

## DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA DOS PAÍSES DO BRIC

Manuela Macedo Oliveira<sup>1</sup>  
Luiz Carlos de Santana Ribeiro<sup>2</sup>  
Terciane Sabadini Carvalho<sup>3</sup>

**Resumo:** Este artigo objetiva decompor os fatores responsáveis pela evolução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) dos países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China) de 1995 a 2009. Para tanto, foi utilizado o método de análise de decomposição estrutural a partir das matrizes de insumo-produto e emissões setoriais de GEE da World Input-Output Database (WIOD). Os principais resultados indicam que, no Brasil, a exportação da agropecuária foi o fator que mais contribuiu para o aumento das emissões no período; na Rússia destacou-se a demanda intermediária da indústria; na Índia e na China, a demanda final da indústria apresentou a maior participação no aumento das emissões desses países. Além disso, os quatro países do BRIC foram exportadores líquidos de emissão de GEE no período analisado, com destaque para a Rússia.

**Palavras-chave:** Gases de Efeito Estufa. BRIC. Insumo-Produto. Análise de Decomposição Estrutural. Comércio Internacional.

## STRUCTURAL DECOMPOSITION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN BRIC COUNTRIES

**Abstract:** This paper aims to decompose the factors responsible for the evolution of greenhouse gases (GHG) emissions from the BRIC countries (Brazil, Russia, India and China) from 1995 to 2009. To do so, we use the structural decomposition analysis from the input-output matrices and sectoral GHG emissions of the World Input-Output Database (WIOD). The main results indicate that, in Brazil, agricultural export was the factor that most contributed to the increase in emissions in the period; in Russia the intermediate demand of the industry stood out; in India and China, industrial final demand has been the largest share of both countries' emissions growth. Moreover, the four BRIC countries were net exporters of GHG emissions in the analyzed period, with emphasis on Russia.

**Keywords:** Greenhouse Gases. BRIC. Input-Output. Structural Decomposition Analysis. International Trade.

## DESCOMPOSICIÓN ESTRUCTURAL DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE LOS PAÍSES DEL BRIC

**Resumen:** Este artículo objetiva descomponer los factores responsables de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de los países del BRIC (Brasil, Rusia, India y China) de 1995 a 2009. Para tanto, se utilizó el método

---

<sup>1</sup> Secretaria Geral de Estado de Governo, Aracaju, Brasil, [mmanumacedo@gmail.com](mailto:mmanumacedo@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9734-2976>

<sup>2</sup> Universidade Federal de Sergipe, Departamento de Economia, São Cristovão, Brasil, [ribeiro.luiz84@gmail.com](mailto:ribeiro.luiz84@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-6374-3811>

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Economia, Curitiba, Brasil, [tersabadini@gmail.com](mailto:tersabadini@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-1082-1609>

de análisis de descomposición estructural a partir de las matrices de insumo-producto y emisiones sectoriales GEI de la World Input-Output Database (WIOD). Los principales resultados indican que, en Brasil, la exportación agropecuaria fue el factor que más contribuyó para el aumento de las emisiones en el período; en Rusia se destacó la demanda intermedia de la industria; en India y China, la demanda final de la industria presentó la mayor participación en el aumento de las emisiones de los países. Además, los cuatro países del BRIC fueron exportadores netos de emisión de GEI en el período analizado, con destaque para Rusia.

**Palabras clave:** Gases de Efecto Invernadero. BRIC. Insumo-Producto. Análisis de descomposición estructural. Comercio internacional.

## Introdução

A temperatura mundial está aumentando e algumas das principais conclusões do Quarto Relatório de Avaliação (AR4) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) são que o aquecimento global é inequívoco e que a ação humana é a maior responsável pelo aquecimento global registrado no século XX (IPCC, 2007).

A queima de combustíveis fósseis, incêndios florestais e práticas agropecuárias são as maiores fontes de emissão antropogênica dos gases poluentes na atmosfera. De acordo com o IPCC (2007), historicamente as queimas de combustíveis fósseis são responsáveis por cerca de 90% das emissões antropogênicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), principal gás do efeito estufa (GEE). A geração de eletricidade (via combustíveis fósseis) e o uso de energia são apontados como as principais razões de queima de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, excessivas emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, enquanto a agropecuária é reconhecidamente o principal setor emissor de metano (CH<sub>4</sub>) e de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O).

O padrão de emissão de GEE é historicamente diferente em países desenvolvidos e países em desenvolvimento. Os primeiros são os principais responsáveis pelas mudanças climáticas observadas no mundo, pois são países altamente industrializados e que mais emitiram gases poluentes por muitas décadas. Porém, os países em desenvolvimento têm cada vez mais contribuído com a emissão de GEE na atmosfera, alcançando, em conjunto, o posto de maiores emissores da atualidade (BANCO MUNDIAL, 2014).

Outro fato que chama atenção é que a elevação da poluição em países emergentes ocorreu concomitante à estabilização das emissões dos países desenvolvidos (VALE *et al.*, 2017), corroborando com a hipótese de refúgio da

poluição. De acordo com esta hipótese, pode estar acontecendo uma fuga de poluição a partir das relações de comércio internacional, pois parece ter aumentado a exportação de bens intensivos em poluição dos países com menos regulamentação ambiental para os países com maiores regulamentações (COPELAND e TAYLOR, 2004; CARVALHO *et al.*, 2013).

Nesse sentido, chama-se atenção para os países pertencentes ao acrônimo BRIC – Brasil, Rússia, Índia e China – devido ao crescente papel desempenhado por essas economias emergentes no cenário internacional, inclusive na diplomacia climática. Ademais, são detentores de grande extensão territorial, vasta população, diversidade em recursos naturais e energéticos e com ascendente participação no comércio internacional.

É importante destacar que os países do BRIC não formam um grupo homogêneo. Há diversas especificidades em cada país, garantindo diferentes trajetórias de crescimento e diferentes perfis enquanto economias poluidoras. A China, a Índia e a Rússia possuem uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis, destacando-se as emissões via produção e uso de energia. Em contraponto, o Brasil possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, com a produção de energia majoritariamente via biocombustíveis e hidrelétrica, ambas fontes renováveis (FERNANDES *et al.*, 2012; GÓMEZ, CHAMON e LIMA, 2012; ZANDONAI, 2015). No Brasil, o setor historicamente mais poluidor de GEE é o de mudança do uso da terra e florestas (MCTIC, 2016) em decorrência do desmatamento, queimadas e da expansão da fronteira agrícola.

Os países do BRIC têm apresentado forte intensificação das emissões de GEE nas últimas décadas, além de acelerado crescimento econômico. Com isso, surge o interesse em analisar a relação entre o desenvolvendo desses países e a poluição ambiental, mais especificamente as emissões de GEE.

O objetivo deste estudo é decompor os fatores responsáveis pela evolução das emissões de GEE dos países do BRIC no período 1995-2009, buscando verificar os elementos e setores que mais contribuíram para o aumento das emissões desses países. Ademais, objetiva-se identificar as emissões incorporadas nas exportações e nas importações desses países em 1995, 2000, 2005 e 2009, buscando indícios de que a hipótese do refúgio da poluição esteja acontecendo em tais países.

Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizadas técnicas de insumo-produto, com base nas matrizes de insumo-produto e emissões setoriais de GEE da

*World Input-Output Database*<sup>4</sup> (WIOD). Em termos de contribuição a trabalhos semelhantes (como Perdigão *et al.*, 2018; Vale, Perobelli e Chimeli, 2017) que fazem análises com a emissão de CO<sub>2</sub>, este vai considerar as emissões de três GEE conjuntamente (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O). Essa diferenciação foi considerada porque o setor de agropecuária é intensivo em emissão de CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O em todos os países, e este possui contribuição relevante nas emissões gerais dos países do BRIC, sobretudo no Brasil.

Além desta introdução, este artigo consta de mais cinco seções. A próxima seção traz uma revisão de literatura sobre os padrões históricos de emissão de GEE dos países do BRIC. Nas seções seguintes são apresentadas a metodologia utilizada e a base de dados, respectivamente. A apresentação e discussão dos resultados aparecem em seguida. E por fim, as considerações finais.

### Referencial teórico

A partir da existência de diversas heterogeneidades entre os países do BRIC, vê-se a necessidade de fazer uma breve contextualização da economia de cada país individualmente, analisando alguns elementos socioeconômicos e ambientais.

Ainda que o Brasil tenha características urbano-industriais, o país possui destaque mundial no setor agropecuário, que é reconhecidamente grande emissor de CH<sub>4</sub> e de N<sub>2</sub>O (ANGONESE *et al.*, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2018; ALMEIDA *et al.*, 2018). Historicamente, mudanças do uso da terra e desmatamento são os principais responsáveis pelas emissões de GEE do país (CERRI e CERRI, 2007; FERNANDES *et al.*, 2012; ZANDONAI, 2015; SILVA e SANGUETTA, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2018), o que coloca o Brasil entre os dez países que mais emitem atualmente, e suas emissões têm aumentado continuamente.

