

ANÁLISE SETORIAL DA INTENSIDADE DE EMISSÕES DE CO₂ E NA ESTRUTURA DE EXPORTAÇÕES: UM MODELO REGIONAL DE INSUMO-PRODUTO PARA MINAS GERAIS

Flaviane Souza Santiago

Doutoranda em Economia CEDEPLAR/UFMG
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional – Universidade Federal de Minas Gerais
31270-901, Av. Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte, MG
santiago.flaviane@gmail.com

Terciane Sabadini Carvalho

Doutoranda em Economia CEDEPLAR/UFMG
Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional – Universidade Federal de Minas Gerais
31270-901, Av. Antônio Carlos, 6627 - Belo Horizonte, MG
tersabadini@gmail.com

Fernando Salgueiro Perobelli

Doutor Economia FEA-USP – Professor Mestrado em Economia Aplicada
Bolsista Produtividade CNPq – Nível II
Faculdade de Economia – Universidade Federal de Juiz de Fora
36036-330, Campus Universitário – Juiz de Fora, MG
fernando.perobelli@ufjf.edu.br

RESUMO

O artigo apresenta um modelo regional híbrido de insumo-produto, por meio do qual são computadas medidas de intensidade de emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos no estado de Minas Gerais. A análise desenvolvida utiliza a matriz insumo-produto para o ano de 2005 e apresenta informações desagregadas para 13 setores de atividade. Os resultados obtidos indicam que os setores Agropecuária, Mineração e Pelotização e Transportes são os setores-chave no que concerne às emissões. Em relação a quantidade de CO₂ incorporada nas exportações, apenas um setor apresentou uma elevada quantidade de emissão, isso sugere que a pauta de exportações de Minas Gerais não é intensiva em poluição.

Palavras-chave: insumo-produto, coeficientes de requerimentos, emissões de CO₂, exportação, Minas Gerais.

ABSTRACT

This paper presents a hybrid model of regional input-output for the state of Minas Gerais, whereby intensity of CO₂ emissions from consumption of energy fuels are computed. The analysis uses the input-output matrix for the year 2005 and presents disaggregate information for 13 industries. The results indicate that the following sectors: agricultural, mining and transport are the key sectors as regard to emissions. Regarding the amount of CO₂ incorporated in exports, only one sector had a high amount of CO₂ emissions. It suggests that the exports of Minas Gerais are not pollution-intensive.

Keywords: input-output, requirement coefficients, CO₂ emissions, export, Minas Gerais

Área de Concentração : 2. Economia Mineira

ANÁLISE SETORIAL DA INTENSIDADE DE EMISSÕES DE CO₂ E NA ESTRUTURA DE EXPORTAÇÕES: UM MODELO REGIONAL DE INSUMO-PRODUTO PARA MINAS GERAIS

1 INTRODUÇÃO

Na composição da matriz energética nacional, considera-se a participação dos diferentes insumos energéticos. Dentre esses insumos o Petróleo e derivados e gás natural apresentaram a maior participação na demanda total de energia em 2007, correspondendo a 37,36% seguido pelos produtos da cana-de-açúcar, que passam a representar 15,9% da oferta interna de energia. Os combustíveis derivados do petróleo, (em especial óleo diesel, óleos combustíveis e gasolina) que juntos respondem por 83% do total consumido, são utilizados principalmente nos setores de transporte e geração térmica de eletricidade, havendo aplicações também em diversas atividades industriais. Em muitos países desenvolvidos, o consumo de combustíveis nas atividades de transporte e geração elétrica é equilibrado. No caso brasileiro, devido à forte participação da hidroeletricidade na matriz energética, o setor de transportes é o principal consumidor de combustíveis. Segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) para 2007 (EPE, 2008), dos cerca de 135 milhões de *tep* (toneladas equivalentes de petróleo) de energia secundária consumidos pela economia, 56,2% ou 76,7 milhões de *tep* corresponderam ao consumo de combustíveis. Dessa magnitude, cerca de 73% foram absorvidos pelo setor de transporte, sendo que 67% apenas pelo modal rodoviário.

