

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

VITÓRIA FERREIRA DE VASCONCELOS

**INTENSIDADE DE EMISSÕES DE CO₂ NA ECONOMIA MINEIRA E OPÇÕES DE
MITIGAÇÃO: UMA ANÁLISE REGIONAL DE INSUMO-PRODUTO**

Belo Horizonte

2018

Vitória Ferreira de Vasconcelos

Intensidade de emissões de CO₂ na economia mineira e opções de mitigação: uma análise regional de insumo-produto

Monografia apresentada ao curso de graduação de Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof. Dr. Aline Souza Magalhães

Belo Horizonte

2018

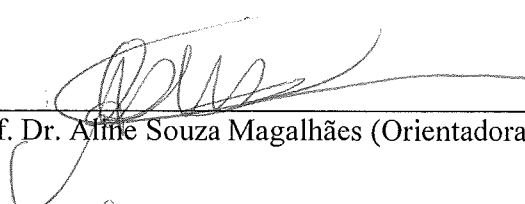
Vitória Ferreira de Vasconcelos


Intensidade de emissões de CO₂ na economia mineira e opções de mitigação: uma análise regional de insumo-produto

Monografia apresentada ao curso de graduação de Ciências Econômicas da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Belo Horizonte, 04 de dezembro de 2018

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Alinne Souza Magalhães (Orientadora)


Prof. Dr. Débora Freire Cardoso (Avaliadora)

Belo Horizonte

2018

RESUMO

Este trabalho avalia a intensidade de emissões de CO₂ na economia de Minas Gerais, considerando um modelo insumo-produto regional e a partir dos resultados propõe opções de mitigação. Para este fim, mostra os impactos causados nas emissões em função da demanda final, do consumo intermediário e do consumo das famílias. Setores como “Pecuária”, “Cimento” e “Transportes” mostraram-se atividades intensivas em emissões devido aos requerimentos de produção da demanda final. Ao considerar a dinâmica intersetorial e o consumo das famílias, “Comércio”, “Produtos químicos”, “Refino de Petróleo e coque”, “Alimentos e bebidas” e as variadas atividades de serviços ganharam relevância na análise. As opções de mitigação propostas foram destinadas aos setores mais intensivos em emissões de acordo com a análise dos coeficientes diretos, indiretos e dos efeitos induzidos.

Palavras-chave: Emissões de CO₂, modelo insumo-produto regional, coeficientes diretos e indiretos, efeito induzido.

ABSTRACT

This paper evaluates the intensity of CO₂ emissions in the economy of Minas Gerais, considering a regional input-output model and from the results proposes mitigation options. To this end, it shows the impacts caused by emissions as a function of final demand, intermediate consumption and household consumption. Sectors such as "Livestock", "Cement" and "Transport" showed intensive activities in emissions due to the requirements of production of final demand. When considering the intersectoral dynamics and household consumption, "Commerce", "Chemical products", "Refining of Petroleum and coke", "Food and beverages" and the varied service activities gained relevance in the analysis. The proposed mitigation options were aimed at the most emission-intensive sectors according to the analysis of direct, indirect and induced-effect coefficients.

Keywords: CO₂ emissions, regional input-output model, direct and indirect coefficients, induced-effect.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	5
2 ASPECTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E REBATIMENTO REGIONAL.....	8
2.1 A emissão de Gases de Efeito Estufa como um problema econômico.....	8
2.2 O estado de Minas Gerais inserido em um contexto brasileiro de redução de emissões....	11
3 O IMPACTO DAS INTER-RELAÇÕES SETORIAIS NA NATUREZA E MAGNITUDE DAS EMISSÕES DE GEE.....	17
4 METODOLOGIA.....	22
4.1 O modelo de Insumo-Produto.....	22
4.2 Os modelos Insumo-Produto e o meio ambiente.....	24
4.3 Preparação dos dados.....	25
4.3.1 Matrizes Insumo-Produto.....	25
4.3.2 Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais.....	30
4.3.3 Compatibilização de setores.....	34
4.3.4 Opções de mitigação.....	38
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 Coeficientes diretos, indiretos e induzidos de emissões.....	40
5.1.2 Coeficientes Diretos.....	40
5.1.3 Coeficientes Indiretos, Induzidos e a Dinâmica setorial.....	43
5.2 Opções de mitigação.....	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS.....	54
APÊNDICE A.....	58

1 INTRODUÇÃO

Um dos debates mais recorrentes nos últimos anos envolve as mudanças climáticas, originada pela acumulação de gases de efeito estufa (GEE). Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2014, p.12), "a influência humana sobre o sistema climático é clara". As concentrações de dióxido de carbono, o principal gás de efeito estufa (GEE), cresceu 40% desde a Revolução Industrial, notadamente decorrente das emissões por combustíveis fósseis e da mudança do uso da terra, como queimadas e desmatamento. Desde 2011, as concentrações de GEE atingiram um recorde em 800.000 anos. Devido ao longo tempo de permanência dos GEE na atmosfera (o CO₂ permanece em média 140 anos), o aumento projetado da temperatura global ao longo das próximas décadas é semelhante em diversos cenários de emissão, inclusive levando em conta trajetórias de tecnologias de baixo carbono e substituição de combustíveis fósseis, por exemplo. Durante este período, os riscos vão evoluir de forma que as tendências socioeconômicas vão interagir com o clima em mudança (IPCC, 2014).

Apesar do aumento da concentração e emissão dos GEE ter como marco histórico a Revolução Industrial, só em meados dos anos 80 o assunto foi introduzido na agenda política internacional e econômica. Desde então, um conjunto de medidas estão sendo estabelecidas a fim de reduzir, ou, pelo menos, estabilizar as emissões desses gases, uma vez que a mudança climática é um problema de longo prazo (TOL, 2009; MAGALHÃES, 2013).

As pessoas à margem da sociedade, expostas a riscos sociais, econômicos, culturais, políticos, institucionais ou de outra forma são especialmente vulneráveis às alterações climáticas. Para a maioria dos setores da economia, grande repercussão é esperada em termos de impactos sobre variáveis como tecnologia, renda, preços relativos, estrutura populacional, entre outros. Nesta perspectiva, opções de adaptação e mitigação fazem parte da busca por alívio dos riscos associados a mudanças climáticas (IPCC, 2014).

Nesse sentido, existe uma pressão para redução de emissões por parte dos principais países emissores. O Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, faz parte deste grupo, tendo proposto metas voluntárias de reduções de emissões no último acordo vinculante sobre clima, o Acordo de Paris, no final de 2015. Em setembro de 2016, com ratificação do Acordo de Paris, as metas passaram a ser compromissos oficiais do país. Diante dessas constatações,

criou-se a necessidade de alcançar a chamada “Economia de baixo carbono”, que pode ser definida como uma economia com baixa emissão de gases de efeito estufa, tendo como necessárias ações de implementação de políticas de mitigação de GEE (MAGALHÃES, 2013).

Neste contexto, há um processo em marcha dentro do estado de Minas Gerais para identificação dos principais atores emissores, de forma a traçar diretrizes e ações conjuntas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. Estimativas dão conta de um estado mais quente até o fim do século e com taxas menores de crescimento. As mudanças no padrão de precipitação, com diminuição de chuvas no norte e aumento no sul acarretaria a migração de lavouras para a microrregião sul, em que se observaria o aumento de produtividade de algumas culturas, favorecida pelo padrão de mudanças. Nas regiões mais pobres do estado seria desencadeado um processo de “pecuarização”. As microrregiões do norte de Minas seriam severamente atingidas pelas mudanças climáticas em oposição às microrregiões situadas ao sul, padrão que reforçaria as desigualdades regionais do estado (FEAM, 2011).

A questão atual envolve as formas de resposta às mudanças climáticas, não mais se ela é certa ou incerta. O combate às mudanças climáticas necessitará de um montante significativo de recursos, em termos de mitigação e de adaptação. Há de se levar em conta que nesse balanço, a inação também tem peso significativo, uma vez que investir menos em mitigação hoje pode significar maiores investimentos em adaptação no futuro, lidando com custos incertos e até mesmo irreversíveis (IPEA, 2011; MAGALHÃES, 2013).

O estado de Minas Gerais possui seu território diferentes níveis de vulnerabilidade, tendo cada região seus desafios de planejamento em relação às mudanças climáticas. Estudos que tratam de perto as especificidades do estado tornam-se, então, necessários para viabilizar a identificação de suas vulnerabilidades e potencialidades. Este trabalho tem por objetivo analisar o padrão de emissões da economia mineira, a partir do cálculo de índices de intensidade setoriais, de modo a propor opções de mitigação de acordo com as especificidades observadas dentro do estado, avaliando a viabilidade para redução de emissões de GEE. Para tal, faz uso de dados do Inventário Mineiro de emissões e da matriz e modelo de insumo-produto para o Estado de Minas Gerais, metodologia capaz de captar a importância da estrutura produtiva e das interdependências setoriais dentro do Estado.

Esta monografia está subdividida em mais quatro capítulos, além da introdução. O primeiro capítulo apresenta os aspectos econômicos das mudanças climáticas e, posteriormente, seus rebatimentos dentro da realidade econômica mineira. O segundo capítulo realiza uma revisão bibliográfica acerca da utilização de modelos insumo-produto para tratar de questões ambientais. O terceiro capítulo detalha a metodologia utilizada para a elaboração de índices de intensidade setoriais para identificação dos principais setores emissores de CO₂ do estado de Minas Gerais. O quarto capítulo expõe e discute os principais resultados encontrados a partir dos índices de intensidade setoriais elaborados. Por fim, tecem-se as considerações finais desta monografia.

2 ASPECTOS ECONÔMICOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E REBATIMENTO REGIONAL

2.1 A emissão de Gases de Efeito Estufa como um problema econômico

A discussão sobre meio ambiente e teoria econômica é recente. Até meados do século XX não havia uma disciplina estruturada para tratar dos efeitos de um sistema sobre o outro. O que parece óbvio, na verdade, por muito tempo foi ignorado pela teoria econômica. O sistema econômico era tratado como um sistema isolado, livre de interferências. O famoso fluxo circular da renda, apresentado nas aulas introdutórias de economia ilustra bem esse fato, o sistema econômico seria como uma caixa fechada, estruturada nas relações entre famílias, firmas e governo, livre de relação com o meio em que está inserido, o meio ambiente.

Apenas nos anos 60 esse cenário começa a ser alterado. Ganha corpo discussões acerca dos limites que o meio ambiente pode causar ao sistema econômico e *vice-versa*. Partindo do princípio de que o número de pessoas e a renda per capita são determinantes para a escala do sistema econômico, fica fácil estabelecer uma relação entre essas variáveis e as questões ambientais. O sistema econômico extrai recursos naturais do meio ambiente, a fim de transformá-los em bens de consumo final. Uma população mais numerosa requer mais recursos, assim com uma população mais rica aumenta suas demandas. O uso desses bens e a própria produção transforma os recursos naturais em energia dissipada, resíduos e rejeitos dispostos no meio ambiente, tudo isso amplificado quando se ampliam as duas variáveis acima. Se em um processo a disponibilidade de recursos é ameaçada, no outro, impactos negativos oriundos do sistema econômico são gerados (MUELLER, 2012).

Conforme ressalta Mueller (1998, p. 67-68) três eventos foram determinantes para alavancar esse debate: O problema da acentuada poluição em países desenvolvidos, a crise do petróleo e o relatório do clube de Roma¹. A poluição e a degradação ambiental criaram um clima de alerta nos países desenvolvidos, como resultado do processo de industrialização, intensivo em combustíveis fósseis e concentrado em setores de maior degradação ambiental, e da intensificação do número de veículos. A crise do petróleo, por sua vez, espalhou pelo mundo a preocupação com a eventual escassez do petróleo, gerando dúvidas sobre a continuidade dos processos de manutenção e expansão do sistema econômico. Por fim, os resultados do

¹Clube de Roma é o nome pelo qual ficou conhecido o grupo de intelectuais, empresários e políticos reunido pelo economista italiano Aurélio Peccei, em 1968 na cidade de Roma, para discutir problemas de ordem econômica, política e social em relação ao meio ambiente.

relatório “Os Limites do Crescimento”, patrocinado pelo clube de Roma davam conta de que o planeta não seria capaz de suportar o crescimento populacional, mesmo com avanços tecnológicos, devido à existência de limites impostos ao crescimento econômico pelo esgotamento de recursos e da capacidade de resiliência do meio ambiente. O tom pessimista do relatório foi de grande repercussão e impacto na sociedade. À medida que o debate esquentava, crescia a necessidade de encaixar esses problemas dentro do escopo de discussão da teoria econômica.

Dos efeitos da atividade econômica sobre o meio ambiente, a acumulação de gases do efeito estufa tornou-se a pauta a ser discutida nos últimos anos. O efeito estufa é um processo natural, que aprisiona calor, essencial para manutenção da vida na Terra. O excesso dos gases responsáveis por esse processo, os chamados Gases do Efeito Estufa (GEE), faz com que esse processo se intensifique, impedindo a saída de radiação e aumentando a temperatura global. As fontes de gases do efeito estufa são as mais difusas possíveis. Um problema sério e que engloba diferentes atores, desde as empresas, fazendas, até as famílias. A variedade de gases pode explicar a complexidade do problema. O dióxido de carbono (CO_2), também conhecido como gás do efeito estufa, é emitido principalmente pelo uso de combustíveis fósseis (gás natural, carvão mineral e, especialmente, petróleo), desmatamentos e queimadas. Outros gases também fazem parte desse processo de intensificação do aquecimento global, assim como o metano (CH_4), emitido pelo processo digestivo dos ruminantes e pela produção de lixo e esgoto, óxidos de nitrogênio (NO_x), emitido pela agropecuária e processos industriais, além de clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonetos (PFCs), e hexafluoreto de enxofre (SF_6), emitidos por processos industriais de variadas naturezas (MAGALHÃES, 2013).

