO₂e), seguida pelas diminuições nos efeitos demanda final (95.644,01 tCO₂e) e tecnológico (10.431,04 tCO₂e). Com relação ao setor ‘Papel e Celulose’, o mesmo apresentou um efeito demanda final positivo (766.230 tCO₂e) e efeitos tecnologia e intensidade negativos, com reduções de (341.545 tCO₂e) e (77.004 tCO₂e), respectivamente.

A Tabela 4 apresenta a análise de decomposição estrutural das emissões de GEE, em termos dos componentes da demanda final do Brasil, entre os anos de 2010 e 2017. Os resultados corroboraram os estudos de Lenzen *et al.* (2013) e Oliveira *et al.* (2020), ao evidenciar a relevância das exportações nas emissões de GEE e, especificamente, do peso das exportações de bens e serviços do setores ‘Agropecuária’ e ‘Papel e Celulose’ na geração de poluição, uma vez que em 2017, as atividades responderam, respectivamente, por 2.703.154 tCO₂e e 603.492 tCO₂e. O peso deste componente, para ambos os setores, foi o maior entre todos os componentes da demanda final, superando também os efeitos intensidade e tecnologia, em termos absolutos (expressos na Tabela 3). Ainda, pode-se identificar a partir da Tabela 4, o peso do consumo das famílias nas emissões do setor ‘Agropecuária’, que em 2017, foi responsável por 1.048.905 tCO₂e das emissões de GEE, desta respectiva atividade econômica.

Tabela 4. Decomposição estrutural das emissões de GEE (em tCO₂e GWP – AR5), relativa aos componentes da demanda final da ‘Agropecuária’, ‘Alimentos e Bebidas’ e ‘Papel e Celulose’.

Setor Econômico	Exportação de bens e serviços	Consumo do governo	Consumo das ISFLSF	Consumo das famílias	FBCF	Varição de estoque
Agropecuária	2.703.154	3.358	(6.053)	1.048.905	(138.485)	59.622
Alimentos e Bebidas	54.929	5.694	(2.142)	(8.347)	(22.890)	(122.889)
Papel e Celulose	603.492,15	6.173,58	(4.791,35)	209.720,17	(120.691,49)	72.327,56

Fonte: Elaboração própria a partir de dados do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG).

Ademais, pode-se inferir a partir da Tabela 4 que as emissões do agronegócio estão diretamente relacionadas às demandas atendidas pelos seus produtos. ‘Agropecuária’ e ‘Papel e Celulose’, por terem a característica de produtores de insumos, têm maior parte das suas produções destinadas ao consumo intermediário. E, no que diz respeito a suas produções destinadas à demanda final, a maior parte é para atender ao mercado externo.

Em relação ao setor ‘Alimentos e Bebidas’ ocorre o contrário. Sendo um produtor de bens majoritariamente utilizados como bens finais, tem a maior parte da sua produção destinada à demanda final e, nesse caso, para atender ao mercado doméstico. Essa composição das

exportações do agronegócio no Brasil consolidou-se historicamente, sendo o país um grande exportador de produtos agrícolas in natura, mas não de produtos processados. Dados da FVG (2015) corroboram esta afirmação: em 2014, 70% da pauta de exportação brasileira constituiu-se de produtos com reduzido grau de processamento, como soja em grãos, farelo de soja, açúcar de cana bruto, carnes in natura, celulose, milho e fumo não faturado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo realizou uma avaliação, entre os anos de 2010 a 2017, acerca das mudanças estruturais da economia brasileira (variação no nível de intensidade, alterações na demanda final, e mudanças tecnológicas) relativas às emissões de gases de efeito estufa dos setores que compõem o agronegócio brasileiro, responsáveis por volume considerável de GEE emitidos no país.

Este artigo utilizou Análise de Decomposição Estrutural (SDA), uma extensão do modelo de insumo-produto. A SDA aplicada em questões de cunho ambiental pode ser utilizada para decompor mudanças nos fluxos físicos, como uso de energia, emissões de CO₂ e vários outros tipos de poluentes e recursos. A utilização da SDA, portanto, viabilizou a especificação detalhada das mudanças no agronegócio brasileiro, entre 2010 e 2017, distinguindo as características diretas, a influência indireta da demanda final e as mudanças nos níveis tecnológicos, a partir da emissão de GEE dos setores econômicos que o compõem.