O Brasil é um dos maiores consumidores de energia no mundo, ainda que seu consumo *per capita* esteja abaixo da média mundial. Há de se destacar que a matriz energética brasileira é sensivelmente diferente em relação aos demais países do BRIC, nos quais a energia é majoritariamente via combustíveis fósseis, enquanto no Brasil essa fonte de energia representa menos da metade (FERNANDES *et al.*, 2012; GÓMEZ *et al.*, 2012; ZANDONAI, 2015).

---

<sup>4</sup> Na WIOD não possui tais dados para a África do Sul, que pertence ao grupo do BRICS desde o final de 2010. Ademais, o país não fazia parte do bloco durante o período de análise deste trabalho.

Os biocombustíveis<sup>5</sup> e a energia hidrelétrica possuem grande participação na matriz energética brasileira, fontes em que o país ocupa posições de destaque na produção mundial, em 2<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> lugar, respectivamente (GÓMEZ *et al.*, 2012). A opção brasileira pelo uso de fontes de energia renováveis se dá principalmente pelos baixos custos, pois o país possui grande disponibilidade de recursos hídricos e alta produção de matéria-prima para biocombustíveis (GÓMEZ *et al.*, 2012). Isso faz com que as emissões provenientes do setor energético brasileiro sejam relativamente baixas em comparação aos demais países do BRIC.

Silva e Sanguetta (2017) afirmam que tem crescido o uso de fontes renováveis de energia no país, porém o uso de fontes não-renováveis tem crescido ainda mais rapidamente, resultando em contínuo crescimento das emissões. Uma das explicações para isso é que, em condições de escassez de água nos reservatórios das hidrelétricas, uma das saídas é aumentar a produção de energia de outras fontes, como aconteceu em 2012, por exemplo. O Governo determinou que entrasse em operação todas as usinas térmicas<sup>6</sup> disponíveis, com o intuito de economizar água nos reservatórios das hidrelétricas (CERQUEIRA *et al.*, 2015). Termelétrica é uma fonte de energia não renovável e propulsora de altas emissões de GEE, de forma que as emissões via uso de energia estão ganhando cada vez mais espaço. Assim, observa-se uma tendência recente de alteração no padrão de emissões brasileiras de GEE (MCTIC, 2016; SILVA e SANGUETTA, 2017), ainda que bastante moderada.

Outra fonte alternativa às hidrelétricas é a energia nuclear<sup>7</sup>, que conta com duas usinas existentes, uma em construção e outras quatro planejadas. O Brasil conta ainda com o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), lançado em 2002, com o objetivo de agregar a maior diversificação energética possível, investindo em energia eólica, fotovoltaica, biomassa e pequenas hidrelétricas (SIMIONI, 2006; GÓMEZ, CHAMON e LIMA, 2012). O uso dessas energias tem crescido no país, porém a transição para o uso dessas fontes de energia sofre de altos custos em comparação ao baixo custo das hidrelétricas, o

---

<sup>5</sup>Os biocombustíveis são divididos em etanol e biodiesel e sua posição de relevância no Brasil é consequência de políticas públicas de incentivo iniciadas ainda na década de 1970 (FERNANDES *et al.*, 2012).

<sup>6</sup>Usinas térmicas são movidas a derivados de petróleo. Produzem energia a partir da queima de carvão, óleo combustível, gás natural.

<sup>7</sup>Usinas nucleares funcionam a partir da fissão de materiais radioativos. É uma fonte de energia limpa em relação a emissões de GEE.

que continua garantindo às hidrelétricas uma posição central na matriz energética brasileira.

A Rússia destaca-se como o quarto país que mais produz e consome eletricidade (ZANDONAI, 2015). O consumo de energia da Rússia é majoritariamente oriundo de combustíveis fósseis, obtendo o maior consumo *per capita* de energia entre os países do BRIC e acima da média mundial (FERNANDES et al., 2012). Sua matriz energética é composta por 66% de combustíveis fósseis (petróleo, gás natural e carvão), seguido pela hidrelétrica com 18% e energia nuclear com 16% (SILVA e SANGUETTA, 2017). A predominância dos combustíveis fósseis na geração de eletricidade na Rússia, sobretudo via gás natural, se dá devido à disponibilidade de recursos, pois o país possui a maior reserva de gás natural do mundo, a segunda maior de carvão e a oitava maior de petróleo (GÓMEZ et al., 2012).

A produção de petróleo da Rússia alterna com a Arábia Saudita a primeira posição no *ranking* mundial (FERNANDES et al., 2012; SILVA e SANGUETTA, 2017). A Rússia ocupa a segunda posição em produção de gás natural e quinta posição em produção de carvão (GÓMEZ et al., 2012). A forte demanda externa coloca a Rússia como maior exportadora de gás natural e segunda maior exportadora de petróleo (GÓMEZ et al., 2012; FERNANDES et al., 2012). A posição de destaque na exportação de combustíveis, especialmente para os países europeus, coloca a Rússia como um dos mais importantes atores geopolíticos, aliado à sua posição histórica de potência mundial.

A segunda fonte de energia de maior investimento na Rússia é a de origem nuclear, que representa cerca de 10% da matriz energética do país, com 33 usinas nucleares em operação e outras dez em construção (GÓMEZ et al., 2012). Em síntese, a estratégia política do governo russo tem sido de maiores investimentos em fontes não renováveis e não sustentáveis de energia. Com isso, a Rússia está entre os cinco países que mais emitem GEE do mundo (BANCO MUNDIAL, 2014), sobretudo por ser um grande produtor, consumidor e exportador de energia, visto que a matriz energética da Rússia é abundante em recursos naturais e baseada em combustíveis fósseis.

Faz-se importante frisar que a crise econômica internacional de 2008 afetou fortemente a economia russa, gerando desaceleração em virtude da redução nos preços e na demanda global de seus principais produtos exportados – petróleo e gás natural –, além de queda também na demanda doméstica (MUNIZ, 2011). Com isso,



houve redução nas emissões de GEE do país. Segundo Muniz (2011), a tendência de decréscimo da economia russa durou até outubro de 2009.

Mesmo com redução nas emissões, a Rússia segue tendo papel de destaque na questão climática e sendo um dos cinco países mais poluidores do mundo. O país continua dependente da exportação de produtos primários, além de grande produtor e exportador de energia baseada em combustíveis fósseis.

Atualmente a Índia está entre os cinco países que mais emitem GEE (BANCO MUNDIAL, 2014). As emissões indianas aumentaram consideravelmente nas últimas décadas, sobretudo impulsionadas pelo aumento crescente da população e do consumo de energia. A matriz energética indiana, embora indique participação importante de biocombustíveis e biomassa, revela a predominância de insumos fósseis e aponta, ainda, uma elevação do uso dessas fontes (SILVA e SANGUETTA, 2017). Outra consequência da expansão da demanda indiana é a necessidade de importação de insumos energéticos (FERNANDES *et al.*, 2012), de maneira que o país importa cerca de 25% da energia que consome (GÓMEZ *et al.*, 2012).

Desde a década de 1980, o país pratica políticas de renovação da matriz energética, que sofre de baixa eficiência. O governo da Índia tem como foco investimentos em energia nuclear como parte do projeto estatal de baixa intensidade em carbono. O país conta com 30 usinas nucleares e mais cinco em construção e deve construir ainda mais para atingir os objetivos do projeto (GOMEZ *et al.*, 2012). Dentre as energias renováveis, nos últimos anos houve um considerável desenvolvimento da energia eólica, mas ainda assim, essa fonte de energia representa menos de 2% (FERNANDES *et al.*, 2012). Esses autores salientam que houve redução das energias renováveis entre 1990 e 2009 na Índia.

A economia chinesa destaca-se pelas elevadas taxas de crescimento, sobretudo quando comparada a outras economias em desenvolvimento, despontando como a economia mais promissora do grupo dos emergentes. O PIB chinês representa cerca de metade do PIB agregado do BRIC (BRANCO, 2015).

O crescimento da China foi acompanhado de progressivo aumento das emissões de GEE. Nesse aspecto, há de se destacar que atualmente a economia chinesa é considerada a mais poluidora do mundo (BANCO MUNDIAL, 2014). A produção e uso de energia representam a maior parte das emissões chinesas, pois sua matriz energética é composta majoritariamente por combustíveis fósseis, sobretudo, carvão (GÓMEZ *et al.*, 2012; ZANDONAI, 2015; SILVA e SANGUETTA, 2017; PERDIGÃO *et al.*, 2017).

A dependência chinesa de combustíveis fósseis é responsável pelas altas emissões de GEE do país. Nesse sentido, a China possui a terceira maior reserva de carvão do mundo e desponta como o maior consumidor e produtor de carvão. O país é o segundo maior consumidor de petróleo e o quarto maior no consumo de gás natural. Ademais, destaca-se como maior consumidor de energia e o maior emissor de GEE em valores absolutos (GÓMEZ *et al.*, 2012; ZANDONAI, 2015).