Em Minas Gerais, a demanda total de energia, em 2007, alcançou 33,4 milhões de *tep*, valor equivalente a 13,9% da demanda total de energia no Brasil. Semelhante ao Brasil, o petróleo, derivados e gás natural também apresentaram maior participação na demanda total de energia do Estado em 2007, cerca de 30% do total, em seguida encontram-se a lenha e seus derivados, que representam 28,2%. O setor Industrial apresenta a maior demanda de energia do Estado, correspondendo a 20.908 mil *tep* (62,5%). A demanda de lenha e derivados representa 34,5% do total da indústria, seguida pelo carvão mineral e seus derivados com 21,4% e petróleo, derivados e gás natural, 16,6%. O setor Transportes ocupa a segunda posição do Estado com um demanda de 20,4%. Nesse setor, derivados de petróleo e gás natural, não-renováveis, representaram 87,1% do total demandado (BENMG, 2008).

Os aspectos ambientais negativos decorrentes do uso (“queima”) de combustíveis fósseis e da dependência externa do petróleo vêm tornando cada vez mais relevantes esforços de redução do consumo de derivados do petróleo e sua substituição por combustíveis provenientes de outras fontes não fósseis.

Segundo o Relatório da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente (WCED, 1987), conhecido como relatório *Brundtland*, os riscos e as incertezas ambientais decorrentes de um consumo elevado de energia no futuro são inquietantes. Dentre os riscos, pode-se destacar a probabilidade de alteração climática devido ao “efeito estufa” causado por gases emitidos na atmosfera, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (CO₂), que é produzido pela queima de combustíveis fósseis; e a poluição do ar urbano pelas indústrias, também devido a este Gás de Efeito Estufa (GEE). O acúmulo de CO₂ e de outros gases na atmosfera retém a radiação solar nas proximidades da superfície terrestre, provocando o aquecimento do planeta. Isto pode fazer com que o nível do mar, nos próximos anos, se eleve ao ponto de inundar muitas cidades situadas em litorais e deltas de rio, e também pode causar enormes transtornos à produção agrícola nacional e internacional e aos sistemas comerciais.

De acordo com a hipótese de Refúgio da Poluição (*Pollution Haven Hypothesis*), um sistema econômico com menos regulamentação ambiental pode experimentar um ganho de competitividade na produção de bens intensivos em poluição, o que pode acarretar no curto prazo, a crescentes exportações desses países para os países com maiores regulamentações (Mongelli *et al*, 2004).

No entanto, a ampliação da degradação ambiental nos últimos anos, bem como a conscientização de suas conseqüências, tem trazido à tona, sucessivamente (às vezes, simultaneamente), diferentes aspectos da relação meio ambiente e comércio exterior. Por um lado, novos aspectos emergem neste debate; por outro, aspectos desprezados anteriormente retornam ao debate, renovados e reforçados. Pode-se derivar desta relação questões como, sustentabilidade econômico-ecológica (local, nacional, regional ou global) e acesso ao uso de recursos ambientais (distribuição do uso intra e intergerações), competitividade e localização industrial, e neoprotecionismo (uso de regulação ambiental como nova forma de protecionismo da indústria doméstica) *versus* proteção ambiental (uso de regulação ambiental como forma de proteção e preservação do meio ambiente) (Machado, 2002).

Segundo Machado (2002), à exceção daqueles impactos causados pelo transporte de produtos transacionados internacionalmente, os impactos ambientais que podem ser associados ao comércio exterior não estão intrinsecamente relacionados à natureza do ato de comercialização propriamente dito. Antes, estão especialmente relacionados à produção e ao consumo dos bens e serviços transacionados com o exterior. Neste sentido, a destinação final do produto (mercado doméstico ou externo) e o local onde ocorre seu consumo (no país produtor ou no exterior – quando se separa produção e consumo no espaço via comércio exterior) não alteram *a priori* a natureza e a magnitude do impacto ambiental.

Uma séria limitação em análises de impactos ambientais é a tendência a lidar isoladamente com cada setor ou indústria, sem reconhecer a importância dos vínculos intersetoriais. A agricultura moderna utiliza grandes quantidades de energia produzida comercialmente e também de produtos industriais. Ao mesmo tempo, o vínculo mais tradicional, o fato de a agricultura ser fonte de matérias-primas para a indústria, está se desfazendo devido ao uso cada vez mais disseminado de produtos sintéticos. A ligação entre energia e indústria também está se alterando, pois há uma forte tendência a um uso menos intensivo de energia na produção industrial de alguns países (WCED, 1987).