Os resultados indicaram que as exportações dos setores do agronegócio brasileiro foram responsáveis por 28,8% do total de emissões geradas pelas exportações brasileiras em 2017. A demanda final via exportação foi o fator que mais contribuiu para o aumento das emissões dos setores 'Agropecuária' e 'Papel e Celulose', evidenciando a participação das exportações de *commodities* no nível de emissões de GEE. Ademais, as atividades econômicas analisadas tornaram-se menos poluentes por unidade monetária produzida, entretanto, isso não foi suficiente para compensar os outros efeitos para a 'Agropecuária' e 'Papel e Celulose'.

Além disso, a forte relação dos setores de transportes com as atividades produtoras de alimentos não pode ser negligenciada, visto que em 2017, o setor 'Transporte Terrestre' foi indiretamente responsável por 50,94% das emissões de 'Alimentos e Bebidas', 26,40% das emissões de 'Papel e Celulose' e 26,10% das emissões da 'Agropecuária'. É premente, portanto, que esforços sejam direcionados para redimensionar a matriz de transportes nacional, excessivamente dependente do modal rodoviário, de forma a tornar a logística de escoamento dos produtos menos poluente.

REFERÊNCIAS

- CANSINO, J. M.; ROMÁN, R.; ORDÓÑEZ, M. Main drivers of changes in CO₂ emissions in the Spanish economy: A structural decomposition analysis, **Energy Policy**, v. 89, p. 150-159, 2016.
- CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. Avaliação da intensidade de emissões de CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: Um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil, **Economia Aplicada**, v. 13, n. 1, p. 99-124, 2009.
- CARVALHO, T. S.; SANTIAGO, F. S.; PEROBELLI, F. S. Demographic change in Brazil and its impacts on CO₂ emissions, **Economic Systems Research**, 2020.
- CASTRO, C. N. O agronegócio e os desafios do financiamento da infraestrutura de transportes no Brasil. **Texto para discussão n. 2074**. Brasília: IPEA, abr, 2015.
- CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DE ATIVIDADES ECONÔMICAS (CNAE). Disponível em <<https://concla.ibge.gov.br/>>. Acesso em agosto de 2020.
- DE HAAN, M. A structural decomposition analysis of pollution in the Netherlands, **Economic Systems Research**, v. 13, n. 2, p. 181-196, 2001.
- DIETZENBACHER, E.; LOS, B. Structural decomposition techniques: Sense and sensivity, **Economic Systems Research**, v. 10, n. 4, p. 307-324, 1998.
- FERREIRA NETO, A. B., CORRÊA, W. L. R., PEROBELLI, F. S. Consumo de energia e crescimento econômico: Uma análise do Brasil no período 1970-2009, **Análise Econômica**, Porto Alegre, n. 65, p. 181-204, mar, 2016.
- FIGUEIREDO, H. L. **Mudanças estruturais na indústria brasileira: Uma análise do período 1995 a 2009**. 2015. 149 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) – *campus* Sorocaba, Sorocaba. 2015.
- FIGUEIREDO, N. R. M.; ARAÚJO JÚNIOR, I. T.; PEROBELLI, F. S. Construção da matriz de insumo-produto híbrida para o estado de Pernambuco e avaliação da intensidade energética e de emissões de CO₂ setorial. **Banco do Nordeste**, v. 1, n. 1, p. 1-20, 2009.
- FLEURY, P. **Logística no Brasil: Situação atual e transição para uma economia verde**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS). 2012. Disponível em: <<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15441>>. Acesso em abril de 2020.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). FGV Think Agro (GVagro). **Comércio internacional e o agronegócio brasileiro**. Relatório Completo. 220 f. 2013.
- FREITAS, L. F. S. **Impacto do consumo das famílias sobre as emissões de gases do efeito estufa no Brasil, entre 1995 e 2009**. 2015. 176 f. Tese (Doutorado em Economia). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas. 2015.
- FREITAS, L. F. S.; RIBEIRO, L. C. S.; SOUZA, K. B.; HEWINGS, G. J. D. The distribution effects of emissions taxation in Brazil and their implications for climate policy, **Energy Economics**, v. 59, p. 37-44, 2016.
- GUILHOTO, J. J. M.; SONIS, M.; HEWINGS, G. J. D.; MARTINS, E. B. Índices de ligações e setores-chave na economia brasileira: 1959-80, **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 24, n. 2, p. 287-314, 1994.