De acordo com Tol (2009), a mudança climática é mãe de todas as externalidades. Em comparação com outros problemas ambientais, é maior, mais complexa e mais incerta. Segundo o autor, os primeiros estudos sobre os impactos das mudanças climáticas sobre o bem-estar foram feitos por Cline (1992), Nordhaus (1991) e Titus (1992), projetando os efeitos do fenômeno sobre os Estados Unidos. O primeiro trabalho que levou em conta os impactos sobre o bem-estar global foi realizado por Fankhouser (1994, 1995). Os principais estudos podem ser agrupados de acordo com a metodologia utilizada para mensurar os impactos de uma mudança no clima. Estudos de Fankhouser (1994, 1995), Nordhaus (1994) e Tol (1995, 2002) levaram em conta estimativas de "efeitos físicos" das mudanças climáticas,

efeitos que são precificados e somados. Na agricultura a estimativa teria com base o rendimento da colheita e seu rebatimento em termos de produto, por exemplo.

Trabalhos como o de Mendelsohn et al (2000) exemplificam o uso de uma abordagem alternativa, chamada de abordagem estatística, em que são estimados os impactos sobre o bem-estar social dentro de um país, a partir de variações nos preços e despesas em razão das mudanças climáticas. Consolida-se como ponto de concordância entre a maioria destes estudos, em ambas abordagens, o fato de que os danos causados pela mudança climática não são negligenciáveis e podem causar mudanças permanentes no bem-estar global, justificando o esforço de redução das emissões de GEE, de modo a minimizar esses custos.

A mudança climática é um problema de longo prazo, tendo em vista que alguns gases de efeito estufa terem vida na atmosfera estimada em mais de milhares de anos. Como vão se acumulando de forma vagarosa, costumam ter consequências duradouras e irreversíveis (NORDHAUS,1999; TOL, 2009). O caráter de estoque das emissões reforça as incertezas econômicas e políticas de sua gestão. Um sistema econômico equilibrado envolve setores mais e menos vulneráveis, interdependentes. De forma isolada, nenhum sistema, país, região é capaz de encarar as adversidades causadas pela mudança climática.

Uma das tentativas de grande esforço internacional para a redução de emissões de GEE foi o acordo que culminou com o Protocolo de Quioto, criado com o objetivo de estabelecer metas de redução de GEE aos países desenvolvidos. Contudo, o Protocolo foi apontado como “economicamente ineficiente, ambientalmente injustificado e politicamente invendável” (NORDHAUS, 1999, p. 11). A justificativa desta conclusão reside, na prática, pelo fato de que os custos sociais são pouco absorvidos pelos emissores, estando em sua maioria ligados a outros agentes, em especial, gerações futuras. Assim, agentes (países) tendem a se comportar como “*free-riders*” (caronas) nas ações de mitigação de quem as realiza. Neste cenário, os esforços para redução de emissões de GEE, tendem a ser individuais e descoordenados quando implementados e, na maioria dos casos, realizado pelos países com menores potenciais de redução de emissões (DE LA TORRE, FAJNZYLBER E NASH, 2009).

O Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), mais recente relatório do grupo de pesquisa internacional sobre mudanças climáticas, ressalta que os níveis de emissões de gases do efeito estufa foram os maiores já registrados entre 2000 e 2010, tendo cerca da metade das emissões cumulativas de CO₂ antropogênicas entre 1750 e

2011 ocorrido nos últimos 40 anos. Desde 1970, cerca de 40% das emissões antropogênicas de carbono permanecem na atmosfera, sendo parte absorvida pelo ciclo do carbono e parte incorporada pelos oceanos, ocasionando a acidificação dos mesmos. A contribuição do crescimento econômico para o aumento dos níveis de emissões entre o período de 2000 e 2010 cresceu bastante quando comparado ao seu impacto em décadas anteriores. Desde 2000, as emissões têm aumentado em todos os setores, exceto no setor de agricultura, floresta e uso do solo. O setor de energia (47%), indústria (30%), transporte (11%) e construção civil (3%) tiveram participação direta nesse aumento. As emissões indiretas fizeram com que a participação da indústria e construção civil se ampliassem para 31% e 19%, respectivamente.

As pessoas a margem da sociedade são especialmente vulneráveis às alterações climáticas. As causas desta vulnerabilidade elevada são as mais difusas possíveis, perpassando por processos sociais que culminam em desigualdades, tais como a discriminação de gênero, classe, etnia, idade ou alguma deficiência física, que provocam as mais diversas marginalizações: sociais, econômicas, culturais, políticas e institucionais. A respeito é preciso considerar que:

Climate change will amplify existing risks and create new risks for natural and human systems. Risks are unevenly distributed and are generally greater for disadvantaged people and communities in countries at all levels of development. Increasing magnitudes of warming increase the likelihood of severe, pervasive and irreversible impacts for people, species and ecosystems. Continued high emissions would lead to mostly negative impacts for biodiversity, ecosystem services and economic development and amplify risks for livelihoods and for food and human security (IPCC, 2014, p. 64).

Os impactos já observados dizem respeito em sua maioria aos sistemas naturais. A mudança nos padrões de precipitação e o derretimento de extensas áreas antes cobertas por gelo, estão afetando os recursos hídricos em termos de quantidade e qualidade. A extinção de algumas espécies foi atribuída às mudanças climáticas, assim como mudanças no padrão de ocupação de faixas geográficas e de migração, atividades sazonais e interação com outras espécies. O aumento da frequência de eventos extremos ao redor do mundo, como secas, tempestades de vento, incêndios e surtos de pragas revelam a fragilidades dos sistemas naturais e humanos à variabilidade climática (IPCC, 2014).

2.2 O estado de Minas Gerais inserido em um contexto brasileiro de redução de emissões

Em 1992, o Brasil foi o primeiro país a assinar a Convenção sobre Mudança do Clima, em decorrência da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no mesmo ano no Rio de Janeiro. Em 1994, essa decisão foi ratificada pelo

Congresso Nacional. No último acordo vinculante sobre clima, o Acordo de Paris, no final de 2015, o Brasil propôs metas voluntárias de reduções de emissões. Nesse Acordo, por meio de uma Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), o país assumiu o compromisso de adotar medidas para redução de emissão de GEE. Em setembro de 2016, o Acordo de Paris foi ratificado e as metas brasileiras se tornaram compromissos oficiais, constituindo para o Brasil a meta de redução das emissões de GEE de 37% em relação aos níveis de 2005, em 2025 e de 43% até 2030.

O estudo “Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para o alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris” (2017) do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC) foi produzido com a finalidade de subsidiar as discussões sobre a elaboração de uma estratégia conjunta, essencial para cumprimento do compromisso firmado. O estudo realizou uma simulação com diferentes cenários de baixo carbono (BC), levando em consideração diferentes níveis de valores de carbono: 0, 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO₂eq). O primeiro cenário, BC0, representa um esforço que possui viabilidade econômica ao longo da sua vida útil, mas são medidas que acabam não sendo implementadas por barreiras de diferentes naturezas. Os demais cenários (BC10, BC25, BC50 e BC100) só se tornam viáveis com a internalização de um valor de carbono na economia. Neste contexto, a meta estabelecida para 2025 (redução das emissões de GEE de 37% em relação aos níveis de 2005) tenderia, inicialmente, a ser alcançada através da implementação de BC0.

Abaixo são listadas as principais medidas de mitigação consideradas para o alcance desta meta no âmbito do estudo:

1. Ampliação do plantio de florestas comerciais.
2. Recuperação de calor e vapor de forma eficiente na indústria.
3. A partir da adoção da tecnologia de piloto de ignição buscar a redução de queima em *flare*², e em plataformas de extração e produção (E&P) de óleo e gás instalar unidades de recuperação de vapor.
4. Repotenciação de usinas hidrelétricas no setor elétrico.

O alcance da meta traçada para 2030 exigiria um esforço econômico de internalização de

² Dispositivo utilizado na queima de gás seja para eliminação segura e eficaz dos gases não aproveitados ou para recuperação dos mesmos.

preço de carbono na economia de US\$ 10/tCO₂eq, através do cenário BC10. Abaixo são listadas as principais medidas de mitigação consideradas para o alcance desta meta no âmbito do estudo:

1. Expansão das ações de redução do desmatamento;
2. Recuperação de pastagens degradadas;
3. Expansão do plantio de florestas comerciais;
4. Eficientização na recuperação de calor e vapor e troca de combustíveis em plantas industriais;
5. Redução de queima em *flare*, considerando a adoção da tecnologia de piloto de ignição, e instalação de unidades de recuperação de vapor em plataformas de extração e produção (E&P) de óleo e gás;
6. Substituição de térmicas a carvão por biomassa e repotenciação de usinas hidrelétricas no setor elétrico;
7. Aproveitamento energético proveniente de resíduos sólidos urbanos e de estações de tratamento de efluentes para a produção de biometano e eletricidade;
8. Mudança modal no setor de transportes.

As medidas apresentadas pelo estudo corroboram a necessidade da queda de barreiras que impedem a implementação de atividades de baixo carbono, exigindo esforços de grandeza tal que possibilite a convergência entre política econômica, ambiental, energética, ciência e tecnologia, política de transportes e industrial.

Neste contexto, há também um processo em marcha dentro do estado de Minas Gerais para identificação dos principais atores emissores, de forma a traçar diretrizes e ações conjuntas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. De modo geral, o Plano de Energia e Mudanças Climáticas de Minas Gerais (PEMC) guia discussões sobre o tema no estado. O PEMC abarca todos os setores socioeconômicos que tenham impacto sobre as emissões de gases de efeito estufa e/ou que sofram os efeitos das mudanças climáticas constituindo-se uma ferramenta de planejamento e gestão transversal. Trata-se de um instrumento de política pública, voltado para o estabelecimento de uma economia de baixo carbono e o desenvolvimento sustentável do estado, construídos por meio de um processo participativo, a fim de traçar diretrizes e ações coordenadas para a mitigação e adaptação às mudanças climáticas em Minas Gerais. (FEAM, 2014).

Em 2011, a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) produziu um estudo intitulado “Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas sobre a economia mineira”, que estimou os impactos das mudanças climáticas no território mineiro de acordo com diferentes cenários, consistentes com os considerados pelo IPCC. O primeiro cenário (A2) ilustra pouca preocupação com as mudanças climáticas, enquanto o segundo (B2) incorpora maior preocupação das sociedades, resultando em mudança de atitudes e comportamentos. Os impactos estimados na economia mineira são aqueles manifestados principalmente sob a forma de mudanças de temperatura e pluviosidade, tendo rebatimentos econômicos e regionais (FEAM, 2011).

Alguns resultados podem ser sumarizados a partir do relatório FEAM (2011):

1. Clima mais quente até o fim do século para o todo o Estado. Aumento médio entre 2°C e 4°C, variando conforme a região do Estado e a estação do ano no cenário B2 e variações ainda maiores no A2, entre 3°C e 5°C, sendo, maiores nas regiões do Jequitinhonha, Norte de Minas, Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba.
2. Regime de precipitação bem heterogêneo ao longo do estado. As regiões Norte de Minas, Jequitinhonha e Vale do Mucuri passam a contar com menos chuvas, enquanto a região central e sul contam com maior precipitação, tendência acentuada em períodos importantes para o ciclo agrícola (trimestres setembro-novembro e março-maio). O cenário B2 conta com mudanças menos acentuadas que as observadas levando em consideração A2.
3. Redução de áreas de floresta e mata nos estabelecimentos agrícolas de Minas Gerais, de 30% a 40% em ambos os cenários.
4. Estima-se que boa parte das áreas florestais serão convertidas em áreas de pastagem, alcançando variações estimadas entre 7% e 15%.
5. No cenário B2 observaria-se uma expansão da área de lavoura até 2070, quando a tendência seria revertida. Em A2, a tendência de redução de 1% a 5% ao longo dos anos, provavelmente seria neutralizada pelo avanço tecnológico.
6. As microrregiões do norte do estado seriam severamente atingidas pelas mudanças climáticas, em oposição às microrregiões situadas no sul do estado, padrão que reforçaria as desigualdades regionais do estado.
7. Ao analisar as culturas de arroz, cana-de-açúcar, feijão, fumo, milho, soja e trigo, os

resultados mostraram uma tendência a poucos impactos negativos oriundos das mudanças climáticas no estado, tendo a produtividade de algumas culturas sido favorecida pelo padrão de mudanças. Os resultados são alterados consideravelmente considerando microrregião por microrregião;

8. O Norte de Minas, mais uma vez, sofre de forma crítica os impactos, apresentando queda de produtividade em diversas culturas, enquanto o Sul do estado se adapta de forma mais acentuada, com migração de lavouras para essa microrregião.

No que tange o rebatimento econômico destes impactos, podemos destacar:

1. Redução do crescimento econômico em ambos cenários. Em A2, os resultados sugerem uma redução de -0,53% do PIB em 2035, e de -1,00% em 2050. Em B2, uma queda do PIB de -1,67% em 2035 e -2,69% em 2050;
2. Agricultura e pecuária caracterizam-se como setores mais sensíveis às mudanças climáticas, com uma queda de produção permanente na ordem de aproximadamente -3,86% (A2) e -3,04% (B2) em 2050;
3. As regiões mais pobres do estado passariam por um processo “pecuarização”;
4. Impacto maior em regiões pobres criaria um movimento migratório das zonas rurais em direção às cidades médias e região metropolitana de Belo Horizonte.

Tanto o Quinto Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) quanto o Relatório de Avaliação de Impactos de Mudanças Climáticas sobre a economia mineira (FEAM, 2011) apontam para os maiores impactos das mudanças climáticas sobre regiões mais vulneráveis, fazendo com que as desigualdades preexistentes se manifestem de forma ainda mais acentuada.