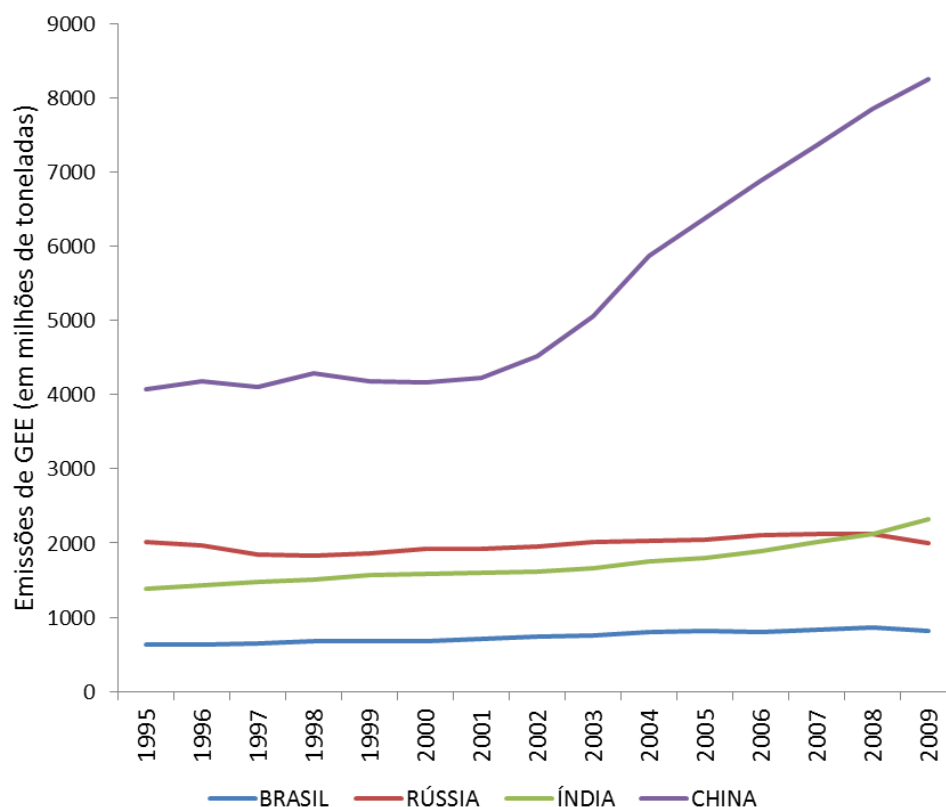
Segundo Zandonai (2015), a posição da China quanto às questões climáticas foi tradicionalmente negligente, mas isso tem mudado desde 2007, após a aprovação do Plano Nacional de Mudanças Climáticas. A China foi o maior investidor em energias renováveis entre 2007 e 2010, tornando-se o maior mercado de energia solar, o maior produtor de energia hidrelétrica, o terceiro maior produtor de biocombustíveis e o quinto maior produtor de energia eólica (GÓMEZ *et al.*, 2012). Ainda assim, os biocombustíveis ocupam uma posição modesta na matriz energética chinesa, mas dá indícios de que caminha para diminuir a dependência de combustíveis fósseis e a importação de energia.

Os reflexos da transição para uma economia menos intensiva em carbono já se fazem presentes na economia chinesa, que teve sua intensidade energética reduzida em 19% entre 2006 e 2010 (VIALLI, 2015), demonstrando a capacidade da China na transição para uma economia de baixo carbono.

A China é responsável por mais da metade das emissões de GEE do BRIC, com participação ascendente em relação ao grupo, chegando a representar 62% em 2009. Os quatro países aumentaram suas emissões de 1995 a 2009, o que pode ser observado no Gráfico 01.

O comércio internacional e emissões de GEE permite que bens sejam produzidos em uma localidade e consumidos em outra, gerando uma separação geográfica entre o consumo e a emissão de poluentes. As políticas e acordos internacionais para redução de emissões de GEE – como o Protocolo de Quioto, por exemplo – não consideram as emissões incorporadas nos fluxos de comércio, pois se baseiam apenas nas emissões locais. Porém, diante da expansão da integração mundial e do caráter global dos efeitos das emissões de GEE, cada vez mais o papel do comércio está sendo incluído nas discussões sobre mudanças climáticas.



**Gráfico 01** – Evolução das emissões dos países do BRIC – 1995 - 2009

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD (2013).

No centro do debate sobre comércio internacional e meio ambiente está a hipótese do refúgio da poluição (TAYLOR, 2004), que sugere uma relação direta entre regulamentação ambiental e fluxos de comércio internacional. Com base nesta hipótese, o livre comércio induz o movimento da produção intensiva em poluição dos países desenvolvidos e com regulamentação ambiental rigorosa para os países de baixa renda e regulação ambiental frouxa. Isso deve ocorrer porque a produção suja é mais custosa para países com normas ambientais rígidas.

De acordo com a hipótese do refúgio da poluição, o comércio contribui para que a poluição dos países desenvolvidos diminua, pois, suas indústrias passam a ser mais limpas, ao passo que a poluição dos países de baixa renda tende a aumentar. O saldo final é o aumento na poluição mundial, pois as indústrias mais poluidoras estariam se localizando nos países com baixos padrões ambientais (TAYLOR, 2004).

As emissões globais de GEE aumentaram nos últimos anos, principalmente nos países em desenvolvimento. Observa-se que a estabilização das emissões dos países desenvolvidos ocorreu concomitante a elevação da poluição em países emergentes (VIEIRA, 2015; VALE *et al.*, 2017), reforçando a ideia de que esteja

acontecendo uma fuga de poluição a partir das relações de comércio internacional. Desta forma, parece ter aumentado a exportação de bens intensivos em poluição dos países com menos regulamentação ambiental para os países com maiores regulamentações (CARVALHO *et al.*, 2013; VIEIRA, 2015; VALE *et al.*, 2017).

## METODOLOGIA

A análise de insumo-produto, desenvolvida por Wassily Leontief no final da década de 1930, tem como objetivo principal analisar as interdependências entre as atividades produtivas da economia (MILLER e BLAIR, 2009). O uso de modelos de insumo-produto em questões ambientais tem crescido nos últimos anos e, segundo Guilhoto (2004), isso se deve ao fato do método de insumo-produto ser um dos mais indicados para mensurar impactos indiretos da poluição.

Em termos matriciais, a equação básica do modelo de insumo-produto pode ser representada como:

$$x = Ax + y \quad (1)$$

na qual  $x$  representa o vetor de produção total;  $y$  é o vetor de demanda final;  $A$  é a matriz tecnológica,  $A = [a_{ij}]$  que representa a quantidade total do produto  $i$  utilizado como insumo produtivo na produção de uma unidade do produto  $j$ , para todo  $j = 1, \dots, n$ . Assim, o coeficiente  $a_{ij}$  mede uma relação fixa entre a produção de um setor e os seus insumos. A solução do modelo básico de Leontief é representada como:

$$x = (I - A)^{-1}y \quad (2)$$

Em que  $(I - A)^{-1}$  corresponde à matriz Inversa de Leontief que captura os efeitos diretos e indiretos de uma variação da demanda final.

O primeiro passo para incorporar as emissões no modelo de insumo-produto é definir os coeficientes de intensidade de emissão, os quais correspondem à razão entre a emissão de GEE do setor  $i$  e o valor bruto da produção ( $X$ ) deste setor, como representado na equação 3.

$$e = \frac{GEE}{X} \quad (3)$$

Em que:

$e$  = coeficiente de intensidade de emissão

$GEE$  = emissões de GEE do setor em determinado ano

A partir desse coeficiente incorpora-se as emissões de GEE ao modelo de insumo-produto pré-multiplicando a equação 2 por um vetor de coeficiente de emissões (equação 3), como é mostrado na equação 4.

$$m = e(I - A)^{-1} \quad (4)$$

Em que  $m$  indica as emissões liberadas durante o processo de produção de bens finais e  $e$  representa uma matriz diagonal, em que os elementos da diagonal principal são os coeficientes de intensidade de emissão de GEE. Portanto, na equação 4 está representada a matriz inversa de Leontief ponderada pelos coeficientes de intensidade de emissão de GEE, conforme o interesse neste estudo.

O modelo de insumo-produto permite inúmeros instrumentos de estudo, dentre eles está o método de análise de decomposição estrutural, que será visto com mais detalhamento na sequência.

### **Análise de decomposição estrutural (SDA)**

O objetivo desta análise é decompor as causas das variações das emissões de GEE dos países do BRIC em um determinado intervalo de tempo. A SDA é um método estático comparativo que utiliza dados históricos de dois ou mais períodos para decompor as variáveis de interesse. A SDA consegue captar os efeitos diretos e indiretos da demanda final (WACHSMANN, 2005). Nesse sentido, entende-se como efeitos diretos o impacto que uma mudança na demanda final por determinado bem causa na produção deste bem. Porém, os setores da economia estão relacionados entre si, de forma que uma alteração na demanda de um bem não influencia apenas a produção deste bem, mas também de outros bens e setores, mesmo que relacionados indiretamente, e esse é o chamado efeito indireto.