No Brasil, o estado de Minas Gerais sozinho foi responsável, em 2009, por 9,1% do PIB do país. Minas Gerais mantém também a posição de segundo maior Estado exportador, respondendo por 13,3% do total nacional. É possível perceber que a pauta de exportações do estado é bastante concentrada, sendo os dez principais produtos responsáveis por 64,2% do total exportado, são eles: Minérios de ferro não aglomerados e seus concentrados (28,1%), Café não torrado, não descafeinado, em grão (12,2%), Ferronióbio (6,2%), Ferro fundido bruto não ligado (5,2%), Ouro em barras, fios, perfis de sec. maciça, bulhão dourado (2,5%), Pasta química madeira (celulose) (2,5%), Automóveis com motor explosão, (2,0%), Billets de ferro/aço (1,9%), Produtos semimanufaturados de ferro/aço, não ligados (1,7%) e Outros silícios (1,7%)¹.

Motivado pelos aspectos anteriormente tratados, este artigo possui os seguintes objetivos: i) mensurar a importância do estado de Minas Gerais no que concerne às emissões de CO₂; ii) avaliar a intensidade nas emissões de dióxido de carbono devido à queima de combustíveis energéticos, principalmente os fósseis, em 13 setores da economia mineira; iii) calcular as elasticidades de emissões em relação a variações na demanda final e os setores-chave; e iv) analisar a estrutura das exportações, para verificar se os produtos exportados em Minas são intensivos em carbono.

Para apresentar o modelo, e atingir os objetivos propostos, este artigo está organizado da seguinte forma. Além da introdução, a seção 2 apresenta algumas evidências da literatura sobre modelos de insumo-produto com emissões de CO₂. A seção 3 apresenta as equações do modelo insumo-produto aqui desenvolvido e alguns indicadores usados na sua construção. A seção 4 descreve a base de dados utilizada. A seção 5 apresenta e discute os resultados empíricos do modelo, bem como as interações inter-setoriais na estrutura da exportação. A seção 6 apresenta as conclusões.

¹ Dados do site do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em 31 de jan. de 2009 e da Fundação João Pinheiro. Disponível em <<http://www.fjp.gov.br>> .

2 LITERATURA SOBRE MODELOS DE INSUMO PRODUTO E EMISSOES DE CO₂

A literatura internacional apresenta, sobretudo na área de estudos regionais (*regional science*), experimentos sistemáticos de intensidades setorial de emissões de CO₂. Hetherington (1996) construiu um modelo de insumo-produto em unidades híbridas para apresentar as intensidades de CO₂ em 101 grupos industriais do Reino Unido para o ano de 1984. Foram consideradas as emissões causadas por combustíveis fósseis, tais como carvão, coque e cinzas, combustível de aviação, óleo para motores, gasolina, óleo diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural, óleo combustível e óleo para aquecimento. Os principais resultados encontrados mostraram que os setores de Eletricidade, Cimento, Ferro e Aço, Fibras Sintéticas e Extração de Carvão apresentaram maior intensidade de carbono. Em relação às emissões totais, que consideraram as emissões domésticas mais as causadas pelas importações os setores de Construção, Distribuição, Motores de Veículos e Peças, Hotéis e Suprimentos, Processamento de Óleo Mineral e Transporte Aéreo revelaram-se como mais poluentes. Outro resultado interessante mostrou que nas indústrias primárias, como Extração de Óleo, a maioria das emissões é direta, e nas indústrias de manufaturas, as emissões são predominantemente indiretas.

Lenzen (1998) desenvolveu um modelo de insumo-produto em unidades monetárias e outro em unidades híbridas, para calcular as necessidades primárias diretas e indiretas de energia e GEE (a legenda para GEE está na pág. 2 no último parágrafo, não precisa colocar de novo) incorporados no consumo final da Austrália, no período de 1992/1993. O estudo considerou as emissões de CO₂, CH₄ e N₂O, CF₄ e C₂F₆². Os resultados indicaram que as maiores intensidades de GEE associadas à demanda final encontram-se nos setores de Agricultura, Silvicultura e Pesca, e indústrias relacionadas. E as menores intensidades são observadas nos setores de serviços.