As evidências apresentadas indicam um caminho de custos significativos e permanentes para a humanidade e para os ecossistemas. A existência de incerteza sobre o momento e dimensão dos impactos das mudanças climáticas, dificulta a estimação dos custos de mitigação, assim como os custos de adaptação. Desse modo, as políticas de redução mais eficientes devem ser escolhidas cuidadosamente. Concordar com uma meta global de estabilização de GEE na atmosfera é uma política de longo prazo eficiente para minimizar os riscos das mudanças climáticas. Isto implica que as políticas de curto prazo devem ser consistentes com essa meta. Mesmo difíceis de estimar, os custos de adaptação podem alcançar dezenas de bilhões de dólares, atingindo principalmente os países mais pobres, corroborando a necessidade dos

países mais desenvolvidos honrarem seus compromissos e auxiliarem no processo de adaptação dos mais vulneráveis (DE LA TORRE, FAJNZYLBER E NASH, 2009; STERN, 2006).

3 O IMPACTO DAS INTER-RELAÇÕES SETORIAIS NA NATUREZA E MAGNITUDE DAS EMISSÕES DE GEE

A importância crescente das questões ambientais dentro da análise econômica trouxe, dentre outros efeitos, a necessidade de análise do impacto da produção e consumo sobre ativos ambientais, assim como sobre a degradação, incluindo as emissões de GEE. Dentre as análises mais utilizadas para tratar destas questões está a de insumo-produto, que tem como vantagem conseguir captar as inter-relações setoriais e a importância na definição da intensidade de emissões. Modelos Insumo-Produto (MIP) têm sido recorrentemente utilizados na literatura para análise setorial de emissões de GEE, tanto em termos nacionais quanto regionais.

A literatura internacional conta com trabalhos como o de Hetherington (1996), que através de um modelo Insumo-Produto híbrido³ tratou das emissões de CO₂ em 101 grupos industriais do Reino Unido para o ano de 1984. Neste ano, o setor industrial foi responsável pela emissão de 374 toneladas de CO₂ e mais de 108 toneladas de CO₂ foram provenientes da importação de bens e serviços intermediários. “Eletricidade”, “Cimento”, “Ferro e Aço”, “Fibras Sintéticas” e “Extração de Carvão” foram identificados como os setores mais intensivos em emissões. Deixando de lado as importações, as emissões de CO₂ em sua maioria foram liberadas de forma indireta (54%). Nas indústrias primárias a maior parcela das emissões ocorreu de forma direta, enquanto nas indústrias de manufaturas predominaram emissões indiretas de CO₂.

Chen e Zhang (2010) analisaram as emissões de GEE da economia chinesa em 2007. O total estimado de emissões encontrado foi 7.456,12 Mt CO₂ equivalente, dos quais cinco setores foram responsáveis por cerca de 81,32% deste total. Foram eles: “Energia Elétrica/Produção e Fornecimento de Vapor e Água Quente”, “Fundição e Prensagem de Metais Não-Ferrosos”, “Produtos Mineraiis Não-Metálicos”, “Agricultura e Mineração de carvão”. A combustão do carvão para a produção de eletricidade fez com que o setor “Energia Elétrica/Produção e Fornecimento de Vapor e Água Quente” apresentasse maior percentual no total de emissões, 36,90%. O setor de “Construção Civil” incorporou, tanto na produção quanto no consumo doméstico, emissões de GEE em maior proporção que os demais setores, enquanto o consumo das famílias contribuiu para cerca de 24,45% do total de emissões de GEE incorporadas na demanda final.

³ Modelo que incorpora tanto unidades físicas, quanto unidades monetárias das atividades produtivas que constam na MIP.

Do mesmo modo, Cansino et al (2013) aplicou a MIP para tratar das emissões de GEE geradas pela atividade econômica espanhola, com base nas Matrizes de Contabilidade Social ao longo dos anos 2002–2007. Os resultados mostraram que as atividades “Transportes” e “Energia elétrica e aquecimento” são as que geram o maior volume de dióxido de carbono por unidade monetária. Entre 2002-2007, os ganhos de eficiência tecnológica fizeram com que a atividade “Energia elétrica e aquecimento” tivesse uma queda percentual em termos de emissões por unidade monetária maior que a atividade “Transporte”. Em 2002, “Energia elétrica e aquecimento” emitia mais que o dobro de CO₂ por unidade monetária que “Transportes” (3,5 kg de CO₂ equivalente/€ contra 1,38 kg de CO₂ equivalente/€) e em 2007, 2,4 kg de CO₂ equivalente/€ contra 1,26 kg de CO₂ equivalente/€, uma variação de -30,4% emissões por unidade monetária da primeira atividade contra apenas -8,3% da segunda no período considerado. Em relação aos outros gases analisados (CH₄ e N₂O), a atividade “Agricultura, setor de Pecuária, Silvicultura e Pesca” foi a que apresentou maior contribuição em termos de emissões por unidade monetária (0,33 e 0,39 kg de CO₂ equivalente/€, respectivamente). Ao longo do período avaliado esta relação permaneceu estável.

No contexto brasileiro, Oliveira (2011) através de um modelo Insumo-Produto ampliado com coeficientes ambientais avaliou a relação das emissões de GEE com variações da demanda final nacional. As exportações constituíram o item da demanda final de maior impacto sobre as emissões por unidade de valor do produto em 2005, devido ao fato dos principais itens da pauta de exportação do país dependerem direta ou indiretamente dos setores Agropecuária e a Mudança de uso de terras e Florestas, setores que apresentaram maior intensidade de emissões que os demais. No setor Agropecuária, por exemplo, um aumento de 100% da demanda final causaria uma elevação em mais de 85% das emissões desse setor, principalmente pela ampliação da demanda do setor Alimentos e Bebidas (37,1%) e pelo próprio setor agropecuário (30,7%).

Silva e Perobelli (2012) utilizaram de um método Insumo-Produto, conhecido como análise de decomposição estrutural (SDA – Structural Decomposition Analysis), para avaliar os reflexos de mudanças na estrutura produtiva sobre as emissões de dióxido de carbono no Brasil. Os resultados revelaram que os setores de “Transporte”, “Siderurgia” e “Alimentos e bebidas” tendem ao aumento de emissões frente ao aumento da demanda final, ao passo que os setores “Indústria do cimento”, “Minerais Não-Metálicos” e “Papel e Celulose” apresentaram uma propensão a redução de emissões em caso de mudanças tecnológicas. A

variação de demanda final produziu uma variação positiva, em termos de emissões, em todos os quinze setores considerados, isto é, o próprio crescimento da economia do país é capaz de gerar um aumento de emissões em todos os setores brasileiros.

Montoya e Pasqual (2015) construíram um modelo Insumo-Produto Híbrido para 53 setores com o intuito de avaliar os requerimentos setoriais e as emissões de CO₂ por fontes de energia na economia brasileira. Os autores verificaram que cerca de 72,5% das emissões de CO₂ são oriundas de fontes de energia não-renováveis e 27,5% de fontes de energia renováveis. Dados os efeitos dentro da matriz, o efeito-renda fez com que o consumo das famílias fosse significativamente responsável pelas emissões de fontes não-renováveis, cerca de 54,5% do total dessas emissões. Ainda de acordo com o estudo os setores identificados como mais dependentes do consumo de energia de fontes não-renováveis foram os setores de transporte, armazenagem e correio, de produtos químicos, de cimento, de minério de ferro e energético.

Figueiredo et al ([s.d.]), por sua vez, avaliaram as emissões CO₂ resultantes do consumo energético em quatorze setores no estado de Pernambuco através da construção de uma matriz Insumo-Produto híbrida. Nesta análise, o setor de Siderurgia foi aquele que obteve maior índice de requerimentos totais de energia e foi identificado como o setor capaz de realizar maior pressão sobre o setor energético. Contudo, foi o setor de Transportes o responsável por maior impacto nas emissões em resposta a um aumento de demanda no estado, constituindo setor-chave para o controle de carbono em Pernambuco. Construção Civil e Alimentos e Bebidas também contribuíram intensamente com emissões acima da média para o aumento de emissões totais.

Hilgemberg e Guilhoto (2006) ao investigar as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo em seis regiões do Brasil simularam um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final com base na estrutura produtiva nacional a fim de captar a relação da interdependência técnica com o montante de emissões. Do ponto de vista regional observou-se maior grau de transações interindustriais existentes nas regiões São Paulo e resto do Sudeste, porém os resultados apontaram para um impacto nas emissões mais intenso nos setores da região Nordeste em resposta ao aumento da demanda. Isso significa que a variação de produção dos setores dessa região e a variação de produção que eles provocaram nos setores das demais regiões tiveram um impacto mais intenso nas emissões adicionais. Resultado que sugere que as emissões causadas pelos diferentes setores da atividade econômica nem sempre são resultado da concentração espacial do produto.

Em relação aos efeitos totais, Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo são aqueles que mais contribuem para o total de emissões adicionais, que se concentraram nas regiões Nordeste e Sul. O consumo de derivados de petróleo foi o principal responsável por esse efeito total sobre as emissões, emissões geradas principalmente pelo efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias, ainda que nos setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário e Outros Transportes o aumento das emissões tenha ocorrido por um aumento da produção utilizada para satisfazer diretamente a demanda final (HILGEMBERG E GUILHOTO, 2006).

Corroborando os resultados acima, o estudo de Carvalho e Perobelli (2009) quantificou as emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos a partir de uma matriz-Insumo-Produto inter-regional São Paulo/restante do Brasil. Através da qual observou-se maior impacto nas emissões por parte de setores do restante do Brasil em resposta a um aumento de demanda, que no estado de São Paulo. Novamente as inter-relações entre as diversas atividades produtivas explicaram melhor as emissões que a concentração espacial do produto. O trabalho ainda apresentou evidências de que a pauta de exportação brasileira se concentra em bens intensivos em poluição. No geral, os setores que exportam em maior volume, tanto em São Paulo como Restante do Brasil, estão entre aqueles que mais incorporam carbono nas exportações.

Monteiro et al (2012) com base na matriz Insumo-Produto estimada do estado do Paraná e do Balanço Energético Estadual, ambas de 2006, avaliaram as emissões de CO₂ e o consumo de energia na economia paranaense. De acordo com os resultados, as emissões de CO₂ sofreriam redução quando ocorressem mudanças nos coeficientes de produção dos setores do estado via melhora tecnológica ou redução do consumo de energia. Uma melhora tecnológica de 10% resultaria a redução de emissões, explicada pelos autores por ganhos de eficiência energética, enquanto a redução de 10% do consumo de energia faria com que 35 dos 49 setores considerados apresentassem reduções de emissões por meio da redução de consumo do óleo combustível. Desse modo, a análise do cenário econômico paranaense permitiu concluir que a incorporação de eficiência energética ao longo da cadeia poderia atender às demandas econômicas da sociedade com menor consumo de energia e com menores níveis de emissões.

Montoya et al (2013) com o objetivo de avaliar o consumo setorial de energia derivada do petróleo e álcool e seus impactos sobre as emissões de CO₂ no estado do Rio Grande do Sul em 2003 construíram uma matriz Insumo-Produto em unidades híbridas. Os resultados mostraram que o consumo total de energia do estado é afetado principalmente pelos setores Transporte e Energético. Tais setores apresentaram os níveis de requerimento de energia mais elevados do estado e concentraram cerca de 56,46% das emissões setoriais de CO₂ do Rio Grande do Sul. A análise em termos monetários identificou que a cada unidade monetária de renda gerada a economia gaúcha emite em média 30,2 gramas de CO₂.

Santiago, Carvalho e Perobelli ([s.d.]) utilizaram a matriz de Insumo-Produto para Minas Gerais de 2005 e Balanço Energético de Minas Gerais (BENMG) do mesmo ano para construir uma matriz de Insumo-Produto em unidades híbridas capaz de avaliar a intensidade das emissões de dióxido de carbono devido à queima de combustíveis energéticos e àquelas incorporadas às exportações. Os resultados indicaram maior impacto nas emissões por parte dos setores Agropecuária, Mineração e Pelotização e Transportes, uma vez que são os que mais pressionam os demais setores da economia em decorrência do aumento de sua própria demanda, assim como são aqueles que elevam suas emissões como resultado do aumento de demanda de outros setores. No período considerado, os setores que mais exportaram não foram os que mais incorporaram CO₂ nos produtos comercializados, logo, a pauta de exportações do estado de Minas Gerais não foi considerada intensiva em poluição.

Em síntese, estes estudos corroboram a importância da análise setorial das emissões de GEE, enquanto incentivam a produção de trabalhos que tratam a economia brasileira de forma mais desagregada, respeitando suas particularidades regionais. Para os estudos realizados no Brasil, em especial, poucos são aqueles que dispõem de Inventários regionais de emissões que incorporam as emissões derivadas de atividade produtiva. Um exemplo é a emissão derivada da digestão entérica dos ruminantes, parcela relevante das emissões do setor pecuário. Este trabalho contribui com a literatura brasileira, ao incorporar estas fontes de emissões, notadamente importantes para os setores produtivos mineiros, fato que o diferencia dos demais trabalhos realizados para tratar da economia do estado, além de utilizar a matriz regional de Insumo-Produto para Minas Gerais de 2008. Sendo assim, este trabalho avalia a intensidade de emissões setorial e ainda realiza uma análise das opções de mitigação condizentes com o cenário econômico mineiro.

4 METODOLOGIA

Este capítulo tem por objetivo detalhar a metodologia utilizada para a avaliação de coeficientes intensidade de emissões setoriais para identificação dos principais setores emissores de CO₂ do estado de Minas Gerais.