A partir da SDA é possível decompor as relações de insumo-produto entre dois, ou mais, pontos do tempo (consecutivos, ou não). Para isso, são necessárias

ao menos duas matrizes de insumo-produto, que retratem períodos diferentes de uma determinada economia (CASLER E ROSE, 1998, WACHSMANN, 2005; MILLER e BLAIR, 2009, NOVAIS e PEROBELLI, 2009; SESSO FILHO et al., 2010; AMAY, 2010; CABRAL e PEROBELLI, 2012, MOREIRA E RIBEIRO, 2013, SOUZA et al., 2011). Portanto, no presente estudo foram utilizadas matrizes de insumo-produto dos anos 1995 e 2009 para cada um dos países do BRIC.

Uma alteração nas emissões de GEE de um ano para o outro pode ser associada à mudanças nos coeficientes técnicos de produção (mudança estrutural) e/ou nos padrões de demanda final (MILLER e BLAIR, 2009). A demanda final é composta por quatro elementos: consumo das famílias, investimento, gastos do governo e exportações.

Não existe apenas uma forma de se calcular a decomposição estrutural, mas várias formas diferentes<sup>8</sup>. No presente estudo, tal método foi calculado conforme especificado por Souza et al. (2011). A equação 5 apresenta a decomposição estrutural que será aplicada para cada país do BRIC entre 1995 e 2009:

$$\Delta x = \underbrace{\left(\frac{1}{2}\right)}_{(i)} \Delta B(f_{t-k} + f_t) + \underbrace{\left(\frac{1}{2}\right)}_{(ii)} B_t + B_{t-k} \underbrace{(\Delta C)}_{(iii)} + \underbrace{\Delta I}_{(iv)} + \underbrace{\Delta G}_{(v)} + \Delta X \quad (5)$$

Em que:

$x$  é o vetor de valor bruto na produção;  $B$  é a matriz inversa de Leontief ponderada pelas emissões de GEE;  $f_t$  é a demanda final total no período  $t$ ;  $C$  é o vetor de consumo das famílias;  $I$  é o vetor de investimentos;  $G$  é o vetor do consumo do governo;  $E$  é o vetor das exportações.

Os subscritos  $t$  e  $t - k$  representam os dois anos de análise, isto é, 2009 e 1995, respectivamente.

Adaptando para o problema das emissões de GEE, na equação (5) tem-se que a variação das emissões incorporadas à produção entre  $t$  e  $t - k$  pode ser dividida em: (i) Mudanças na Demanda Intermediária ou Mudança na Função de Produção Leontief: mede a alteração nas emissões provocada pela mudança nos coeficientes técnicos de produção; (ii) Mudanças no Consumo das Famílias: mostra as alterações decorrentes da variação do consumo final das famílias entre os anos analisados; (iii) Mudanças no nível de Investimento: capta as alterações decorrentes

<sup>8</sup>Outras formas de aplicação da SDA podem ser vistas em Miller e Blair (2009, p. 593-621).

da variação na formação bruta de capital fixo entre os anos analisados; (iv) Mudanças no Consumo do Governo: mostra o impacto das variações nos gastos do governo para cada um dos setores; (v) Mudanças na Demanda Externa: representa as alterações na demanda total decorrentes da variação das exportações.

O Comércio internacional de emissões das tabelas de insumo-produto podem ser regionais ou multi-regionais. As tabelas regionais traduzem as interações entre setores da economia de uma região ou país, enquanto as multi-regionais retratam essa mesma relação entre mais de uma região ou país. Para identificar as emissões incorporadas nas exportações e importações dos países do BRIC foram utilizadas matrizes de insumo-produto inter-países, pois o interesse são as emissões no comércio internacional e não apenas a poluição produzida em cada país isoladamente. Desta forma, a matriz aqui utilizada busca captar também o comércio entre os setores da economia de um determinado país com os setores dos outros 39 países da base de dados, dando ênfase aos países membros do BRIC.

Para analisar se o Brasil, China, Índia e Rússia foram, em 2009, mais intensivos na importação ou exportação de bens que incorporam emissão de GEE, foram comparados os somatórios das linhas e das colunas da matriz de emissão destes países, para cada país isoladamente, excluindo as linhas e colunas referentes ao comércio dentro do próprio país.

### **A base de dados e análise exploratória**

Para alcançar o objetivo proposto, foram utilizadas matrizes de insumo-produto e de emissões setoriais de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), gás metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) dos países do BRIC. Os dados foram coletados junto ao banco de dados mundial de insumo-produto, a World Input-Output Database – WIOD (TIMMER *et al.*, 2015). Os dados estão organizados em 34 setores da economia, apresentados no Quadro 01.

Na WIOD são disponibilizadas matrizes de insumo-produto para 40 países<sup>9</sup>, sendo 27 da União Europeia e outros 13 países selecionados, dentre eles Brasil,

---

<sup>9</sup> Austrália (AUS), Áustria (AUT), Bélgica (BEL), Bulgária (BGR), Brasil (BRA), Canadá (CAN), China (CHN), Chipre (CYP), República Checa (CZE), Alemanha (DEU), Dinamarca (DNK), Espanha (ESP), Estônia (EST), Finlândia (FIN), França (FRA), Reino Unido (GBR), Grécia (GRC), Hungria (HUN), Indonésia (IDN), Índia (IND), Irlanda (IRL), Itália (ITA), Japão (JPN), Coreia (KOR), Lituânia (LTU), Letônia (LVA), Luxemburgo (LUX), México (MEX), Malta (MLT), Países Baixos (NLD), Polônia (POL), Portugal (PRT), Romênia (ROU), Rússia (RUS), Eslováquia (SVK), Eslovênia (SVN), Suécia (SWE), Taiwan (TWN), Turquia (TUR) e Estados Unidos da América (USA).

China, Índia e Rússia, bem como dados de emissões setoriais de GEE por tipo de gás para os anos entre 1995 e 2009, compatíveis com as matrizes.

Aqui, os três tipos de gás são usados em conjunto e representam o total de gases de efeito estufa e, por isso, foram compatibilizados em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (t/CO<sub>2</sub>e). O cálculo para essa contabilização, conforme estabelecido pelo IPCC, é feito de maneira que 1 CO<sub>2</sub> equivale a 21 CH<sub>4</sub> e 310 N<sub>2</sub>O.

Além das tabelas de fluxos monetários dos insumos intermediários, as matrizes de insumo-produto da WIOD também trazem informações da demanda final, decomposta em consumo das famílias, consumo final das organizações sem fins lucrativos a serviço das famílias, consumo do governo, formação bruta de capital fixo, variações nos estoques e exportações. Aqui, esses seis elementos da demanda final serão agregados em quatro: consumo das famílias (proveniente da soma do consumo das famílias e do consumo das organizações sem fins lucrativos a serviço das famílias); consumo do governo; investimento (soma da formação bruta de capital fixo e das variações nos estoques); e exportações.



**Quadro 01 – Setores da Economia**

1	Agricultura, caça, silvicultura e pesca
2	Indústria extrativa
3	Alimentos, bebidas e tabaco
4	Têxtil e produtos têxteis
5	Couro e calçados
6	Madeira e produtos de madeira
7	Celulose, papel, impressão e publicação
8	Coque, petróleo refinado e combustível nuclear
9	Químicos e produtos químicos
10	Borracha e plásticos
11	Outro Minerais não-metálicos
12	Metais básicos e metais fabricados
13	Máquinas
14	Equipamento elétrico e ótico
15	Equipamento de transporte
16	Indústrias diversas e reciclagem
17	Eletricidade, fornecimento de gás e água
18	Construção
19	Venda e manutenção de veículos; Venda a varejo de combustível
20	Comércio atacadista e de comissões, exceto veículos motorizados
21	Comércio varejista; Reparação de bens domésticos
22	Hotéis e restaurantes
23	Transporte terrestre
24	Transporte aquático
25	Transporte aéreo
26	Outras atividades de transporte; Atividades de agências de viagens
27	Correios e Telecomunicações
28	Intermediação financeira
29	Atividades imobiliárias
30	Aluguel de máquinas e equipamentos e outras atividades comerciais
31	Administração e defesa pública
32	Educação
33	Saúde e trabalho social
34	Outros serviços comunitários, sociais e pessoais

Fonte: Elaboração própria com base na WIOD (2013).

Grandes setores: Agropecuária (1); Indústria (2 – 18); Serviços (19 – 34).