GUILHOTO, J. J. M., SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz de insumo-produto a partir de dados preliminares das Contas Nacionais, **Economia Aplicada**, v. 9, n. 2, p. 277-299, abr./jun, 2005.

GUILHOTO, J. J. M., SESSO FILHO, U. A. Estimação da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: Aplicação e análise de indicadores econômicos para o Brasil em 2005, **Economia & Tecnologia. UFPR/TECPAR**, ano 6, v. 23, p. 53-62, out./dez, 2010.

GUO, S.; HE, P.; BAYARAA, M.; LI, J. Greenhouse gas emissions embodied in the Mongolian economy and their driving forces, **Science of the Total Environment**, v. 714, 2020.

HILGEMBERG, E. M.; GUILHOTO, J. J. M. Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto, **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 49-99, 2006.

LENZEN, M.; SCHAEFFER, R.; KARSTENSEN, J.; PETERS, G. P. Drivers of change in Brazil's carbon dioxide emissions, **Climatic Change**, v. 121, p. 815-824, 2013.

LIMA, L. C. L. **Contabilidade das emissões de GEE nacional: uma análise insumo-produto**. 2020. 64 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2020.

LLOP, M., TOL, R. S. J. Decomposition of sectoral greenhouse gas emissions: a subsystem input-output model for the Republic of Ireland, **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 56, n. 9, 2013.

MACHADO, G.; SCHAEFFER, R.; WORRELL, E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach, **Ecological Economics**, v. 39, p. 409-424, 2001.

MARANHÃO, R. L. A.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Inserção internacional do agronegócio brasileiro. **Texto para discussão n. 2318**. Brasília: IPEA, ago, 2017.

MENDONÇA, M. J. C.; GUTIEREZ, M. B. S. O efeito estufa e o setor energético brasileiro. **Texto para discussão n. 719**. Brasília: IPEA, abr, 2000.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. Cambridge: Cambridge University Press, 750p, 2009.

MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. Desagregação setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: Uma avaliação metodológica, **Economia Aplicada**, v. 18, n. 3, p. 379-419, 2014.

MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A. O uso setorial de energia renovável versus não renovável e as emissões de CO₂ na economia brasileira: Um modelo de insumo-produto híbrido para 53 setores, **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 45, n. 2, p. 289-335, ago., 2015

MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. As relações intersetoriais do setor energético na economia brasileira: uma abordagem de insumo-produto, **Teoria e Evidência Econômica**, v. 21, n. 44, p. 36-75, jan./jun., 2015.

MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. Consumo de energia, emissões de CO₂ e a geração de renda e emprego no agronegócio brasileiro: Uma análise de insumo-produto, **Economia Aplicada**, v. 20, n. 4, p. 383-412, 2016.

MONTOYA, M. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. Dimensão econômica e ambiental do agronegócio brasileiro na década de 2000: Uma análise insumo-produto da renda, do consumo de energia e das emissões de CO₂ por fonte de energia, **Revista Brasileira de Estudos Regionais (RBERU)**, v. 11, n. 4, p. 557-577, 2017.

MORAIS, A. F. **Análise setorial das emissões de CO₂ no Brasil**. 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá, 2007.

OLIVEIRA, M. M.; RIBEIRO, L. C. S.; CARVALHO, T. S. Decomposição estrutural das emissões de gases de efeito estufa dos países do BRIC, **Geosul**, Florianópolis, v. 35, n. 75, p. 506-532, mai./ago., 2020

OLIVEIRA, M. S. **Análise da intensidade de emissão de gases de efeito estufa na demanda final brasileira através do modelo de insumo-produto**. 2011. 78 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Universidade de Brasília (UNB), Brasília, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **World Population Prospects 2019**. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf>. Acesso em março de 2021.