A primeira seção apresenta o modelo de Insumo-Produto padrão de Leontief. A segunda aborda uma extensão do modelo Insumo-Produto para tratar de questões ambientais. Este modelo estendido conta com coeficientes diretos capazes de associar a quantidade de determinado poluente ao montante de produção gerado por determinado setor. A partir deste coeficiente direto e da Matriz de impacto intersetorial (Matriz de Leontief) coeficientes indiretos de emissão podem ser construídos, assim como a incorporação da demanda das famílias pode oferecer o impacto induzido de seu consumo nas emissões de GEE. A terceira seção versará sobre a compatibilização das bases de dados utilizadas neste trabalho. A última seção discute os critérios adotados para a definição de medidas de mitigação mais adequadas para os principais setores emissores de GEE.

4.1 O modelo de Insumo-Produto

Um modelo de insumo-produto para uma dada região ou país específico descreve os fluxos monetários de bens e serviços entre as indústrias locais com setores da demanda final. A análise de insumo-produto tornou-se um dos métodos mais utilizados para se avaliar a economia devido à sua possibilidade de agrupar informações sobre o processo de produção, consumo intermediário, distribuição de renda gerada, comércio exterior, salário e impostos, inclusive sobre questões ambientais, através de modelos híbridos (MILLER e BLAIR, 2009).

Os modelos de insumo-produto proporcionam as bases conceituais para a análise das relações intersetoriais e inter-regionais de uma economia. Pelo modelo original de Leontief consegue-se captar as relações entre os setores econômicos e na versão regional, os transbordamentos inter-regionais. Uma das principais aplicações destes modelos tem sido a análise de impacto de choques e de políticas econômicas no território, especialmente em contexto ex-ante, em que inexistem dados que possam ser utilizados em modelos estatísticos (ex-post).

Um modelo Insumo-Produto permite a estimativa de indicadores de emprego, renda, produção e índices de ligações intersetoriais, consistindo em poderosa ferramenta de análise da estrutura da economia (GUILHOTO, 2010). A informação fundamental usada em uma análise de

insumo-produto são os fluxos de produtos de cada setor industrial, considerado produtor, aos demais setores, considerados consumidores. Desse modo, as linhas de uma Matriz de Insumo-Produto (MIP) descrevem a distribuição da produção de um determinado setor por toda a economia. As colunas, por sua vez, descrevem a composição de insumos necessários a um determinado setor para que ele possa produzir seu produto. As colunas adicionais, denominadas “Demanda Final”, apresentam as vendas de cada setor aos mercados finais, tais como aos consumidores finais e ao governo. As Matrizes Nacionais de Insumo-Produto são produzidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), enquanto a Fundação João Pinheiro é o órgão responsável pelas Matrizes Insumo-Produto do estado de Minas Gerais.

Em termos matemáticos, um sistema insumo-produto regional possui uma estrutura que consiste em um conjunto de “n” equações lineares com “n” incógnitas, através do qual a demanda de um dado setor “j” por insumo originados de outros setores é relacionada ao montante de bens produzidos por este mesmo setor “j” e a demanda final (MILLER e BLAIR, 1985).

Conforme Miller e Blair (1985), seja o modelo de insumo-produto que descreve os fluxos monetários para os setores da economia:

$$z + f = x$$

Onde z é a matriz de Consumo Intermediário, f é o vetor de Demanda Final e x é o vetor de Produto Final. A matriz de coeficientes técnicos A , sendo $\hat{x} = \text{diagon}(x)$ é então definida:

$$A = Z(\hat{x})$$

A corresponde à proporção de insumos do setor i que o setor j necessita para produção de \$1 de produto, sendo definido de forma geral como $a_{ij} = z_{ij}/x_j$.

Reescrevendo a primeira equação, temos:

$$Ax + f = x$$

A partir da qual é possível obter x :

$$x = (I-A)^{-1}f = Lf$$

onde $(I-A)^{-1} = L = [l_{ij}]$ é matriz inversa de Leontief.

Os coeficientes da matriz inversa são chamados de requerimentos totais de produção, ou seja, representam os efeitos diretos e indiretos de produção. Esses coeficientes são capazes de demonstrar em unidades monetárias a sensibilidade da produção setorial em função da demanda final (MONTROYA e PASQUAL, 2015).

4.2 Os modelos Insumo-Produto e o meio ambiente

Segundo Labandeira e Labeaga (2002), o modelo de insumo-produto pode ser estendido para análise da poluição, uma vez que grande parte da poluição resulta de atividades econômicas. A poluição é um fenômeno de fontes difusas, tornando impossível a distinção de emissores a partir de um único setor, devido à interdependência dos setores econômicos, tanto na esfera da produção quanto na emissão. A demanda por automóveis, por exemplo, gera poluição não apenas na planta montadora, mas também na fábrica de pneus e na siderúrgica produtora de aço. Mudanças nas relações de oferta e demanda, no padrão de consumo das famílias ou exportações, também podem mitigar ou intensificar as emissões. A substituição de um alto forno a coque pela energia elétrica na produção de aço, por exemplo, pode, ao contrário do que se imagina, inicialmente, aumentar as emissões se a eletricidade for gerada a partir de uma termoelétrica (Hildemberg, 2005). Sendo assim, a abordagem Insumo-Produto torna-se uma alternativa adequada para captar as interdependências dos setores econômicos, tanto na esfera da produção como emissão de CO₂.

De acordo com Miller e Blair (2009) uma das maiores dificuldades que enfrentam os modelos ambientais diz respeito à mensuração das quantidades ambientais de maneira correta. Segundo os autores, uma das maneiras de se contornar tal obstáculo é lançar mão de uma abordagem que assume uma matriz de poluição ou coeficientes diretos, $D_p = [d^p_{kj}]$ capaz de associar a quantidade de poluente tipo k ao montante de produção gerado por determinada indústria tipo j . Dessa forma, o nível de poluição associado ao produto de dada indústria pode ser colocado da seguinte forma:

$$x^{p*} = D^p x$$

Em que x^{p*} é o vetor com o nível de poluição. Esse vetor pode ser calculado como uma função da demanda final ao ser incorporado ao modelo tradicional de Leontief, de modo que $x = Lf$, onde $L = (I - A)^{-1}$. O resultado da equação abaixo fornece a poluição total produzida direta e indiretamente pela economia a fim de suprir a demanda final:

$$x^{p*} = [D^p L]f$$

Por exemplo, a energia usada numa planta montadora de automóveis, e consequente emissões associadas é o requerimento direto de emissões, ao passo que a energia usada na produção dos insumos utilizados (pneus, motores, vidros) seria englobado no requerimento indireto de emissão.

O produto que se encontra dentro dos colchetes é matriz de impacto ambiental total, indicando os efeitos da poluição em resposta a um aumento de uma unidade monetária na demanda final, decorrente dos requerimentos diretos e indiretos.

No cálculo da intensidade de energia de um produto deve-se distinguir entre setores de energia primária (extração de petróleo e gás, por exemplo) e setores de energia secundária (refino de petróleo e eletricidade). Estes últimos recebem energia primária como insumo e convertem em formas secundárias de energia.

O consumo das famílias pode ser incorporado ao sistema econômico como uma variável endógena a fim de avaliar os efeitos induzidos sobre as emissões de GEE. Deste modo, a nova Matriz de Leontief (L^*) passa a apresentar uma linha e uma coluna correspondentes à esta variável. O vetor de coeficientes diretos também sofre o acréscimo de uma linha referente ao volume de emissões produzido pelo consumo das famílias, e capta a interferência deste demandante final no total de emissões. Assim sendo, o novo vetor de impactos pode ser representado da seguinte forma:

$$x^{p*} = [D^{p*} L^*]f$$

O produto da matriz L^* com o vetor de coeficientes diretos, incluindo as famílias (D^{p*}) é o efeito induzido provocado pelo consumo das famílias no total de emissões de GEE do estado.

4.3 Preparação dos dados

4.3.1 Matrizes Insumo-Produto

As matrizes utilizadas neste trabalho foram a matrizes de Insumo-Produto de Minas Gerais divulgadas pela Fundação João Pinheiro (FJP, 2009, 2015), cuja base de dados representam os sistemas econômicos do estado em 2005 e 2008. A utilização da matriz de 2005 justifica-se pela necessidade de compatibilizar o valor bruto da produção de cada setor da matriz para o

ano de coleta de dados do Inventário Emissões de GEE de Minas Gerais, também de 2005. Assim, foram calculados os coeficientes diretos de emissão para o referido ano, através da divisão do total das emissões sobre o valor bruto de produção. De posse desses números, utilizou-se a matriz de 2008, o retrato mais recente da estrutura produtiva da economia mineira (interdependências setoriais), para a mensuração dos efeitos indiretos e induzidos das emissões. Assume-se que o coeficiente direto das emissões por setor modifica-se marginalmente ao longo dos anos, devido a rigidez estrutural e tecnológica da produção, principalmente num período tão curto (3 anos) quanto o analisado.

As Matrizes Insumo-Produto de Minas Gerais (MIP-MG) são construídas com base na Tabela de Recursos e Usos de Minas Gerais (TRU-MG), que se constitui a partir dos principais agregados macroeconômicos do estado. Assim como destaca Fundação João Pinheiro (2015), a TRU é, na verdade, formada por duas tabelas, a de Recursos de Bens e Serviços e a de Usos de Bens e Serviços. A primeira conta com dados estimados acerca da oferta total de bens e serviços da economia (produção e importação), enquanto a segunda com dados de consumo intermediário, demanda final e componentes de Valor Adicionado (diferença entre o Valor Bruto da Produção e o Consumo Intermediário). As linhas das tabelas são formadas por produtos, enquanto as colunas por atividades econômicas.

Os produtos são classificados de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) e as atividades, segundo IBGE (2008), constituem um conjunto de agentes do processo de produção que agregam unidades produtivas com estruturas relativamente homogêneas de consumo e produção. Apesar de contar com 52 atividades e 101 produtos na planilha de trabalho interno, a Fundação João Pinheiro optou pela divulgação da TRU-MG 2008 com 40 atividades e 85 produtos (FJP, 2015).

A partir da TRU os coeficientes técnicos de produção da MIP são obtidos, leva-se ainda em conta algumas transformações, cálculos e adoção de hipóteses para realizar tal estimativa. As considerações realizadas dizem respeito à adoção de valoração a preços básicos para homogeneizar insumo e produto, uma vez que os componentes de consumo intermediário e demanda final na TRU são valorados a preços do consumidor, e à adoção de participação de cada destino no consumo total do produto, devido à falta de informação adequada sobre a partição das importações, impostos e margens para cada atividade dentro do consumo intermediário e dos componentes da demanda final. Outra hipótese adotada é conhecida como *market share*, que supõe a distribuição da demanda de cada produto de forma

proporcional ao seu valor de produção pelas atividades. A hipótese é utilizada em resposta a não observância de um pressuposto do modelo de Leontief, que considera que um produto é produzido por apenas uma atividade e que cada setor produz apenas um único produto (FJP, 2015).

As atividades presentes na MIP 2008 correspondem às mesmas 40 atividades presentes na TRU 2008, como mostra o quadro 1 abaixo.

Quadro 1 - Setores Econômicos - Matriz Insumo-Produto

(continua)

Setores Matriz Insumo-Produto 2008	
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos
Pecuária e pesca	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
Indústria extrativa mineral	Eletrodomésticos e equipamentos eletro-eletrônicos, científicos e hospitalares
Alimentos e Bebidas	Automóveis, camionetas, utilitários, caminhões e ônibus
Produtos do fumo	Outros equipamentos de transporte, peças e acessórios para veículos automotores
Têxteis	Produtos de madeira, móveis e produtos das indústrias diversas
Artigos do vestuário, acessórios, artefatos de couro e calçados	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
Celulose e produtos de papel	Construção
Jornais, revistas, discos	Comércio
Refino de petróleo e coque	Transporte, armazenagem e correio
Álcool	Serviços de informação
Produtos químicos - inclusive resina, elastômeros, tintas, vernizes e preparados diversos	Intermediação financeira e seguros
Produtos farmacêuticos	Serviços imobiliários e aluguel
Defensivos agrícolas	Serviços de manutenção e reparação

(continuação)

Setores Matriz Insumo-Produto 2008	
Perfumaria, higiene e limpeza	Serviços de alojamento e alimentação
Artigos de borracha e plástico	Serviços prestados às empresas
Cimento	Educação e saúde mercantis
Outros produtos de minerais não-metálicos	Serviços prestados às famílias e associativos
Fabricação de aço e derivados	Serviços Domésticos
Metalurgia de metais não-ferrosos	Administração pública e seguridade social

Fonte: Elaboração própria

Como mencionado anteriormente, a matriz Insumo-Produto de Minas Gerais mais recente foi divulgada em 2015 pela Fundação João Pinheiro, sendo assim os resultados desta matriz são os que estão mais próximos da realidade econômica mineira atual. Os resultados da matriz permitem a análise dos setores-chave, a partir de índices setoriais, e de multiplicadores. Fundação João Pinheiro (2015) lançou mão de três metodologias para identificar os setores-chave da economia: os índices de interligação de Rasmussen-Hirschman, os campos de influência e os índices puros de ligação, que serão descritos aqui, para o melhor entendimento dos coeficientes de emissões a serem calculados e analisados.