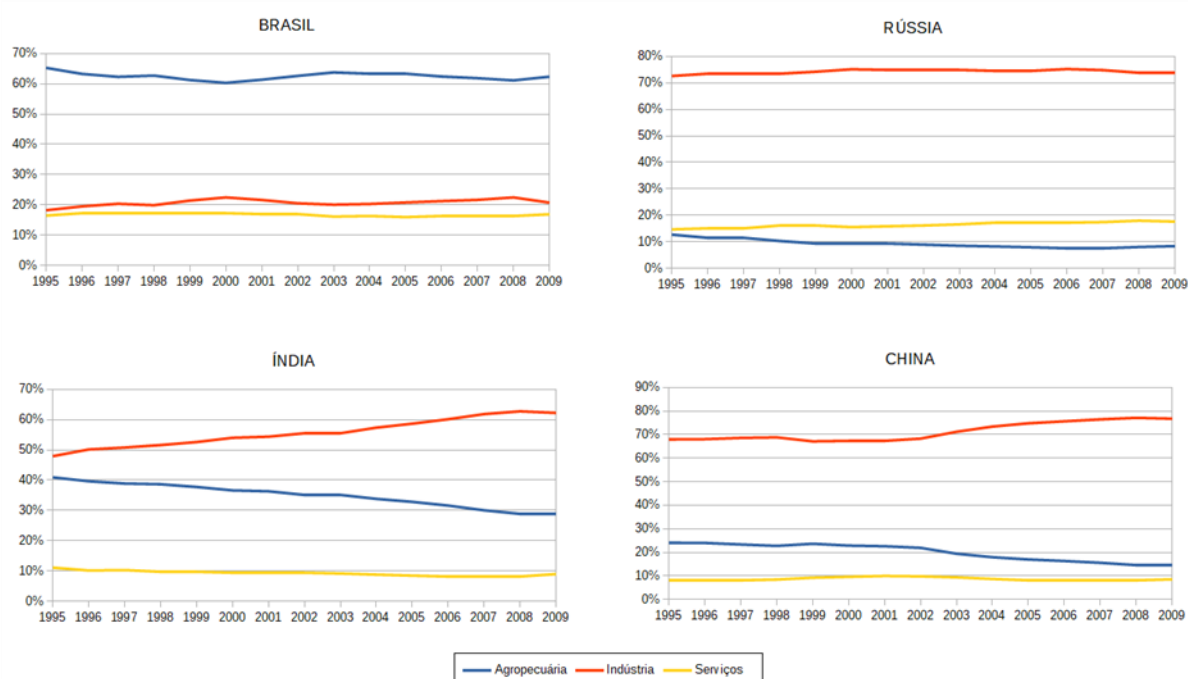
Para a análise de mudanças estruturais no período, serão utilizadas tabelas de 1995 e 2009. Os dados de emissão de GEE possuem a mesma dimensão temporal e desagregação setorial das tabelas de insumo-produto.

As matrizes de insumo-produto da WIOD são disponibilizadas anualmente a preços correntes. Para evitar distorções causadas pela inflação, faz-se necessário

que os valores estejam a preços constantes. Assim, os dados de 2009 foram deflacionados a preços de 1995. O deflacionamento foi feito para cada um dos países a partir de índices de preços setoriais disponibilizados pela própria WIOD.

Há distinções significativas no perfil de emissão setorial de GEE entre os países do BRIC, que são evidenciadas na Figura 01. Foram usados dados de emissão dos grandes setores – agropecuária, indústria e serviços – para os anos entre 1995 e 2009.

**Figura 01 – Porcentagem de emissões setoriais de GEE dos países do BRIC**



Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD (2013).

Observa-se um padrão de emissão setorial para cada um dos países do BRIC, em que o setor agropecuário se destaca em emissões de GEE no Brasil, enquanto o setor industrial se destaca nos demais países. É importante ressaltar que, embora a agropecuária se destaque em termos relativos no Brasil, em termos absolutos a Índia e a China emitiram mais GEE pela agropecuária do que o Brasil em todos os anos analisados.

## Resultados e discussões

Na Tabela 01 são resumidos os resultados da decomposição estrutural da variação de emissão de GEE para os países do BRIC para 1995 e 2009. Os fatores de decomposição são consumo das famílias (CF), consumo do governo (CG),

investimento (INV), exportação (EXP) e padrão técnico (PT), sendo os quatro primeiros elementos da demanda final.

Valores positivos na decomposição dos elementos da demanda final indicam uma alteração favorecendo setores mais intensivos em emissões de GEE. Consequentemente, valores negativos indicam o oposto.

O padrão técnico mostra o impacto das mudanças estruturais decorrentes de alterações nos coeficientes técnicos de emissão de GEE. Valores positivos na decomposição do padrão técnico indicam que houve um rearranjo nas relações setoriais, aumentando a dependência por setores com elevados níveis de emissão de GEE (PERDIGÃO et al., 2018). Aqui tem-se uma limitação nos dados, pois as tabelas de insumo-produto da WIOD são estimadas em função dos componentes da demanda final, não do consumo intermediário, de forma que não é possível captar com exatidão a variação do padrão técnico.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 01, houve mudança no padrão técnico do Brasil e da Rússia em direção aos setores mais intensivos em emissões, enquanto na Índia apenas a indústria apresentou variação técnica positiva, indicando que tal setor passou a ser mais utilizado enquanto insumos de produção, aumentando sua participação nas emissões do país. O resultado para a China foi negativo, sugerindo ter havido redução na demanda intermediária de setores intensivos em emissão e/ou melhora nas técnicas produtivas a favor de uma produção mais limpa. Mais detalhes podem ser observados nas Tabelas 02, 03, 04 e 05, com a decomposição para o Brasil, Rússia, Índia e China, respectivamente.

**Tabela 01** – Decomposição estrutural da variação de emissão de GEE (t/CO<sub>2</sub>e.)

Países	Setores	$\Delta$ CF	$\Delta$ GG	$\Delta$ INV	$\Delta$ EXP	$\Delta$ PT
Brasil	Agropecuária	-89631,3	76,5	-79479,6	45963,0	9,1
	Indústria	-30203,2	635,4	-297311,6	-4502,2	11,7
	Serviços	-40128,5	-1825,3	3285,6	463,7	10,4
	<b>TOTAL</b>	<b>-159963,0</b>	<b>-1113,5</b>	<b>-373505,6</b>	<b>41924,6</b>	<b>31,1</b>
Rússia	Agropecuária	-1091322,6	-36116,1	-162165,6	-102688,6	106,2
	Indústria	-3034460,0	-375589,2	-825960,6	-5224640,6	2322,7
	Serviços	-1542946,6	-185227,4	-254940,3	-757671,2	498,3
	<b>TOTAL</b>	<b>-5668729,2</b>	<b>-596932,7</b>	<b>-1243066,5</b>	<b>-6085000,4</b>	<b>2927,3</b>
Índia	Agropecuária	1103,0	11403,5	-80129,3	-6925,5	-30,7
	Indústria	241385,6	100520,4	118107,3	54624,7	26,9
	Serviços	21122,2	38027,1	44271,3	14083,6	-1,9
	<b>TOTAL</b>	<b>263610,9</b>	<b>149950,9</b>	<b>82249,2</b>	<b>61782,8</b>	<b>-5,6</b>
China	Agropecuária	429697,5	35955,6	177857,0	3104,3	-7,4
	Indústria	797365,3	-2582,5	51700,6	1220578,1	-104,6
	Serviços	428790,5	71047,6	112264,4	105943,1	-9,9
	<b>TOTAL</b>	<b>1655853,3</b>	<b>104420,6</b>	<b>341822,0</b>	<b>1329625,5</b>	<b>-121,9</b>

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD.

Nota:  $\Delta$  = variação

No Brasil, a exportação da agropecuária se destaca como grande responsável pelo aumento das emissões de GEE no período analisado, sendo que este componente da demanda final também ajuda a explicar a evolução das emissões do setor de serviços. Este resultado faz-se importante visto que a agropecuária é o setor brasileiro que mais emite GEE, colocando as exportações em evidência quanto ao assunto.

Ainda que o resultado da  $\Delta EXP$  tenha sido negativo para a indústria no Brasil, a Tabela 02 traz os setores mais desagregados, o que possibilita observar valores positivos para as exportações em três setores industriais, com destaque, pela magnitude, para indústria extrativa (2), indicando que a exportação do setor possuiu influência positiva sobre a evolução das emissões de GEE do país entre 1995 e 2009. Neste período, houve aumento da participação da indústria extrativa nas exportações brasileiras (em termos monetários), que representou 4,65% em 1995 e 13,22% em 2009.