Labandeira e Labeaga (2002) com o intuito de obter a intensidade de carbono para a Espanha em 1992 e examinar os efeitos nos preços de um possível imposto de carbono, também utilizaram um modelo de insumo-produto em unidades híbridas. Foram considerados os 57 setores produtivos e cinco tipos de combustíveis fósseis, carvão, lignito, combustíveis líquidos, gás natural e gás manufacturado. Os resultados encontrados indicaram os setores de Extração de Carvão, Eletricidade, Gás Natural, Refino de Petróleo, Cimento, Gás Manufacturado, Transporte Marítimo, Tijolos e Cerâmicas, possuem maiores intensidades de CO₂.

No contexto brasileiro, Machado (2002) utilizou um modelo de insumo produto em unidades híbridas para o período de análise de 1985, 1990 e 1995, com o objetivo de avaliar os impactos do comércio exterior sobre o uso de energia e as emissões de CO₂. Os resultados mostram que o Brasil é um exportador líquido de energia e carbono embutidos nos produtos não-energéticos transacionados internacionalmente, e também que cada dólar auferido com as exportações incorpora consideravelmente mais energia e carbono do que cada dólar dispensado com as importações. Os setores mais intensivos em carbono encontrados foram o Ferro e Aço, Transporte, Minerais não-Metálicos, Papel e Celulose e Outras Metalurgias.

Outro trabalho encontrado na literatura nacional foi realizado por Hilgemberg (2005) que tinha por objetivo quantificar as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo, tanto em nível nacional quanto regional, utilizando um modelo de insumo-produto inter-regional em unidades híbridas. Além disso, o estudo identificou os setores-chave nas emissões originadas de cada um dos energéticos considerados por meio do cálculo das elasticidades das emissões a uma variação na demanda final. Os principais resultados mostraram que as regiões Sul e Nordeste apresentaram maiores impactos em resposta a um aumento na demanda. Os setores-chave encontrados para as emissões com origem nos derivados de petróleo para o Brasil como um todo foram os setores Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes e Administração Pública. Para a região de São Paulo, os setores-chave foram Agropecuária, Metalurgia, Papel e Celulose, Química, Refino de Petróleo, Alimentos e Bebidas,

² CO₂ – dióxido de carbono, CH₄ – metano, N₂O – óxido nitroso, CF₄ – Tetrafluoreto de carbono, e C₂F₆ – perfluoretano.

Têxtil e Vestuário, Outros Produtos, SIUP³, Comércio e Serviços, Transportes Rodoviários, Outros Transportes, Administração Pública.

Mais recentemente, Carvalho e Perobelli (2009) desenvolveram um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido para quantificar as emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, ou seja, analisar os setores que mais incorporam carbono em sua produção, assim como a quantidade de carbono embutida nas exportações. As emissões de CO₂ consideradas são causadas por combustíveis energéticos, tais como óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta, querosene, gás de cidade, coque, carvão vegetal, álcool etílico e outros energéticos de petróleo. Os resultados mostraram que os setores de Agropecuária, Siderurgia, Alimentos e Bebidas, Outros Setores e Transportes se destacaram como setores chaves nas emissões de CO₂ nas duas regiões analisadas. Em relação à quantidade de CO₂ incorporada nas exportações, os resultados apontaram que a pauta de exportações brasileira é em grande parte intensiva em poluição.

3 METODOLOGIA

A análise de *insumo-produto* é freqüentemente utilizada para se estudar as interdependências ou interações entre setores da economia de uma região ou país. O grau de interdependência pode ser avaliado por meio de medidas conhecidas como coeficientes de requerimento *inter-setorial*. Esses coeficientes permitem avaliar, por exemplo, os impactos que mudanças na demanda final de um setor exercem sobre os demais setores da economia (Miller e Blair, 1985).

Existem várias extensões possíveis da análise de insumo-produto, dentre as quais, de particular relevância para este trabalho, estão a hipótese da incorporação de um setor energético para o estudo da intensidade de CO₂ emitido em Minas Gerais, e a identificação do carbono incorporado nas exportações. Esta seção descreve um modelo de insumo-produto regional em unidades híbridas com incorporação do setor energético.