Os índices de interligação de Rasmussen-Hirschman mensuram os encadeamentos para trás (índice de poder de dispersão) e os encadeamentos para frente (índice de sensibilidade à dispersão) entre os setores da economia a fim de identificar quais possuem maior poder de encadeamento. O índice de ligação para frente mede o impacto do aumento de demanda de R\$ 1,00 em todos os setores da economia na demanda de um setor, enquanto o índice de ligação para trás capta quanto um setor demanda dos demais quando tem sua demanda ampliada em R\$ 1,00. A abordagem de campos de influência é complementar à de índices de interligação, através da qual destaca-se as relações entre os setores mais influentes graças a metodologia estabelecida por Sonis e Hewings (1989) capaz de capturar os efeitos sinérgicos das alterações dos coeficientes da MIP. Por fim, os índices puros de ligação classificam os setores-chave a partir do peso que o nível da produção dos setores exerce sobre a economia. Para determinar os setores-chave, esta abordagem isola determinado setor e analisa seu papel como demandante e fornecedor de insumos.

Os setores-chave da economia mineira, em 2008, de acordo com a abordagem de índices de interligação de Rasmussen-Hirschman foram os setores “Extrativa mineral”, “Alimentos e bebidas”, “Produtos químicos”, “Fabricação de aço e derivados” e “Serviços de informação”. Levando em conta os resultados da análise de campos de influência os setores mais influentes dentro do sistema produtivo mineiro foram “Alimentos e bebidas”, “Serviços de informação”, “Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana”, “Serviços prestados às empresas”. Na perspectiva dos índices puros de ligação, os setores “Comércio”, “Alimentos e bebidas”, “Fabricação de aço e derivados”, “Serviços prestados às empresas”, “Transporte, armazenagem e correio” foram classificados como setores-chave da economia mineira. Abaixo uma tabela resumo dos resultados:

Quadro 2 - Resumo dos setores-chave - 2008

Índices de Rasmussen-Hirschman
Extrativa mineral
Alimentos e bebidas
Produtos químicos
Fabricação de aço e derivados
Serviços de informação
Campo de influência
Alimentos e bebidas
Produtos químicos
Serviços de informação
Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana
Serviços prestados às empresas
Índices Puros de Ligação
Alimentos e bebidas
Fabricação de aço e derivados
Comércio
Transporte, armazenamento e correio
Serviços prestados às empresas

Fonte: Fundação João Pinheiro (2015)

As diferentes características metodológicas fazem com que os resultados não sejam completamente iguais para as três avaliações. Observa-se, no entanto, que “Alimentos e bebidas” aparece em ambas metodologias como setor-chave, assim como “Produtos químicos”, “Fabricação de aço e derivados”, “Serviços de informação” e “Serviços prestados às empresas” aparecem em duas das três metodologias consideradas.

Os multiplicadores de impacto são instrumentos capazes de auxiliar na tomada de decisão sobre políticas públicas de desenvolvimento regional, uma vez que permitem estimar o impacto direto e indireto, em resposta a um aumento de demanda final, de cada setor da economia sobre a renda, o emprego, as importações, o valor adicionado ou outra variável econômica de interesse. A partir dos multiplicadores é possível estabelecer os setores mais influentes no sistema econômico em termos das variáveis citadas acima (FJP, 2015). As atividades de serviços foram as que apresentaram maiores valores nos multiplicadores totais de renda, sendo a atividade “Serviços domésticos” a de maior multiplicador, em que um milhão de aumento na demanda final gera um incremento de R\$1.288.461 na renda do trabalho. Ao tratar de empregos, “Serviços domésticos” também ganha destaque, introduzindo cerca de 285 empregos frente a um aumento da demanda final de um milhão de reais. Os maiores multiplicadores de Valor Adicionado ficaram por conta das atividades “Serviços domésticos”, “Administração pública”, “Pecuária e pesca”, “Serviços de manutenção e reparação” e “Comércio”. A indústria ganha destaque em relação aos multiplicadores do ICMS e IPI, visto que “Refino de petróleo e coque”, “Produtos do fumo”, “Perfumaria, higiene e limpeza” e “Fabricação de Veículos automotores” estão entre as atividades de maiores multiplicadores.

4.3.2 Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa de Minas Gerais

O Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do estado de Minas Gerais é peça fundamental para o entendimento do perfil do estado quanto a emissões de GEE, fornecendo informações essenciais para a escolha de opções de mitigação mais adequadas. O inventário constitui-se na ferramenta capaz de identificar o padrão e as principais fontes de emissões de GEE com base nas emissões geradas pelas principais atividades socioeconômicas em 2005. Foram consideradas as emissões de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso

(N₂O), além do perfluormetano (CF₄) e o perfluoretano (C₂F₆), que foram quantificadas em gigagramas de dióxido de carbono equivalente (CO₂ Eq)⁴.

A metodologia utilizada para construir o inventário foi desenvolvida pelo IPCC em um guia exclusivo para Inventários nacionais de emissões. Ao se realizar a transposição de uma metodologia desenhada para países em um contexto estadual, algumas mudanças tornaram-se necessárias. Uma adaptação importante em relação ao que propõe o IPCC diz respeito ao fato de considerar que os resultados expressem a responsabilidade do estado de Minas Gerais nas emissões de GEE não só em seu território, mas também em todo Brasil (FEAM, 2008).

O inventário conta com quatro setores principais: Energia; Processos Industriais e Uso de Produtos; Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo e Resíduos, contando cada um com respectivos subsetores, como mostra a tabela abaixo.

Quadro 3 - Setores e Subsetores do Inventário de GEE de Minas Gerais

Energia	Uso de Energia
	Autoconsumo dos Centros de Transformação
	Emissões Fugitivas ⁵
Processos Industriais e Uso de Produtos	Minerais Metálicos
	Indústria Química
	Minerais Não-Metálicos

⁴ O cálculo da equivalência de CO₂ leva em conta o Global Warming Potential (GWP). De acordo com a Agência Americana de Proteção ao Meio Ambiente (EPA, sigla em inglês), o GWP foi construído de modo a permitir a comparação do impacto de diferentes gases no aquecimento global. De modo geral, o cálculo consiste em mensurar a quantidade de energia que as emissões de uma tonelada de certo gás irão absorver durante um determinado período de tempo quando comparada às emissões de uma tonelada de CO₂. Desta forma, quanto maior um índice GWP associado a um gás, maior seu impacto no aquecimento global quando comparado ao CO₂. Os gases presentes no inventário foram considerados em um horizonte de 100 anos, de acordo com o recomendado pelo Segundo Relatório de Avaliação (SAR) do Painel Intergovernamental de Mudança Climática (IPCC, 1995). Sendo assim, coeficiente de equivalência ao CO₂ é de 21 para o CH₄, 310 para o N₂O, 6.500 para o CF₄ e 9.200 para o C₂F₆.

⁵ De acordo com a resolução n° 382, de 26 de dezembro de 2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006), emissões fugitivas correspondem ao lançamento difuso na atmosfera de qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa, efetuado por uma fonte desprovida de dispositivo projetado para dirigir ou controlar seu fluxo.

Agricultura, Floresta e Outros Usos do Solo	Florestas e Outros Usos do Solo
	Agricultura
	Pecuária
Resíduos	Resíduos Sólidos Urbanos
	Resíduos Sólidos Industriais
	Esgotos Domésticos e Industriais
	Efluentes Industriais

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a Feam (2008), configuram emissões de GEE do setor energia àquelas devidas à queima de combustíveis fósseis e da biomassa na produção, transformação e consumo de energia, bem como as emissões fugitivas decorrentes do refino, transporte e distribuição do petróleo e gás natural.

As emissões de gases de efeito estufa contabilizadas no setor Processos Industriais e Uso de Produtos dizem respeito ao processo produtivo em si e ao uso de gases de efeito estufa em produtos. Em alinhamento com o Guia IPCC 2006 foram consideradas neste setor apenas as emissões geradas pela transformação física ou química de materiais ou na utilização de gases de efeito estufa em produtos e no uso não energético de carbono (FEAM, 2008).

No setor Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo foram contabilizadas as emissões oriundas da agricultura provenientes do cultivo de arroz, queimadas, em sua maioria da palha de cana-de-açúcar, e à aplicação de fertilizantes e corretivos de solo; emissões diretas e indiretas de N₂O de sistemas de manejo de dejetos e emissões de metano provenientes dos animais de criadouro resultantes da pecuária e emissões líquidas de GEE a partir do uso do solo (FEAM, 2008).

Por fim, no setor de Resíduos Sólidos foram utilizados dados referentes às emissões de GEE resultantes do tratamento e disposição final, tanto dos resíduos sólidos, quanto dos efluentes líquidos.

O estado de Minas Gerais foi responsável pela emissão de cerca de 122.949,40 Gg de dióxido

de carbono equivalente (CO₂eq) no ano de 2005, segundo os resultados levantados pelo inventário, no mesmo ano, as emissões totais brasileiras alcançaram 2.042.998 Gg de CO₂eq. Em concordância com a tendência global, a maior contribuição partiu das emissões de CO₂, que alcançaram 60,63% do total de emissões, 74.544,61 Gg. Em ordem de maior volume emitido seguem as emissões de 1.640, 15 Gg de metano (CH₄), 42,86 Gg de óxido nitroso (N₂O), 96,48 toneladas de tetrafluoreto de carbono (CF₄) e 5,33 toneladas de hexafluoreto (C₂F₆).

Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo foi o setor com maior percentual das emissões observadas, 51,42% do total. A pecuária foi responsável por cerca de 57,1% das emissões deste setor, devido à fermentação entérica e manejo de dejetos, conseqüentemente o metano foi o gás emitido em maior volume, seguido do dióxido de carbono relacionado a conversão de áreas florestais. Logo após, o setor Energia aparece como a segunda maior fonte de emissões do estado, compreendendo 36,9% do total de emissões. O uso de energia pela indústria contribuiu com 45,5% das emissões e o subsetor transporte com 36,6%. O setor Resíduos e o setor Processos Industriais e Usos de Produtos tiveram uma participação similar no total de emissões, com 5,9% das emissões contra 5,8%. O setor Resíduos foi o terceiro maior emissor de Minas. A maior parte de suas emissões (65%) deveram-se a disposição e tratamento de resíduos sólidos, enquanto a principal fonte de emissões do setor IPPU foi o subsetor de Minerais Não Metálicos. Abaixo, a tabela 1 sumariza estes números:

Tabela 1 - Consolidação das emissões de GEE - Minas Gerais - 2005

Setor	Gg CO ₂	tCH ₄	tN ₂ O	tCF ₄	tC ₂ F ₆	Gg CO ₂ eq	%
AFOLU	25.240,90	1.275.480,91	36.113,35			63.221,14	51,42
Energia	42.656,69	74.537,19	3.634,98			45.348,82	36,88
Resíduos	282,00	287.980,00	3.110,83			7.293,04	5,93
IPPU				96,48	5,33	7.086,41	5,76
Total geral das emissões	74.544,61	1.640.151,83	42.859,15	96,48	5,33	122.949,40	100,00

Fonte: FJP (2015)

4.3.3 Compatibilização de setores

As duas matrizes utilizadas, assim como o inventário de emissões cobriam um número diferente de setores econômicos, fato que fez com que duas compatibilizações fossem necessárias. A primeira compatibilização realizada diz respeito à adequação dos setores da MIP 2005 aos setores presentes na MIP 2008. Devido ao fato da MIP 2005 apresentar 35 setores, tornou-se necessária a agregação de algumas atividades⁶ e a utilização do valor da produção ajustada aos preços de 2005 em outras⁷ a fim de torná-la compatível com a MIP referente ao ano de 2008, para que deste modo, o cálculo dos coeficientes indiretos e induzidos a partir da Matriz de Leontief de 2008 fosse possível. O quadro 4 que compreende esta compatibilização encontra-se no Apêndice A.

Por sua vez, as emissões setoriais presentes no inventário tiveram de ser compatibilizadas com os setores da MIP 2008, de forma a definir o volume de emissões de cada setor considerado. A compatibilização partiu da definição CNAE para os setores. Não foram consideradas as emissões de Mudança no uso do solo e florestas, como queimadas e desmatamento, por não representarem diretamente uma emissão decorrente da produção de setores, como o setor Agropecuário. No setor da Agricultura e Pecuária são contabilizadas as emissões decorrentes da atividade produtiva, como a digestão entérica dos ruminantes e liberação de nitrogênio pelos cultivos, por exemplo. Esta é a forma padrão de classificar e compatibilizar estas fontes de emissões. Também não foram contabilizadas as emissões provenientes da queima de biomassa (parcela não renovável). A tabela 2 mostra os setores compatibilizados, assim como suas respectivas emissões e participações no total considerado.

⁶Fabricação de Alimentos e Fabricação de Bebidas; Fabricação de artefatos de couro e calçados e Fabricação de artigos do vestuário e acessórios; Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores e Fabricação de outros equipamentos de transporte; Produtos farmacêuticos e Perfumaria, higiene e limpeza; Serviços de manutenção e reparação, Serviços prestados às famílias e associativos e Serviços Domésticos.

⁷Jornais, revistas, discos; Álcool; Cimento; Metalurgia de metais não-ferrosos.

Tabela 2 - Distribuição setorial das emissões de CO₂eq em Minas Gerais

(continua)

Setores MIP 2008	Produção 2005 (R\$ 1.000.000,00)	Emissões consideradas - Inventário 2005 ⁸	Gg CO ₂ eq	Participação Emissões (%)
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	15.116,00	Uso de Energia - Agropecuária	1.664,24	4,63
		Cultivo Arroz	135,00	
		Queima da Cana-de-Açúcar	0,14	
		Uso de Fertilizante Nitrogenado	1.726,10	
		Uso de Calcário e Dolomita	943,80	
Pecuária e pesca	8.955,00	Fermentação Entérica	26.048,00	37,43
		Manejo de Dejetos	10.071,00	
Indústria extrativa mineral	13.642,00	Uso de energia - Mineração e pelotização	904,62	0,94
Alimentos e Bebidas	21.903,00	Uso de energia - Alimentos e bebidas	537,05	0,56
Produtos do fumo	916,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	4,90	0,01
Têxteis	3.181,00	Uso de energia - Têxtil	390,92	0,41
Artigos do vestuário, acessórios, artefatos de couro e calçados	3.307,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	17,71	0,02
Celulose e produtos de papel	3.383,00	Uso de energia - Papel e Celulose	330,33	0,34
Jornais, revistas, discos	1.700,46	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	9,10	0,01
Refino de petróleo e coque	10.762,00	Emissões Fugitivas	18,37	0,08
		Uso de energia - Outros produtos da Indústria	57,62	
Álcool	1.340,90	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	7,18	0,01
Produtos químicos	8.171,00	Indústria Química	305,57	0,81
		Uso de energia - Química	475,15	

⁸ No escopo do Inventário de emissões de gases de efeito estufa do estado de Minas Gerais (FEAM, 2008) foram consideradas as emissões oriundas do processo produtivo e uso de energia.