**Tabela 02** – Decomposição estrutural da variação de emissão de GEE no Brasil (t/CO<sub>2</sub>e.)

Setor	$\Delta CF$	$\Delta CG$	$\Delta INV$	$\Delta EXP$	Setor	$\Delta CF$	$\Delta CG$	$\Delta INV$	$\Delta EXP$
1	-89.631	76,5	-79.479	45.963	18	1.174	0,0	-281.414	-1.122
2	-426	0,2	-1.613	7.944	19	-5.766	28,2	-2.638	-57,1
3	-3.384	0,4	-234	-83,0	20	-108	2,4	-129	-0,2
4	-1.675	0,2	-97,5	-130	21	-459	5,5	-348	-3,1
5	-272	0,0	-34,5	-143	22	-339	0,0	-0,7	-14,9
6	-29	0,0	-38,3	-123	23	-400	0,4	-45,2	2,1
7	-364	0,3	-294	-486	24	-93,0	0,0	-6,6	-2,7
8	-10.515	0,6	-2.122	1.001	25	-708	0,3	-52,3	-19,0
9	-6.772	628	2.691	-1.439	26	-196	0,2	-24,5	2,9
10	-121	0,1	-134	-44,2	27	21,9	0,3	-17,4	15,8
11	-615	0,4	-1.597	-880	28	-9.742	-139	1.842	438
12	-905	4,6	-9.801	-9.179	29	-17.676	0,0	-1.204	48,1
13	-71	0,0	-549	-69,1	30	-323	0,4	-41,9	6,5
14	-370	0,2	-1.586	-34,2	31	-16,1	-1.062	4.356	-0,1
15	-233	0,0	-237	-10,2	32	-87,3	-269	1.228	-0,1
16	-184	0,0	-271	-23,7	33	-129	-396	854	0,2
17	-5.435	0,0	24,9	323	34	-4.102	4,9	-488	46,6

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD (2013).

Nota:  $\Delta$  = variação. Os setores estão expostos no Quadro 01.

A Tabela 03 traz a decomposição estrutural da Rússia com os 34 setores. A Rússia apresentou pequeno aumento nas emissões entre 1995 e 2009, com

redução de 2008 para 2009. Nesse sentido, os resultados da decomposição estrutural indicam que a demanda final contribuiu para a contração das emissões de GEE da Rússia, visto que os resultados apresentam sinal negativo para todos os setores em todos os componentes da demanda final, com destaque para as exportações.

É necessário salientar que a crise econômica internacional de 2008 afetou demasiadamente a Rússia. Nessa época, houve desaceleração da economia russa em virtude da redução nos preços e na demanda global de seus principais produtos exportados – petróleo e gás natural –, além de queda também na demanda doméstica, o que possivelmente está afetando estes resultados.

Analisando os dados das matrizes de insumo-produto do país, percebe-se que houve diminuição no volume da demanda final no período em questão, o que sugere que a redução da emissão da Rússia nos últimos anos analisados não partiu de uma mudança na estrutura da demanda final, mas sim no volume transacionado.

**Tabela 03 – Decomposição estrutural da variação de emissão de GEE na Rússia (t/CO<sub>2</sub>e)**

Setor	$\Delta$ CF	$\Delta$ CG	$\Delta$ INV	$\Delta$ EXP	Setor	$\Delta$ CF	$\Delta$ CG	$\Delta$ INV	$\Delta$ EXP
1	-1.091.323	-36.116	-162.166	-102.689	18	-748	0,0	0,0	-73,4
2	-31.344	0,0	-22.397	-1.689.308	19	-831	-11,2	-316	-400
3	-28.242	-1,2	-4.360,9	-684	20	-20.062	-185	-4.208	-16.204
4	-2.847	-0,3	-561,1	-418	21	-7.476	-67,9	-1.519	-2.569
5	-110	-0,2	-113,9	-25,0	22	-3.455	-359	-408	-61,8
6	-480	0,0	-284,3	-975	23	-344.670	-746	-17.595	-624.974
7	-572	0,0	-910,1	-2.634	24	-7.155	-29,8	-546	-2.478
8	-20.439	0,0	11.880	-50.550	25	-15.909	-70,9	-1.536	-6.161
9	-197.703	-125	-177.538	-800.229	26	-507.708	-2.364	-50.020	-103.442
10	-413	0,0	-153	-117	27	-2.125	0,0	0,0	-316
11	-46.831	0,0	-6.309	-6.703	28	-924	-6.191	-7.048	-11,1
12	-158.763	0,0	-245.323	-2.483.320	29	-14.545	-3.594	-4.740	-22,0
13	-885	0,0	-5.267	-6.703	30	-235	-3.793	-3.619	-176
14	-1.404	0,0	-1.648	-1.370	31	-5.855	-35.082	-33.262	-146
15	-8.769	-105	-1.995	-2.268	32	-1.947	-13.082	-12.410	-50,0
16	-431	-5,8	-1.081	-34,5	33	-2.108	-8.809	-8.206	-2,4
17	-2.534.481	-375.352	-369.899	-179.229	34	-607.942	-110.843	-109.506	-659

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD.

Nota:  $\Delta$  = variação. Os setores estão expostos no Quadro 01.

A Índia apresentou resultados negativos da variação de investimentos e exportações para a agropecuária e resultados positivos para a variação da demanda

final da indústria e serviços. Vale lembrar que a agropecuária indiana perdeu espaço para os outros dois setores entre 1995 e 2009, sobretudo pelo avanço da indústria, o que pode ser corroborado pelos resultados encontrados, os quais sugerem uma redução da participação do setor primário nas emissões do país e aumento da participação do setor secundário e terciário. Isso indica que a redução da participação agropecuária nas emissões indianas aconteceu principalmente por diminuição no volume transacionado.

O componente da demanda final que mostrou ter tido maior contribuição para o aumento das emissões indianas entre o período analisado foi a variação do consumo das famílias. O país tem muitos problemas sociais, grande desigualdade e mais da metade da população vivendo em área rural. Essa realidade ainda é forte na Índia, mas tem tido progressos nos últimos anos, melhorando o poder de compra das famílias e seu acesso à energia elétrica, por exemplo. Assim, a Índia tem um mercado consumidor interno em ascensão. Esse resultado está em linha com Silva e Sanguetta (2017), sobre o aumento das emissões indianas terem sido impulsionadas pelo aumento crescente da população e do consumo de energia.

**Tabela 04 – Decomposição estrutural da variação de emissão de GEE na Índia (t/CO<sub>2</sub>e)**

Setor	$\Delta$ CF	$\Delta$ CG	$\Delta$ INV	$\Delta$ EXP	Setor	$\Delta$ CF	$\Delta$ CG	$\Delta$ INV	$\Delta$ EXP
1	1.103	11.403	-80.129	-6.926	18	412	-191	-129	0,0
2	-64,6	78,1	32.097	18.886	19	46,8	1,8	19,4	-0,1
3	11.867	636	2.512	991	20	213	7,7	63,7	-0,1
4	8.914	345	268	3.028	21	841	35,2	365,7	-6,1
5	188	-0,1	0,8	-87,0	22	9.248	1.461	1.503	4.577
6	-418	-124	-618	421	23	25.853	1.034	1.361	953
7	-709	569	243	-1.027	24	538	10,8	-49,8	-94,9
8	6.026	-16,0	-3.072,9	4.327,0	25	-16,9	89,5	-47,1	-132
9	17.345	1.550	15.568	19.936	26	-284	11,4	-7,2	-79,8
10	-30,4	-0,3	198,1	0,4	27	9.040	1.946,2	38,6	1.689
11	-3.317	-43,1	-2.404	-22.918	28	156	38,0	22,0	26,1
12	-2.855	230	9.344	24.511	29	344	-18,4	-18,4	-44,8
13	528	-123	353	640	30	1.718	84,1	99,4	2.511
14	53,6	12,4	349	2.080	31	0,0	798	1.052	0,0
15	-40,6	73,0	64,1	1.619	32	648	210	265	0,0
16	-42,7	-81,4	94,3	1.958	33	132	8,4	42,4	0,0
17	203.529	97.604	63.237	259	34	-27.353	32.310	39.562	4.685

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD.

Nota:  $\Delta$  = variação. Os setores estão expostos no Quadro 01.



Na Tabela 04, com os 34 setores, alguns se destacam com resultados positivos e de grande magnitude nos elementos da demanda final, como eletricidade, fornecimento de gás e água (17) e transporte terrestre (23), fruto de uma matriz energética predominantemente composta por insumos fósseis.

A decomposição estrutural da China apresentou resultados positivos para a variação da demanda final, com ênfase para consumo das famílias e exportações como principais responsáveis pelo aumento das emissões chinesas entre 1995 e 2009. Os resultados indicam que a indústria foi o setor que mais afetou positivamente as emissões do país, seguido pelo setor de serviços e, por fim, pela agropecuária, todos com sinais positivos.

Na Tabela 05 é apresentada a decomposição mais detalhada da China, com os 34 setores. No consumo das famílias, destacou-se o setor de eletricidade, fornecimento de gás e água (17). A produção e uso de energia representam a maior parte das emissões chinesas, pois sua matriz energética é composta majoritariamente por combustíveis fósseis. Em 2009, o consumo do referido setor pelas famílias foi quatro vezes maior do que em 1995. Nas exportações, o setor de metais básicos e metais fabricados (12) apresentou o maior impacto. As exportações chinesas deste setor em 2009 foram cinco vezes maiores do que em 1995. Isso indica que o efeito positivo dos setores sobre a variação das emissões de GEE da China no período se deve ao aumento do volume comercializado.