PERDIGÃO, C.; FAIÃO, T. F.; RODRIGUES, R. L.; ESTEVEZ, E. G. Z.; SESSO FILHO, U. A.; ZAPPAROLI, I. D. Decomposição estrutural das emissões de CO₂ do BRIC, **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos (RBERU)**, vol. 11, n. 3, pp. 293-313, 2017

PEROBELLI, F. S.; FARIA, W. R.; VALE, V. A. The increase in Brazilian household income and its impact on CO₂ emissions: Evidence for 2003 and 2009 from input-output tables, **Energy Economics**, v. 52, p. 228-239, 2015.

POMPERMAYER, F. M. Transporte regional sustentável: Alavancas para redução das emissões de CO₂, **Radar: Tecnologia, Produção e Comércio Exterior**. Brasília: IPEA, n. 18, 2012.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil, **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 195-212, abr./jun., 2018.

SCHUSCHNY, A. R. **Tópicos sobre el modelo de insumo-producto: teoria y aplicaciones**. United Nations Publications, n. 37, 2005.

SILVA, M. P. N.; PEROBELLI, F. S. Efeitos tecnológicos e estruturais nas emissões brasileiras de CO₂ para o período 2000 a 2005: Uma abordagem de análise de decomposição estrutural (SDA), **Estudos Econômicos**, v. 42, n. 2, p. 307-335, abr./jun., 2012.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GEE (SEEG) – Observatório do Clima. **Biblioteca**. Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil (1970-2018), 2019. Disponível em <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>>. Acesso em março de 2020.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES DE GEE (SEEG) – Observatório do Clima, 2021. V8.0. **Base de dados**. Disponível em <<http://seeg.eco.br/download>>. Acesso em fevereiro de 2021.

SOUZA, A. M.; ZAPPAROLI, I. D.; SESSO FILHO, U. A.; BRENE, P. R. A. Estrutura produtiva do Brasil, Rússia, Índia e China (BRIC) e seus impactos nas emissões de dióxido de carbono (CO₂), **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 34, p. 25-48, 2015.

SOUZA, K. B.; RIBEIRO, L. C. S.; PEROBELLI, F. S. Reducing Brazilian greenhouse gas emission: scenario simulations of targets and policies, **Economic System Research**, v. 28, n. 4, p. 482-496, 2016.

SUELA, A. G. L. **Efeitos ambientais da implementação do Plano ABC no MATOPIBA: uma abordagem por insumo-produto**. 2019. 70 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2019.

TEIXEIRA, M. D. J.; NOGUEIRA, J. M.; IMBROISI, D.; FARIA, A. M. M. Strategic sectors for greenhouse gas mitigation investment: assessment based upon the Brazil's input-output matrix, **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 25, n. 2, p. 261-283, 2020.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil, **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012.

VIEIRA FILHO, J. E. ; GASQUES, J. G.; SOUSA, A. G.; Agricultura crescimento: cenários e projeções. **Texto para Discussão, n 1642**. Brasília: IPEA, 2011.

XU, Y., DIETZENBACHER, E. A structural decomposition analysis of the emissions embodied in trade, **Ecological Economics**, v. 101, p. 10-20, 2014.

YOUNG, C. E. F. Industrial pollution and export-oriented policies in Brazil, **Revista Brasileira de Economia**, v. 52, n. 4, p. 543-562, out., 1998.

APÊNDICE – Compatibilização dos setores do Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG) com as matrizes de insumo-produto para o Brasil de 2010 e 2017.