(continuação)

Setores MIP 2008	Produção 2005 (R\$ 1.000.000,00)	Emissões consideradas - Inventário 2005	Gg CO₂eq	Participação Emissões (%)
Produtos farmacêuticos	716,50	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	3,84	0,00
Defensivos agrícolas	709,49	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	3,80	0,00
Perfumaria, higiene e limpeza	716,50	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	3,84	0,00
Artigos de borracha e plástico	1.985,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	10,63	0,01
Cimento	1.972,30	Uso de Energia - Cimento	1.242,48	4,51
		Produção de Cimento	3.107,67	
Outros produtos de minerais não-metálicos	4.943,00	Cal	747,73	3,91
		Cerâmica	297,63	
		Produção de Cal	2.703,79	
		Produção de Cerâmica	20,45	
Fabricação de aço e derivados	32.808,00	Uso de energia - Ferro gusa não-integrado	290,95	15,48
		Uso de energia - Ferro gusa e aço integrado	14.176,68	
		Uso de energia - Ferroligas	363,66	
		Produção de Ferroligas	7,73	
		Siderurgia (Coque + Sínter)	17,01	
		Uso de energia - Outros da siderurgia	81,59	
Metalurgia de metais não-ferrosos	5.491,79	Uso de Energia - Não-ferrosos e outros da metalurgia	499,77	1,48
		Produção de Alumínio	924,19	
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	5.100,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	27,31	0,03
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	4.132,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	22,12	0,02

(continuação)

Setores MIP 2008	Produção 2005 (R\$ 1.000.000,00)	Emissões consideradas - Inventário 2005	Gg CO₂eq	Participação Emissões (%)
Elerodomésticos e equipamentos eletro-eletrônicos, científicos e hospitalares	4.449,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	23,82	0,02
Automóveis, camionetas, utilitários, caminhões e ônibus	12.548,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	67,19	0,07
Outros equipamentos de transporte, peças e acessórios para veículos automotores	5.419,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	29,02	0,03
Produtos de madeira, móveis e produtos das indústrias diversas	3.394,00	Uso de energia - Outros produtos da Indústria	18,17	0,02
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	12.829,00	Resíduos Sólidos Urbanos	2.984,80	9,24
		Esgotos Domésticos e Comerciais	1.719,62	
		Resíduos Sólidos Industriais	1.757,30	
		Efluentes Industriais	831,32	
		Autoconsumo - Centros de Transformação	1.621,76	
Construção	15.976,00	Uso de Energia - Setor Comercial	27,48	0,03
Comércio	27.929,00	Uso de Energia - Setor Comercial	48,04	0,05
Transporte, armazenagem e correio	15.935,00	Uso de Energia - Setor Transporte	16.577,66	17,18
Serviços de informação	10.818,00	Uso de Energia - Setor Comercial	18,61	0,02
Intermediação financeira e seguros	12.202,00	Uso de Energia - Setor Comercial	20,99	0,02
Serviços imobiliários e aluguel	15.870,00	Uso de Energia - Setor Comercial	27,30	0,03

(continuação)

Setores MIP 2008	Produção 2005 (R\$ 1.000.000,00)	Emissões consideradas - Inventário 2005	Gg CO₂eq	Participação Emissões (%)
Serviços de manutenção e reparação	3.127,67	Uso de Energia - Setor Comercial	5,38	0,01
Serviços de alojamento e alimentação	5.221,00	Uso de Energia - Setor Comercial	8,98	0,01
Serviços prestados às empresas	9.340,00	Uso de Energia - Setor Comercial	16,07	0,02
Educação e saúde mercantis	8.539,00	Uso de Energia - Setor Comercial	14,69	0,02
Serviços prestados às famílias e associativos	3.127,67	Uso de Energia - Setor Comercial	5,38	0,01
Serviços Domésticos	3.127,67	Uso de Energia - Setor Comercial	5,38	0,01
Administração pública e seguridade social	32.082,00	Uso de Energia - Setor Público	88,20	0,09
Consumo das Famílias	95.534,73	Uso de Energia - Residencial	2.387,12	2,47
TOTAL	448.420,68		96.503,94	100,00

Fonte: Elaboração própria

4.3.4 Opções de mitigação

As opções de mitigação propostas neste trabalho tiveram como base os resultados do estudo “Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para o alcance das metas brasileiras no Acordo de Paris” (2017) do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), a partir do qual foi possível identificar as opções que mais se adequam ao padrão setorial de emissões do estado, sem deixar de avaliar a viabilidade de implementação de tais medidas.

O estudo foi uma iniciativa do MCTIC, executado em parceria com a ONU Meio Ambiente. Estruturado com o objetivo de subsidiar as discussões em torno do papel de cada setor econômico, levando em conta custo-efetividade, nas metas de redução de emissão de GEE no Brasil, a partir da implementação de opções de mitigação, o estudo considerou os seguintes setores-chave: “Indústria”, “Energia”, “Transportes”, “Edificações (residenciais, comerciais e

de serviços); “AFOLU (Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo)” e “Gestão de resíduos”.

A construção dos cenários de mitigação de emissões de GEE partiu da utilização de um modelo de equilíbrio geral dinâmico (DSGE), que posteriormente, serviu de base para elaboração dos cenários econômicos junto a um modelo de equilíbrio geral computável (EGC). Diferentes cenários de baixo carbono (BC) foram simulados a fim de atingir as metas estabelecidas pela NDC brasileira. Foram levados em conta diferentes níveis de valores de carbono: 0, 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO₂eq). O primeiro cenário, BC0, representa um esforço que possui viabilidade econômica ao longo da sua vida útil, mas são medidas que acabam não sendo implementadas por barreiras de diferentes naturezas. Os demais cenários (BC10, BC25, BC50 e BC100) só se tornam viáveis com a internalização de valor de carbono na economia na grandeza em que os cenários foram definidos, ou seja, 10, 25, 50 e 100 dólares por tonelada de dióxido de carbono equivalente (US\$/tCO₂eq) (MCTIC, 2017).

As opções de mitigação propostas neste trabalho dizem respeito àquelas que mais se adequam aos setores identificados como intensivos em emissões no estado de Minas Gerais, de acordo com os resultados dispostos abaixo para os coeficientes diretos, indiretos e efeitos induzidos. Serão discutidas opções de acordo com custo e efetividade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo tem por objetivo descrever e analisar os resultados obtidos a partir da metodologia descrita acima, através dos efeitos diretos, indiretos e, pela incorporação do consumo das famílias no sistema econômico, dos efeitos induzidos, de forma a identificar os principais setores emissores de CO₂ do estado de Minas Gerais. Deste modo, uma análise setorial de emissões é realizada, possibilitando a discussão de opções de mitigação aplicáveis aos setores mais intensivos em emissões do estado.

5.1 Coeficientes diretos, indiretos e induzidos de emissões

Como mencionado anteriormente, os setores considerados neste trabalho são os 40 especificados na MIP MG 2008. A partir dos dados do inventário os coeficientes diretos puderam ser calculados, relacionando o montante da produção com o volume de emissões de CO₂ equivalente. De posse da Matriz de Leontief, os coeficientes indiretos foram estimados e ao incorporar o consumo das famílias ao modelo, uma nova matriz inversa, assim como um novo vetor de coeficientes diretos possibilitaram os cálculos dos efeitos induzidos, decorrente do impacto do consumo das famílias sobre a intensidade de emissões.

5.1.2 Coeficientes Diretos

Os coeficientes diretos de emissão indicam quanto a produção de dado setor impactou diretamente o montante de emissões observado para o ano inventariado a fim de atender a demanda final. Um alto coeficiente direto para dado setor sugere uma estrutura produtiva *per si* intensiva em emissões de GEE.

Tabela 3 - Coeficientes Diretos das emissões setoriais em Minas Gerais 2005

(continua)

Setores	Coeficientes Diretos
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,296
Pecuária e pesca	4,033
Indústria extrativa mineral	0,066
Alimentos e Bebidas	0,025
Produtos do fumo	0,005
Têxteis	0,123

(continuação)

Setores	Coefficientes Diretos
Artigos do vestuário, acessórios, artefatos de couro e calçados	0,005
Celulose e produtos de papel	0,098
Jornais, revistas, discos	0,005
Refino de petróleo e coque	0,007
Álcool	0,005
Produtos químicos - inclusive resina, elastômeros, tintas, vernizes e preparados diversos	0,096
Produtos farmacêuticos	0,005
Defensivos agrícolas	0,005
Perfumaria, higiene e limpeza	0,005
Artigos de borracha e plástico	0,005
Cimento	2,206
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,763
Fabricação de aço e derivados	0,455
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,259
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	0,005
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,005
Eletrodomésticos e equipamentos eletro-eletrônicos, científicos e hospitalares	0,005
Automóveis, camionetas, utilitários, caminhões e ônibus	0,005
Outros equipamentos de transporte, peças e acessórios para veículos automotores	0,005
Produtos de madeira, móveis e produtos das indústrias diversas	0,005
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,695
Construção	0,002
Comércio	0,002
Transporte, armazenagem e correio	1,040

(continuação)

Setores	Coefficientes Diretos
Serviços de informação	0,002
Intermediação financeira e seguros	0,002
Serviços imobiliários e aluguel	0,002
Serviços de manutenção e reparação	0,002
Serviços de alojamento e alimentação	0,002
Serviços prestados às empresas	0,002
Educação e saúde mercantis	0,002
Serviços prestados às famílias e associativos	0,002
Serviços Domésticos	0,002
Administração pública e seguridade social	0,003

Fonte: Elaboração própria

O setor “Pecuária e Pesca” apresenta o maior coeficiente direto dentre os setores analisados na economia mineira. O coeficiente direto de 4,033, mostra que cada unidade monetária produzida pelo setor em reais, emite 4,033 toneladas de CO₂ equivalente. As atividades da pecuária são umas das mais intensivas em emissões de GEE, liberando predominantemente gás metano. Desconsiderando-se as emissões oriundas do uso do solo, as emissões provenientes da pecuária somaram 92,8% do total de emissões do setor Agricultura, Florestas e Outros Usos do Solo devido à fermentação entérica e ao manejo de dejetos. Concomitantemente, o setor esteve longe de ter o maior valor de produção do estado em 2005, apesar de ocupar lugar de destaque no contexto nacional, tendo sido responsável por cerca de 29% da produção nacional de leite naquele mesmo ano, respondendo por 22% do total de vacas ordenhadas no Brasil (FJP, 2015).

O setor “Cimento” aparece logo em seguida, com coeficiente direto de 2,206 (cada unidade monetária produzida emitiu 2,206 toneladas de CO₂eq em 2005). O uso de energia para produção de cimento só perde para as emissões provenientes do uso de energia para produção de “Ferro gusa e aço integrado” em termos de emissões derivadas do uso de energia na indústria. O processo de produção do cimento em si também é intensivo em emissões, apresentando o maior volume entre os minerais não-metálicos. Novamente, o coeficiente

direto alto está relacionado a um volume elevado de emissões associado a um setor com montante de produção abaixo da média, ou seja, tem uma emissão elevada por unidade monetária produzida.

O setor “Transporte, armazenagem e correio”, por sua vez, ficou entre os sete setores de maior montante monetário produzido no ano de 2005. Mesmo apresentando um valor alto de produção, obteve o terceiro maior coeficiente direto, devido ao grande volume de emissões incorporadas pela atividade. A predominância do modal rodoviário no Brasil, ainda dependente de combustíveis de origem fóssil, assim como no estado de Minas Gerais, explica, em grande medida, o impacto deste setor sobre as emissões. Outras atividades com coeficientes significativos foram: “Outros produtos de minerais não-metálicos”; “Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana” e “Fabricação de aço e derivados”.

Os setores de serviços estiveram, em sua maioria, associados a baixos coeficientes diretos de emissão, tais setores possuem papel de destaque em termos de valor da produção, mas o processo produtivo em si não é intensivo em emissões. Basicamente, as emissões estão relacionadas ao uso de energia para realização das atividades.

5.1.3 Coeficientes Indiretos, Induzidos e a Dinâmica setorial

Os coeficientes indiretos de emissões denotam os efeitos causados nas emissões devido aos requerimentos de produção oriundos dos demais setores considerados. Em outras palavras, mensuram a intensidade de emissões dos setores considerando agora não apenas o seu processo produtivo e uso de energia, mas também as interdependências setoriais. Podem haver setores, por exemplo, que têm suas emissões determinadas indiretamente, em parte, pela demanda de outros setores. Essa é uma análise importante dado que políticas de mitigação de emissões que afetem a magnitude da produção destes setores podem, potencialmente, gerar gargalos na economia (ALCANTARA E PADILHA, 2003).

Em contrapartida, os efeitos induzidos sobre as emissões são resultado do padrão de consumo das famílias, representando as emissões setoriais induzidas pelo consumo das famílias, principal componente da demanda final.