Além da análise de decomposição estrutural, é possível obter a partir das tabelas de insumo-produto ponderadas pelas emissões de GEE indicadores de emissões incorporadas na produção e no consumo de países e regiões, considerando as emissões que ocorrem no processo do comércio internacional (WIEBE *et al.*, 2012).

Na Figura 02, observa-se que os quatro países do BRIC foram exportadores líquidos de emissão de GEE em 1995, 2000, 2005 e 2009, com destaque para a Rússia e a China. Isso significa que bens intensivos em emissões são produzidos nesses países, mas consumidos em outros.

**Tabela 05 – Decomposição estrutural da variação de emissão de GEE na China (t/CO<sub>2</sub>e)**

Setor	$\Delta CF$	$\Delta CG$	$\Delta INV$	$\Delta EXP$	Setor	$\Delta CF$	$\Delta CG$	$\Delta INV$	$\Delta EXP$
1	429.697	35.956	177.857	3.104	18	1.049	0,0	0,0	338
2	-5.278	-44,5	16.387	-16.875	19	0,0	0,0	0,0	0,0
3	270.277	-1.487	9.922	26.255	20	27.992	-138	-1.106	10.907
4	55.920	-46,3	-4.534	113.225	21	4.504	-22,1	-178	1.755
5	3.480	-5,7	-263	2.750	22	18.356	-1.773	-1.773	1.218

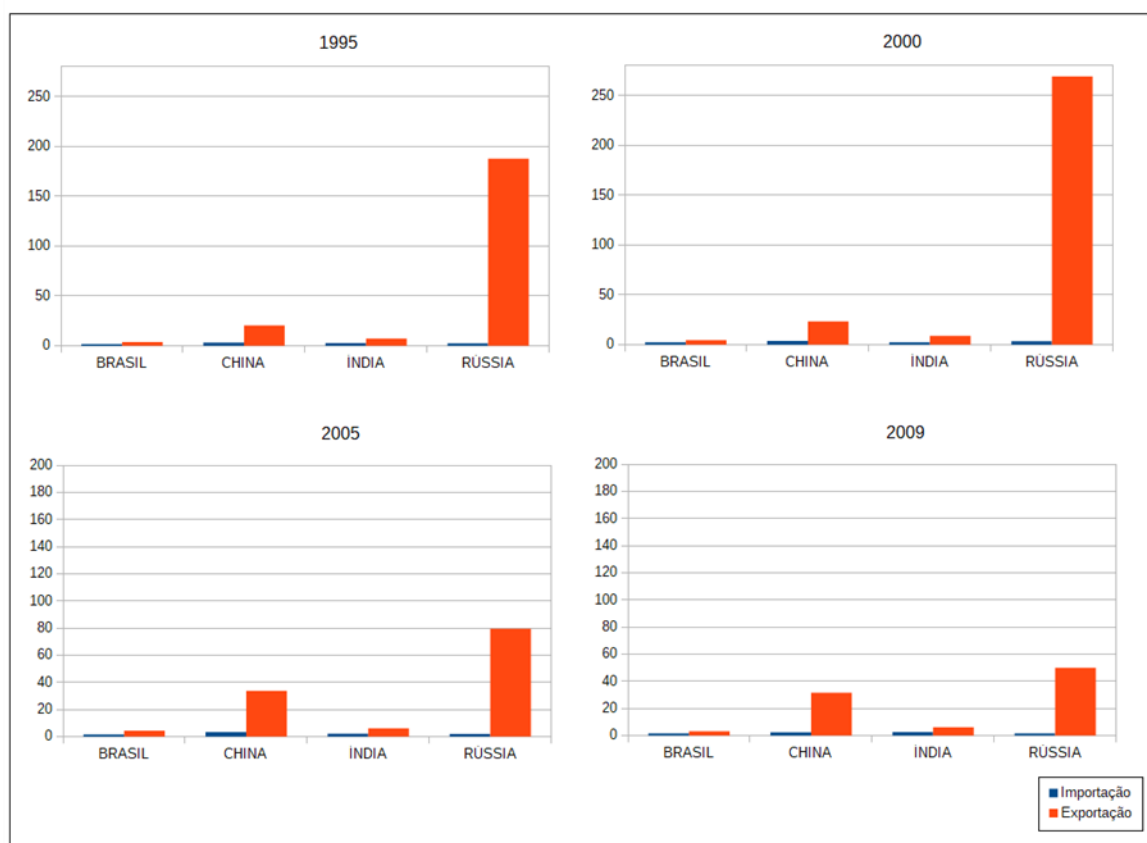
<b>6</b>	381	-14,6	-19,9	2.202	<b>23</b>	5.842	7.173	7.494	3.804
<b>7</b>	-603	-135	-2.723	6.863	<b>24</b>	8.185	2.425	2.740	46.783
<b>8</b>	4.228	-2,9	-2.028	9.427	<b>25</b>	2.613	1.138	1.066	28.745
<b>9</b>	23.548	-226,2	7.552	277.095	<b>26</b>	3.443	-14,9	-111	-763
<b>10</b>	3.669	-12,2	175	31.076	<b>27</b>	3.498	0,0	-1,2	436
<b>11</b>	-22.536	-141,5	-22.571	86.764	<b>28</b>	4.787	275	259	62,2
<b>12</b>	2.623	-259,7	43.403	373.334	<b>29</b>	16.356	-264	-264	0,0
<b>13</b>	509	-24,1	58,1	88.882	<b>30</b>	1.516	1.857	6.244	6.677
<b>14</b>	12.668	-10,5	1.110	147.946	<b>31</b>	0,0	32.046	44.381	24,4
<b>15</b>	13.503	-1,8	2.538	30.630	<b>32</b>	24.546	21.848	31.276	14,1
<b>16</b>	888	-64,7	156	31.222	<b>33</b>	14.048	10.134	14.142	50,1
<b>17</b>	433.042	-105,9	2.538	9.445	<b>34</b>	293.105	-3.636	8.096	6.229

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD.

Nota:  $\Delta$  = variação. Os setores estão expostos no Quadro 01.

Em 2009, cerca de 41% das emissões da Rússia foram exportadas, da China foram 35%, do Brasil 14% e da Índia 8%. Em relação às emissões setoriais, o setor de Agropecuária representou 61% das emissões do Brasil incorporadas às exportações intermediárias. O setor de Eletricidade, Fornecimento de Gás e Água obteve participação de 42% na China, 32,9% na Rússia e 29,5% na Índia.

Na Figura 02, observa-se também que houve redução das emissões incorporadas nas exportações de 2000 a 2009 nos quatro países do BRIC, sobretudo na Rússia. Olhando para o volume de exportações nesses países, em termos monetários, nota-se que houve aumento das exportações de insumos e produtos intermediários na China e na Índia, inclusive nos setores que mais se destacaram em emissão em cada país. No Brasil houve redução das exportações, mas aumento das exportações do setor de agropecuária, que é o maior emissor do país.

**Figura 02** – Emissões incorporadas às importações e exportações de insumos (t/ CO<sub>2</sub>e)

Fonte: Elaboração própria com dados da WIOD (2013).

Com isso é possível concluir que a redução da exportação de emissões não é reflexo de uma diminuição das exportações desses países, mas sim de uma melhora nas técnicas produtivas, principalmente na China e Índia. Na Rússia, houve redução das exportações, inclusive no setor que mais emite no país, o de eletricidade, gás e água. Isso indica que neste país a redução das exportações de emissões pode ser reflexo de diminuição no volume comercializado.

### Considerações Finais

Para analisar as emissões de GEE dos países do BRIC, foram utilizadas técnicas de insumo-produto a partir de dados da WIOD. Nesse sentido, destaca-se que a China, a Índia e a Rússia possuem uma matriz energética baseada em combustíveis fósseis, fazendo com que suas emissões sejam majoritariamente via produção e uso de energia, enquanto no Brasil, o setor historicamente mais poluidor de GEE é a agropecuária.

Com base nos resultados apresentados neste trabalho, não houve mudança significativa no perfil de emissão dos países no período analisado, visto que os

setores que mais emitiram GEE em 1995 foram os mesmos de 2009: a agropecuária no Brasil e a indústria nos demais países.

Os resultados indicam que, no Brasil, a demanda final via exportação foi o fator que mais contribuiu para o aumento das emissões no país, com ênfase nas exportações do setor de agropecuária. Neste ponto, vale a ressalva de que dada a crescente demanda mundial por alimentos brasileiros, com destaque para carnes e soja, é preciso adotar políticas que minimizem as emissões de GEE do referido setor. Caso contrário, se por um lado essa demanda pode trazer impactos econômicos positivos, por outro, tem trazido problemas ambientais.