Agregação das matrizes de insumo-produto (68 x 68) → (16 x 16)	Agregação das matrizes (16 x 16) com os dados do SEEG
<p><i>1. Agropecuário</i> Agricultura, inclusive o apoio à agricultura e a pós-colheita. Pecuária, inclusive o apoio à pecuária. Produção florestal; pesca e aquicultura.</p>	<p><i>1. Agropecuária</i> Agropecuária.</p>
<p><i>2. Extrativa Mineral</i> Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio.</p>	<p><i>2. Extrativa Mineral</i> Mineração e Pelotização.</p>
<p><i>3. Minerais Não Metálicos</i> Extração de carvão mineral e de minerais não-metálicos. Fabricação de produtos de minerais não-metálicos.</p>	<p><i>3. Minerais Não Metálicos</i> Cerâmica. Cimento.</p>
<p><i>4. Siderurgia</i> Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração. Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura.</p>	<p><i>4. Siderurgia</i> Ferro Gusa e Aço. Ferro Ligas.</p>
<p><i>5. Metais Não Ferrosos e Outros Metais</i> Extração de minerais metálicos não-ferrosos, inclusive beneficiamentos. Metalurgia de metais não-ferrosos e a fundição de metais.</p>	<p><i>5. Metais Não Ferrosos e Outros Metais</i> Não Ferrosos e Outros da Metalurgia.</p>
<p><i>6. Papel e Celulose</i> Fabricação de celulose, papel e produtos de papel.</p>	<p><i>6. Papel e Celulose</i> Papel e Celulose.</p>
<p><i>7. Química</i> Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastômeros. Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos. Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal. Fabricação de produtos de borracha e de material plástico.</p>	<p><i>7. Química</i> Química.</p>
<p><i>8. Têxtil</i> Fabricação de produtos têxteis. Confecção de artefatos do vestuário e acessórios. Fabricação de calçados e de artefatos de couro.</p>	<p><i>8. Têxtil</i> Têxtil.</p>
<p><i>9. Alimentos e Bebidas</i> Fabricação e refino de açúcar. Outros produtos alimentares. Fabricação de bebidas. Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca. Fabricação de produtos do fumo.</p>	<p><i>9. Alimentos e Bebidas</i> Alimentos e Bebidas.</p>
<p><i>10. Comércio e Serviços</i> Educação privada. Água, esgoto e gestão de resíduos.</p>	<p><i>10. Comércio e Serviços</i> Comercial.</p>

Saúde privada.
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos.
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas.
Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores.
Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem.
Telecomunicações.
Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação.
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar.
Atividades imobiliárias.
Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas.
Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D.
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas.
Aluguéis não-imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual.
Outras atividades administrativas e serviços complementares.
Atividades de vigilância, segurança e investigação.
Atividades artísticas, criativas e de espetáculos.
Organizações associativas e outros serviços pessoais.
Serviços domésticos.
Alojamento.
Alimentação.
Edição e edição integrada à impressão.
Impressão e reprodução de gravações.
Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio.

11. Administração Pública

Administração pública, defesa e seguridade social.
Educação pública.
Saúde pública.

11. Administração Pública

Público.

<p><i>12. Outras Indústrias</i> Construção. Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos. Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos. Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos. Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças. Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores. Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas. Fabricação de produtos da madeira. Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos. Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos.</p>	<p><i>12. Outras Indústrias</i> Outras Indústrias.</p>
<p><i>13. Energético</i> Refino de petróleo e coquearias. Fabricação de biocombustíveis. Energia elétrica, gás natural e outras utilidades.</p>	<p><i>13. Energético</i> Produção de Combustíveis. Geração de Eletricidade (Serviço Público).</p>
<p><i>14. Transporte Terrestre</i> Transporte terrestre.</p>	<p><i>14. Transporte Terrestre</i> Transporte rodoviário. Transporte ferroviário.</p>
<p><i>15. Transporte Aquaviário</i> Transporte aquaviário.</p>	<p><i>15. Transporte Aquaviário</i> Transporte Hidroviário.</p>
<p><i>16. Transporte Aéreo</i> Transporte aéreo.</p>	<p><i>16. Transporte Hidroviário</i> Transporte Aéreo.</p>

Fonte: Elaboração própria, com base em Guilhoto e Sesso Filho (2005, 2010); Figueiredo *et al.* (2009), Montoya *et al.* (2014); Montoya e Pasqual (2015); Montoya *et al.* (2017) e CNAE (2020).