A análise dos efeitos indiretos e induzidos é relevante para o entendimento da dinâmica econômica das emissões de GEE. Podem existir setores com coeficientes diretos pouco significativos, que ganham papel de destaque no volume de emissões de acordo com as

relações intersetoriais e/ou a partir dos requerimentos de produção induzidos pelo consumo das famílias.

A tabela 4 reúne os coeficientes diretos (A), indiretos (B) e efeitos totais induzidos (C) para os 40 setores considerados.

Tabela 4 - Coeficientes diretos, indiretos e efeitos induzidos das emissões setoriais em Minas Gerais 2008

(continua)

Setores	Coeficientes Diretos (A)	Coeficientes Indiretos (B)	Efeito Induzido(C)
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,296	0,620	0,845
Pecuária e pesca	4,033	4,267	4,419
Indústria extrativa mineral	0,066	0,254	0,262
Alimentos e Bebidas	0,025	0,432	0,996
Produtos do fumo	0,005	0,006	0,049
Têxteis	0,123	0,138	0,157
Artigos do vestuário, acessórios, artefatos de couro e calçados	0,005	0,008	0,127
Celulose e produtos de papel	0,098	0,121	0,131
Jornais, revistas, discos	0,005	0,021	0,058
Refino de petróleo e coque	0,007	0,482	0,653
Álcool	0,005	0,020	0,047
Produtos químicos - inclusive resina, elastômeros, tintas, vernizes e preparados diversos	0,096	0,582	0,644
Produtos farmacêuticos	0,005	0,011	0,025
Defensivos agrícolas	0,005	0,030	0,038
Perfumaria, higiene e limpeza	0,005	0,009	0,025
Artigos de borracha e plástico	0,005	0,025	0,043
Cimento	2,206	2,307	2,311
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,763	0,874	0,888
Fabricação de aço e derivados	0,455	0,599	0,615
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,259	0,299	0,303

(continuação)

Setores	Coefficientes Diretos (A)	Coefficientes Indiretos (B)	Efeito Induzido(C)
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	0,005	0,049	0,065
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,005	0,067	0,074
Eletrodomésticos e equipamentos eletro-eletrônicos, científicos e hospitalares	0,005	0,043	0,080
Automóveis, camionetas, utilitários, caminhões e ônibus	0,005	0,008	0,095
Outros equipamentos de transporte, peças e acessórios para veículos automotores	0,005	0,039	0,065
Produtos de madeira, móveis e produtos das indústrias diversas	0,005	0,019	0,065
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,695	1,179	1,475
Construção	0,002	0,015	0,049
Comércio	0,002	0,525	1,145
Transporte, armazenagem e correio	1,040	1,375	1,625
Serviços de informação	0,002	0,187	0,505
Intermediação financeira e seguros	0,002	0,185	0,635
Serviços imobiliários e aluguel	0,002	0,106	0,889
Serviços de manutenção e reparação	0,002	0,036	0,140
Serviços de alojamento e alimentação	0,002	0,044	0,353
Serviços prestados às empresas	0,002	0,306	0,583
Educação e saúde mercantis	0,002	0,006	0,381
Serviços prestados às famílias e associativos	0,002	0,031	0,338
Serviços Domésticos	0,002	0,002	0,077
Administração pública e seguridade social	0,003	0,028	0,071
Consumo das Famílias			4,326

Fonte: Elaboração própria

Alguns setores mantiveram constantes os efeitos sobre as emissões, de modo que os efeitos indiretos e induzidos não são tão relevantes para intensidade de emissões destes setores, mantendo, grosso modo, a magnitude dos efeitos diretos. Se enquadram nesta categoria, setores como: “Pecuária e pesca”; “Têxteis”; “Cimento”; “Outros produtos de minerais não-metálicos”; “Fabricação de aço e derivado”; “Metalurgia de metais não-ferrosos”. Estes setores representam aqueles com grande coeficiente direto de emissão, e potencialmente são candidatos a políticas de mitigação dentro do estado.

A tabela 5 ilustra as diferenças entre os efeitos direto, indireto e induzido na análise da intensidade de emissões em análise para os 40 setores da economia mineira. O efeito “Consumo Intermediário” reflete a diferença entre os efeitos indiretos sobre os diretos (B – A), enquanto o efeito “Induzido pelas famílias” mostra o impacto do efeito induzido sobre os efeitos diretos e indiretos (C – B).

Tabela 5 – Diferença entre coeficientes diretos, indiretos e induzidos das emissões setoriais em Minas Gerais 2008

(continua)

Setores	Efeito Consumo Intermediário (B-A)	Efeito Induzido pelas famílias (C-B)
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,324	0,225
Pecuária e pesca	0,234	0,152
Indústria extrativa mineral	0,187	0,008
Alimentos e Bebidas	0,408	0,563
Produtos do fumo	0,000	0,044
Têxteis	0,015	0,019
Artigos do vestuário, acessórios, artefatos de couro e calçados	0,002	0,120
Celulose e produtos de papel	0,024	0,010
Jornais, revistas, discos	0,016	0,036
Refino de petróleo e coque	0,475	0,171
Álcool	0,014	0,027
Produtos químicos - inclusive resina, elastômeros, tintas, vernizes e preparados diversos	0,487	0,061

(continuação)

Setores	Efeito Consumo Intermediário (B-A)	Efeito Induzido pelas famílias (C-B)
Defensivos agrícolas	0,025	0,008
Perfumaria, higiene e limpeza	0,004	0,016
Artigos de borracha e plástico	0,020	0,018
Cimento	0,101	0,004
Outros produtos de minerais não-metálicos	0,112	0,014
Fabricação de aço e derivados	0,144	0,016
Metalurgia de metais não-ferrosos	0,040	0,004
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	0,043	0,017
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,061	0,007
Eletrodomésticos e equipamentos eletro-eletrônicos, científicos e hospitalares	0,037	0,037
Automóveis, camionetas, utilitários, caminhões e ônibus	0,003	0,087
Outros equipamentos de transporte, peças e acessórios para veículos automotores	0,033	0,026
Produtos de madeira, móveis e produtos das indústrias diversas	0,014	0,046
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	0,484	0,296
Construção	0,013	0,034
Comércio	0,523	0,620
Transporte, armazenagem e correio	0,335	0,250
Serviços de informação	0,186	0,317
Intermediação financeira e seguros	0,183	0,451
Serviços imobiliários e aluguel	0,105	0,782
Serviços de manutenção e reparação	0,034	0,104
Serviços de alojamento e alimentação	0,042	0,309
Serviços prestados às empresas	0,304	0,277
Educação e saúde mercantis	0,005	0,375
Serviços prestados às famílias e associativos	0,030	0,306

(continuação)

Setores	Efeito Consumo Intermediário (B-A)	Efeito Induzido pelas famílias (C-B)
Administração pública e seguridade social	0,025	0,043
Consumo das Famílias	-	-

Fonte: Elaboração própria

Os setores que exerceram, comparativamente, maior impacto sobre as emissões em virtude do atendimento das demandas dos demais setores foram: “Comércio”; “Produtos químicos”; “Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana”; “Refino de petróleo e coque”; “Alimentos e bebidas” e “Transporte, armazenagem e correio”. Ou seja, as emissões são determinadas em sua maior parte pelo consumo intermediário. Quatro desses seis setores estão listados como setores-chave em pelo menos uma das três metodologias utilizadas para análise dos resultados da MIP de 2008, apenas os setores “Comércio” e “Refino de petróleo e coque” não fazem parte do grupo. Contudo, a movimentação causada nestes setores para atender o consumo intermediário dos demais setores considerados é especialmente intensiva em emissões de GEE. Em outras palavras, não é a produção adicional para atender diretamente o aumento da demanda final que determina as emissões do setor, mas a parcela da produção adicional destinada aos demais setores, os quais utilizam o produto destes setores para aumentar a produção e atender à demanda final. O caso de Refino de Petróleo, é característico, por se tratar de um setor fornecedor de energia secundária (combustíveis fosseis) para os demais setores.

As maiores diferenças entre coeficiente indireto e efeito induzido foram observadas nos setores “Serviços imobiliários e aluguel”; “Comércio”; “Alimentos e bebidas”; “Intermediação financeira e seguros” e “Educação e saúde mercantis”. Estes setores ganharam importância na análise das emissões pelo impacto da produção adicional gerada para atender ao consumo das famílias. O aumento da produção da economia para atender ao aumento da demanda final faz aumentar a renda das famílias, que passam a consumir mais e a produção destinada a satisfazer este consumo é a responsável pelas emissões adicionais nestes setores.

É interessante ressaltar que as emissões induzidas pelo consumo das famílias estão relacionadas ao consumo de bens e serviços, em sua maioria de uso pessoal, em concordância com o padrão de consumo observado nos dados dispostos na MIP. O padrão de consumo das

famílias também justifica a presença de setores como “Cimento”; “Metalurgia de metais não-ferrosos”; “Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos”; “Defensivos agrícolas” e “Indústria extrativa mineral” entre aqueles que menos foram afetados pela demanda adicional, uma vez que possuem baixa participação no montante total do consumo deste grupo.

De modo geral, ao lançar mão dos coeficientes indiretos e induzidos, setores tais como “Comércio”; “Produtos químicos”; “Refino de petróleo e coque”; “Alimentos e bebidas”; “Serviços imobiliários e aluguel”; “Intermediação financeira e seguros” e “Educação e saúde mercantis” ganharam relevância para a análise setorial de emissões de GEE do estado de Minas Gerais, ampliando o escopo da discussão para além dos setores que apresentaram os maiores coeficientes diretos de emissão, representados por “Pecuária e Pesca”; “Cimento”; “Transporte, armazenagem e correio”; “Outros produtos de minerais não-metálicos”; “Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana” e “Fabricação de aço e derivados”.

Em termos gerais, os resultados apontam que nos setores primários e indústria de base, tal qual a Agropecuária e Fabricação de Aço e derivados, a maioria das emissões é direta, ao passo que nas Indústrias de manufaturas, as emissões têm componente importante decorrente do consumo indireto (intermediário). Já nos serviços, elas são predominantemente, induzidas pelo consumo das famílias.

5.2 Opções de mitigação

A partir dos efeitos setoriais de intensidade de emissões foi possível identificar os setores que oferecem maior impacto ao montante de emissões de GEE no estado de Minas Gerais, tanto de forma direta, quanto indireta e induzida pelo consumo das famílias. Este tipo de análise é fundamental para os formuladores de política, em termos da decisão da melhor estratégia para o estado em busca da redução de emissões. A análise das opções de mitigação dispostas em (MCTIC, 2017) fornece alternativas para os setores, que podem ser discutidas sobre uma ótica de custos (US\$ milhões) e potencial de mitigação (em Mt de CO₂eq), relacionando os dois parâmetros num índice de custo/efetividade, que quanto menor for, mais custo-efetiva é a medida considerada.

Os setores com alto coeficiente direto são, naturalmente, potenciais setores para a mitigação de gases de efeito estufa no estado. Muitas políticas de mitigação, tanto no âmbito

internacional quanto nacional, têm se concentrado no setor Agropecuário, que tem coeficientes de emissão representativos em Minas Gerais. De acordo com Mctic (2017), para a “Pecuária”, por exemplo, a opção de melhor desempenho em termos de custos e potencial de mitigação diz respeito à recuperação de pastagens degradadas. A intensificação da pecuária por meio do confinamento aparece como outra opção para o setor. A estratégia de confinamento tem por objetivo intensificar a produção bovina de corte e, conseqüentemente, reduzir o rebanho. Apesar de grande potencial de mitigação, esta opção ainda apresenta custos elevados para implementação.

Por sua vez, para os setores industriais que se destacaram na análise de intensidade de emissões de GEE em Minas Gerais, tais como, “Cimento”, “Outros produtos de minerais não-metálicos”, “Alimentos e bebidas”, “Produtos químicos” e “Fabricação de aço e derivados”, a troca de combustíveis e a efficientização energética aparecem como melhores alternativas a serem viabilizadas para a redução de emissões no estado. As principais dificuldades encontradas nestes setores dizem respeito à falta de padrões mínimos de eficiência previamente estabelecidos para os equipamentos e não existência de padrões máximos de emissão por unidades industriais ou por combustíveis utilizados. O setor “Refino de petróleo e coque”, que ganha importância na análise de intensidade de emissões a partir da análise dos coeficientes indiretos, dispõe de opções, em sua maioria, também relacionadas à efficientização de processos. Sugere-se efficientização elétrica em motores e maior eficiência no consumo de hidrogênio.

O setor “Transporte, armazenagem e correio” pode ser entendido a partir de opções de mitigação para o transporte rodoviário, de cargas e de passageiros. Dentre as mais custo-eficientes estão: Efficientização de caminhões e ônibus movidos à diesel, mudança modal (automóveis para ônibus e metrô) e mudança modal (rodoviário de cargas para ferroviário e hidroviário), respectivamente. O principal gargalo para este setor é falta de capacidade de financiamento e tempo de construção para/das obras de infraestrutura, capazes de promover uma mudança modal no setor.

Da mesma forma, as opções para “Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana” devem ser pensadas de modo a abranger a gestão de resíduos (sólidos urbanos e efluentes) e a produção de energia (setor elétrico, extração e produção de óleo e gás). Dentre as opções consideradas para mitigar as emissões oriundas da gestão de resíduos, a degradação de biogás de aterro sanitário com *flare* e o aproveitamento de biogás de efluentes para geração de

eletricidade foram apontadas como as de melhor custo-efetividade. A implementação destas medidas exige a articulação do governo federal em apoio aos municípios para a gestão de baixo carbono dos resíduos sólidos. Em termos da geração de energia, a redução de *flare* por meio da instalação de piloto de ignição e instalação de unidades de recuperação de vapor em plataformas de extração e produção de óleo e gás configuram entre as opções de melhor custo-efetividade. A repotenciação de usinas hidrelétricas também aparece com destaque em termos de custos e potencial de mitigação. Parte fundamental para esse processo de ganho de eficiência nas usinas hidrelétricas é a implementação de regulação específica que garanta incentivos à busca tecnológica pela atividade.