Na Rússia, Índia e China, o setor de eletricidade, fornecimento de gás e água destacou-se em diferentes componentes da decomposição, representando importante impacto desse setor sobre o aumento das emissões de GEE nos países. Esses países sustentam seu crescimento e desenvolvimento com base em energia via queima de combustíveis fósseis. Nesse sentido, os resultados reforçam a necessidade de investimentos em prol de uma modernização e diversificação das fontes de energia, além de aumento da conscientização da população em relação ao consumo de energia. Esse alerta vale também para o Brasil, que vem aumentando suas emissões provenientes do setor energético.

Ademais, os resultados apresentados convergem no sentido de confirmar a hipótese de que o comércio internacional tem contribuído para aumentar as emissões de GEE dos países do BRIC, visto que parte das emissões desses países está incorporada às exportações. Porém, o comércio internacional desses países cresceu mais do que as emissões, sugerindo uma melhora nas técnicas produtivas, possibilitando a redução das emissões de GEE por unidade de produto, ainda que não reflita em redução das emissões brutas.

Os países do BRIC vêm mostrando avanços em direção ao aumento de uso de fontes renováveis, como energia solar, eólica, hidráulica e nuclear. São importantes passos, mas ainda há um longo caminho a fim de reduzir os danos ambientais das economias do BRIC preservando seu desenvolvimento econômico.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M., PELLENZ, J. L. V., ARAUJO, T., DANTAS, J. N. S. **Brasil no Acordo de Paris: análise das emissões de gases do efeito estufa.** Anais... XXI ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL- ANPEC-SUL, Curitiba-PR, 2018

ANGONESE, A.R., CAMPOS, A. T., WELTER, R. A. Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 648-657, 2007.

BANCO MUNDIAL. Disponível em: <<http://www.worldbank.org/pt/country/brazil>>. Acessado em: 8 de janeiro de 2018.

BRANCO, R. C. **Os BRICS: oportunidades e desafios**. FGV Crescimento e Desenvolvimento, 2015.

CABRAL, J. A., PEROBELLI, F. S. Análise de decomposição estrutural para o setor de saúde brasileiro: 2000 a 2005. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 42, p. 363-402, 2012.

CARVALHO, T. S., SANTIAGO, F. S., PEROBELLI, F. S. International trade and emissions: The case of the Minas Gerais state - 2005. **Energy Economics**, v. 40, p. 383-395, 2013.

CASLER, S. D., ROSE, A. Carbon dioxide emissions in the U.S. Economy: a structural decomposition analysis. **Environmental and Resource Economics**, 11(3-4): 349-363, 1998,

CERQUEIRA, G. A. et al. **A Crise Hídrica e suas Consequências**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, abril/2015 (Boletim do Legislativo nº 27, de 2015). Disponível em: [www.senado.leg.br/estudos](http://www.senado.leg.br/estudos). Acesso em 08 de abril de 2019.

CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim Informativo - SBPCPD**, v. 32, p. 40-44, 2007.

COPELAND, B. R., TAYLOR, M. S. Trade, Growth, and the Environment. **Journal of Economic Literature**, v. 42, n.1, p. 7-71, 2004.

FERNANDES, L., GARCIA, A., FRANÇA, G., CARESIA, M. **Matrizes energéticas e desenvolvimento desigual: os BRICS no atual debate sobre mudanças climáticas**. In: Policy Brief. Rio de Janeiro. 2012.

FERRARI FILHO, F., PAULA, L. F. R. **Liberalização financeira e performance econômica: a experiência recente dos BRIC**. In: Anais...XI Encontro Nacional de Economia Política, Vitória, 2006.

GÓMEZ, J. M., CHAMON, P. H., LIMA, S. B. Por uma nova ordem energética global? potencialidades e perspectivas da questão energética entre os países BRICS. **Contexto Internacional**, v. 34, n. 2, p. 531-396, 2012.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007: Synthesis Report. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/>>. Acessado em: 1 de fevereiro de 2018.

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

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC - BR). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF. 2016.

MOREIRA, T. M., RIBEIRO, L.C.S. Mudanças estruturais na economia brasileira entre 2000 e 2005 e o novo regime macroeconômico: uma abordagem multissetorial. **Economia**, v. 14, p. 751-780, 2013.

MUNIZ, L. S. **A Crise econômica de 2008 e a Rússia: consequências e fragilidades da economia russa**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: FGV/EBAPE, 2011.

OECD. stat, 2019. Organisation For Economic Co-Operation And Development. Disponível em: < <https://stats.oecd.org/>>. Acessado em: 10 nov. de 2018.

PERDIGÃO, C., FAIÃO, T. F., RODRIGUES, R. L., ESTEVES, E. G. Z., SESSO FILHO, U. A., ZAPAROLLI, I. D. Decomposição estrutural das emissões de CO<sub>2</sub> do BRIC. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, v. 11, p. 293-313, 2017.

PORTILHO, F. **Sustentabilidade ambiental, consumo e cidadania**. Editora Cortez. São Paulo, 2005.

RIBEIRO, L. C. S., LEÃO, E. J. A., FREITAS, L. F. Greenhouse gases emissions and economic performance of Livestock, an environmental input-output analysis. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 56, n. 2, p. 225-238, 2018.

RODRIGUES, G. C. **Crescimento e desenvolvimento chinês: o desafio ambiental**. São Paulo, 2013.

SESSO FILHO, U. A., RODRIGUES, R. L., MORETTO, A. C., BRENE, P. R. A., LOPES, R. L. Decomposição estrutural da variação do emprego no Brasil, 1991-2003. **Economia Aplicada**, v. 14, p. 99-123, 2010.

SILVA, B. E. N., SANQUETA, C. R. Análise da contribuição nacionalmente determinada (NDC) brasileira em comparação aos países do BRICS. **Revista Presença Geográfica**, v. 6, p. 73-89, 2017.

SILVA, M. P. N., PEROBELLI, F. S. Efeitos tecnológicos e estruturais nas emissões brasileiras de CO<sub>2</sub> para o período 2000 a 2005: uma abordagem de análise de decomposição estrutural (SDA). **Estudos Econômicos**, v. 42, p. 307-335, 2012.

SOUZA, K. B., BASTOS, S. Q. A., PEROBELLI, F. S. Multiple trends of tertiarization: A comparative input-output analysis of the service sector expansion between Brazil and United States. **Economia**, v. 17, p. 141-158, 2015.

TAYLOR, M. S. Unbundling the pollution haven hypothesis. **Advances in Economic Analysis & Policy**, v. 4, n. 2, 2004.

TIMMER M. P, DIETZENBACHER, E., LOS, B., STEHRER, R., DE-VRIES, G. J. An illustrated user guide to the world input-output database: the case of global automotive production. **Review of International Economics**, v. 23: 575-605, 2015.

VALE, V. A., PEROBELLI, F. S., CHIMELI, A. B. International trade, pollution and economic structure: Evidence on CO<sub>2</sub> emissions for the North and the South. **Economic Systems Research**, v. 30, p. 1-17, 2017.

VIALLI, A. **O empurrão Chinês: tudo indica que a China será o país indutor de uma transição mundial para uma economia de baixo carbono**. In: Economia Verde, p. 22. fevereiro, 2015.

VIEIRA, A. E. M. **Emissões de CO<sub>2</sub> e impacto ambiental: uma análise dos impactos da abertura comercial, tipos de energia e composição do PIB sobre a intensidade das emissões**. Florianópolis, 2015.

WACHSMANN, U. **Mudanças no consumo de energia e nas emissões associadas de CO<sub>2</sub> no Brasil entre 1970 e 1996 – uma análise de decomposição estrutural**. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, 2005.



WIOD. World Input – Output Database. Disponível em: <<http://www.wiod.org>>. Acessado em 10 ago. de 2018.

WIEBE, K. S., BRUCKNER, M., GILJUM, S., LUTZ, C. Calculating energy-related co2 emissions embodied in international trade using a global input–output model. **Economic Systems Research**, v. 24, n. 2, p. 113-139, 2012.

ZANDONAI, R. **Os BRICS na arena de mitigação das mudanças climáticas**. In: Anais...I Seminário Internacional de Ciência Política, Porto Alegre, 2015.

## NOTAS DE AUTOR

### CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

**Manuela Macedo Oliveira** - Concepção. Coleta de dados, Análise de dados, Elaboração do manuscrito, revisão e aprovação da versão final do trabalho.

**Luiz Carlos de Santana Ribeiro** - Análise de dados, Elaboração do manuscrito, revisão e aprovação da versão final do trabalho.

**Terciane Sabadini Carvalho** – Participação ativa da discussão dos resultados; Revisão e aprovação da versão final do trabalho.

### FINANCIAMENTO

Os autores agradecem o financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ).

### CONSENTIMENTO DE USO DE IMAGEM

Não se aplica.

### APROVAÇÃO DE COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA

Não se aplica.

### CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

### LICENÇA DE USO

Este artigo está licenciado sob a [Licença Creative Commons CC-BY](#). Com essa licença você pode compartilhar, adaptar, criar para qualquer fim, desde que atribua a autoria da obra.

### HISTÓRICO

Recebido em: 01-07-2019

Aprovado em: 27-03-2020