As atividades de serviços e comerciais ganham relevância quando induzidas pelo consumo das famílias. No estudo “opções de mitigação”, as medidas propostas para estes setores foram agrupadas no setor-chave “Edificações”, que reúne edificações residenciais, comerciais e de serviços. A opção proposta abrange apenas as edificações residenciais, uma vez que as demais foram consideradas menos representativas em comparação com o potencial de mitigação e custo total das demais atividades de baixo carbono. Contudo, parcela residencial é preponderante para as emissões nos setores comerciais e de serviços, sendo assim, torna-se oportuno tratar das opções dispostas para as edificações residenciais. O ganho de eficiência elétrica é a opção que exhibe melhor custo-efetividade neste setor, uma vez que possibilita a redução da necessidade de expansão de plantas termelétricas a carvão.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo avaliar o padrão de emissões da economia mineira, a partir do cálculo de intensidade setoriais, de modo a propor opções de mitigação de acordo com as especificidades observadas dentro do estado, avaliando a viabilidade para redução de emissões de GEE.

Os principais resultados dão destaque para “Pecuária e pesca”, “Cimento”, “Transporte, armazenagem e correio” como setores que mais incorporam emissões em seu processo produtivo. A análise dos efeitos indiretos e induzidos faz com que novos setores ganhem relevância na avaliação do impacto de suas atividades sobre o montante de emissões de CO₂ eq. Deste modo, setores tais como “Comércio”; “Produtos químicos”; “Refino de petróleo e coque”; “Alimentos e bebidas” e atividades de serviços passam a incorporar o grupo de setores que devem ser estudados como opção de políticas de mitigação como objetivo de redução de emissões de GEE no estado de Minas Gerais.

De acordo com as opções de mitigação dispostas em Mctic (2017) merecem destaque neste exame de opções de mitigação coerentes com o padrão de emissões de GEE no estado: recuperação de pastagens degradadas (pecuária); troca de combustíveis (cimento e alimentos e bebidas); efficientização de caminhões e ônibus movidos à diesel, mudança modal - automóveis para ônibus e metrô, mudança modal - rodoviário de cargas para ferroviário e hidroviário (transportes); efficientização na recuperação de calor e vapor nos processos (indústria química e alimentos e bebidas) e efficientização elétrica em motores e no consumo de hidrogênio (refino de petróleo). As opções de mitigação para os setores de serviços e comércio são menos representativas em comparação com o potencial de mitigação e custo total das outras atividades de baixo carbono. Porém, as opções consideradas para o setor residencial podem ser destacadas para a redução de emissões nestes setores, uma vez que as atividades de serviços e comerciais ganham relevância quando induzidas pelo consumo das famílias. Neste sentido, ganho de eficiência elétrica é a opção que exhibe melhor custo-efetividade para este setor e, portanto, deve ser considerada no escopo deste trabalho.

Este trabalho contribuiu com a literatura brasileira ao avaliar a intensidade de emissões de GEE no estado de Minas Gerais, numa perspectiva além do volume de emissão por montante produzido, considerando os efeitos causados pelo consumo intermediário e o impacto do

consumo das famílias nas emissões setoriais, oriundas do processo produtivo e do uso de energia, diferencial em relação aos trabalhos realizados para tratar da economia do estado. A análise regional destes aspectos é imprescindível para o alcance dos compromissos oficiais de redução de emissões firmados pelo país a partir da ratificação do Acordo de Paris em setembro de 2016.

REFERÊNCIAS

- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. “Key” sectors in final energy consumption: an input output application to the Spanish case. **Energy Economics**, n.31, p. 1676-1678, 2003. CANSINO, J.M et al. Economic analysis of greenhouse gas emissions in the Spanish economy. [S.l.]: Elsevier, 2012. 8 p. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA, nº 382/2006**, de 26 de dezembro de 2006- In: Resoluções, 2006. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2018.
- 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. Aracaju: Enaber, 2009.
- CHEN, G.Q; ZHANG, Bo. **Greenhouse gas emissions in China 2007**: Inventory and input-output analysis. [S.l.]: Elsevier, 2010. 14 p. Disponível em: <<http://www.periodicos.capes.gov.br>>. Acesso em: 11 out. 2018.
- CLINE, W. R. **The economics of global warming**. Washington, DC: Institute for International Economics, 1992.
- [CONCLA] Comissão Nacional de Classificação, **Tabela CNAE**. Disponível em: <<https://concla.ibge.gov.br/busca-online-ctae.html?view=estrutura>>. Acesso em: 01 Set. 2018.
- DE LA TORRE, A.; FAJNZYLBER, P.; NASH, J. D. **Low carbon, high growth**: Latin American responses to climate change-an overview. World Bank Publications, 2009.
- FEAM. **Avaliação de impactos de mudanças climáticas sobre a economia mineira**: relatório resumo. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2011. 46p.
- FEAM. **Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2008. 104 p.
- FEAM. **Plano de energia e mudanças climáticas de Minas Gerais**: Desafios e oportunidades regionais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2014. 55p.
- FIGUEIREDO, N. R. M.; ARAÚJO JUNIOR, 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**. [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://edi.bnb.gov.br/content/aplicacao/eventos/forumbnb2009/docs/construcao.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- FRANKHAUSER, S. The Social Costs of Greenhouse Gas Emissions: An Expected Value Approach. **Energy Journal**, 1994.
- FRANKHAUSER, S. **Valuing Climate Change - The Economics of Greenhouse**. London: EarthScan, 1995.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Tabela de recursos e**

usos (TRU- regional) e matriz de insumo-produto para o estado de Minas Gerais: para o ano de 2005. Fundação João Pinheiro. Centro de Estatística e Informações – Belo Horizonte, 2009. 36p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. **Tabela de Recursos e Usos e Matriz de Insumo-Produto de Minas Gerais: para o ano de 2008.** Fundação João Pinheiro; Centro de Estatística e Informações – Belo Horizonte, 2015. 120p.

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

GUILHOTO, J. J. M. **Análise de Insumo-Produto: Teoria e fundamentos.** [S.l.: s.n.], 2011. 76 p. Disponível em: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/32566/2/MPRA_paper_32566.pdf>. Acesso em: 22 maio 2018.

HETHERINGTON, R. An input-output analysis of carbon dioxide emissions for the UK. *Energy Conversion Management*, v. 37, n. 6-8, p. 979-984, 1996.

HILGEMBERG, E. M. **Quantificação e efeitos econômicos do controle de emissões de CO₂ decorrentes do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo no Brasil: um modelo interregional de insumo-produto.** 2005. 158f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

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, abr., 2006.

IPCC. Climate change 2014: synthesis report. In: Core, W. T. et al. (Ed.). **Contribution of working groups 1, 2 and 3 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.** Geneva: Switzerland, 2014. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>.

IPEA. **Mudança do clima no Brasil: aspectos econômicos, sociais e regulatórios / editores: Ronaldo Seroa da Motta ... [et al.].** Brasília: Ipea, 2011. 440 p.

LABANDEIRA, X; LABEAGA J.M. Estimation and control of Spanish energy-related CO₂ emissions: an input-output approach. **Energy Policy**, n.30, p.597-611, 2002.

MAGALHÃES, A. S. **Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa.** Belo Horizonte: [s.n.], 2013. 290 p. Tese (Doutorado em Economia) – Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

MCTIC. **Trajetórias de mitigação e instrumentos de políticas públicas para alcance das metas brasileiras no acordo de Paris.** Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações, ONU Meio Ambiente, 2017. 64 p.

MENDELSON R. O.; WENDY N. M.; MICHAEL E. S.; NATALIA G. A. Country-specific Market Impacts of Climate Change. **Climate Change**, 2000.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: Foundations and extensions**. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations and Extensions**. 2ª edição. [S.l.]: Cambridge University Press, 2009. 784 p.

MONTEIRO, D.C et al. Emissões de CO₂ e consumo de energia no Paraná: Uma abordagem Insumo-Produto. **Revista Brasileira de Estudos Regionais e Urbanos**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 19-35, 2012. Disponível em: <<https://www.revistaaber.org.br/rberu/article/view/90/123>>. Acesso em: 12 out. 2018.

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 insumo-produto híbrido para 53 setores**. [S.l.: s.n.], 2015. 48 p. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/5991>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

MONTOYA, M. A. et al. **Consumo setorial de combustíveis e emissões de dióxido de carbono (CO₂) na economia do Rio Grande do Sul: uma abordagem insumo-produto híbrida**. Passo Fundo: Feac/UPF, 2013. (Texto para Discussão, n. 6). Disponível em: <http://cepeac.upf.br/images/stories/texto_discussao_06_2013.pdf>. Acesso em: 07 out. 2018.

MUELLER, C. C. Avaliação de duas correntes da economia ambiental: e escola neoclássica e a economia da sobrevivência. **Revista de Economia Política**, v. 18, n. 2, p. 66-89, 1998.

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1ª reimpressão, 2012. 562 p.

NORDHAUS, W. To slow or not to slow: The Economics of the Greenhouse effect. **Economic Journal**: 1991.

NORDHAUS, W. Expert Opinion on Climate Change. **American Scientist**, 1994. p.45-51.

NORDHAUS, W. **Global Public Goods and the Problem of Global Warming**. [S.l.:s.n.], 1999. 14 p.

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 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Econômicas)-Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

PEROBELLI, F. S.; MATTOS, R. S.; FARIA, W. R. **A interdependência energética entre o estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter-regional de insumo-produto**, 2006. [S.l]: [s.d]. Disponível em: <<https://www.cedeplar.ufmg.br/>>. Acesso em 11 out. 2018.

SILVA, M.P; 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**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 307-335, abr. 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ee/v42n2/04.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

SONIS, M.; HEWINGS, G.J.D. Error and sensitivity input-output analysis: a new approach. IN: MILLER, R.E., POLENSKE, K.R. ROSE, A.Z. (eds.). **Frontiers of input-output analysis**. New York: Oxford University Press, 1989.

STERN, N. **The Economics of Climate Change – the Stern Review**. Cambridge: Cambridge University Press. 2006.

TITUS, J. G. The Costs of Climate Change to the United States. In: **Global Climate Change: Implications, Challenges and Mitigation Measures**. Easton: Pennsylvania Academy of Science, 1992.

TOL, Richard S. The Damage Costs of Climate Change Toward More Comprehensive Calculations. **Environmental and Resource Economics**. 1995. p 353-374.

TOL, Richard S. Estimates of the Damage Costs of Climate Changes - Part 1: Benchmark Estimates. **Environmental and Resource Economics**. 2002. p 47-73.

TOL, Richard S. **The Economic Effects of Climate Change**. [S.l.]: American Economic Association, 2009. 23 p. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/27740523>>. Acesso em: 28 mar. 2018.

APÊNDICE A

Quadro - Compatibilização da classificação das atividades da MIP 2008 e MIP 2005

(continua)

MIP 2008	MIP 2005
Agricultura, silvicultura, exploração florestal	Agricultura, silvicultura, exploração florestal
Pecuária e pesca	Pecuária e pesca
Indústria extrativa mineral	Indústria extrativa mineral
Alimentos e Bebidas	Fabricação de Alimentos e Fabricação de Bebidas
Produtos do fumo	Produtos do fumo
Têxteis	Fabricação de produtos têxteis
Artigos do vestuário, acessórios, artefatos de couro e calçados	Fabricação de artefatos de couro e calçados e Fabricação de artigos do vestuário e acessórios
Celulose e produtos de papel	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
Jornais, revistas, discos	Jornais, revistas, discos a preços de 2005
Refino de petróleo e coque	Fabricação de derivados do petróleo e álcool
Álcool	Álcool a preços de 2005
Produtos químicos - inclusive resina, elastômeros, tintas, vernizes e preparados diversos	Fabricação de produtos químicos
Produtos farmacêuticos	Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza
Defensivos agrícolas	Defensivos agrícolas a preço de 2005
Perfumaria, higiene e limpeza	Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza
Artigos de borracha e plástico	Fabricação de produtos de borracha e plástico
Cimento	Cimento a preços de 2005

(continuação)

MIP 2008	MIP 2005
Outros produtos de minerais não-metálicos	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos
Fabricação de aço e derivados	Metalurgia
Metalurgia de metais não-ferrosos	Metalurgia de metais não-ferrosos a preços de 2005
Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	Fabricação de produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos
Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	Fabricação de máquinas e equipamentos
Eletrodomésticos e equipamentos eletro-eletrônicos, científicos e hospitalares	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos
Automóveis, camionetas, utilitários, caminhões e ônibus	Fabricação de veículos automotores
Outros equipamentos de transporte, peças e acessórios para veículos automotores	Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores e Fabricação de outros equipamentos de transporte
Produtos de madeira, móveis e produtos das indústrias diversas	Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos
Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	Eletricidade, gás, água e limpeza urbana
Construção	Construção
Comércio	Comércio
Transporte, armazenagem e correio	Transporte, armazenagem e correio
Serviços de informação	Serviços de informação
Intermediação financeira e seguros	Intermediação financeira e seguros
Serviços imobiliários e aluguel	Atividades imobiliárias e aluguel
Serviços de manutenção e reparação	Outros serviços
Serviços de alojamento e alimentação	Serviços de alojamento e alimentação
Serviços prestados às empresas	Serviços prestados às empresas
Educação e saúde mercantis	Educação e saúde mercantil

(continuação)

MIP 2008	MIP 2005
Serviços prestados às famílias e associativos	Outros serviços
Serviços Domésticos	Outros serviços
Administração pública e seguridade social	Administração pública