3.1 Modelo de Insumo-Produto Regional com Setor de Energético

O modelo de insumo-produto regional é usado para representar as interações entre os diversos setores de uma economia e sua principal função é permitir avaliar os requerimentos de produção setorial necessários ao atendimento de uma dada estrutura setorial de demanda final por bens e serviços. A representação das relações intersetoriais é feita como segue:

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (01)$$

Uma extensão do modelo de insumo-produto é a análise com energia, a qual determina o total de energia necessária para entregar um produto à demanda final, tanto a energia direta consumida pelo processo de produção, como a energia indireta incorporada nos insumos da indústria. Existem diferentes formas de se fazer essa extensão. A abordagem utilizada neste trabalho se baseia na construção de uma tabela híbrida de insumo-produto. Essa abordagem foi escolhida por ter sido usada por vários autores, como Miller e Blair (1985), Gowdy e Miller (1987), Machado (2002) e Hilgemberg (2004). Segundo Bullard e Herendeen (1975), Miller e Blair (1985) e Casler e Blair (1997). De acordo Miller e Blair (1985), o modelo de *insumo-produto* em unidades híbridas é a formulação mais consistente para aplicação de modelos de *insumo-produto* de natureza físico-econômica envolvendo uso de energia.

Em modelos de insumo-produto que incorporam energia, trabalha-se com um conjunto de matrizes análogo ao modelo tradicional (equação 01), isto é, uma matriz de transações de energia

³ SIUP – Serviços Industriais de Utilidade Pública (exemplos: produção de energia elétrica hidráulica, distribuição de energia elétrica, saneamento e abastecimento de água e coleta e tratamento de lixo).

ou matriz de fluxos, uma matriz de necessidades diretas de energia, e finalmente, uma matriz de necessidades totais de energia. Com apenas uma pequena mudança na representação das transações intersetoriais no sistema convencional de insumo-produto, pode-se construir essas matrizes de insumo-produto de energia.

A abordagem em unidades híbridas consiste em incorporar na tabela de *insumo-produto*, uma linha e uma coluna referentes ao setor de eletricidade. A nova linha descreve em unidades físicas (e.g., Gg/tep)⁴ as vendas do setor energético aos outros setores da economia e a nova coluna descreve em unidades monetárias (R\$) o total de compras feitas ao setor energético pelos demais. Após essa incorporação, é necessário recalcular a matriz de *insumo-produto* A e a inversa de Leontief $(I - A)^{-1}$ devido aos novos fluxos da matriz (PEROBELLI *et al*, 2006).

Para começar, é preciso construir uma matriz de fluxos de energia em unidades físicas dada uma economia com (nxk) setores, onde k representa os setores de energia elétrica, o vetor de fluxo de energia, E será de dimensão $kx(n+k)$. Assumindo que a energia consumida pela demanda final (em unidades físicas) é dada por E_y e o consumo total de energia é determinado por F (E_y e F são vetores coluna com k elementos). O fluxo de energia pode ser representado por:

$$Ei + E_y = F \quad (02)$$

Onde i é um vetor coluna $(nx1)$ cujos elementos são números “um”. Essa equação mostra que a energia total consumida (e produzida) na economia é dada pela soma da energia consumida pelo setor (do tipo descrito na linha de E) mais a energia consumida pela demanda final (MILLER e BLAIR, 1985).

Por meio da matriz E , a matriz de transações *inter-setoriais* em unidades híbridas pode ser construída. Para tanto, deve-se substituir na matriz de transações *inter-setoriais* (Z) as linhas representando os fluxos de energia em unidades monetárias pelas linhas que vão representar os fluxos de energia em unidades físicas (e.g., Gg/tep). É necessário também, definir o produto total correspondente, X^* , e a demanda final, Y^* , como vetores para os quais o setor energético e os demais setores são similarmente medidos em unidades físicas e monetárias, respectivamente.

Considerando um modelo regional para Minas Gerais com n setores de atividade mais um setor de energia, esquematicamente teríamos a tabela de insumo-produto em valores monetários e um vetor de energia:

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ \\ \vdots & \vdots \\ \$ & \$ \end{bmatrix}_{n \times n} \quad (03)$$

$$E = \begin{bmatrix} Gg/tep & \dots & Gg/tep \end{bmatrix}_{1 \times n} \quad (04)$$

Seja agora a nova tabela de insumo-produto Z^* , na qual, os fluxos de vendas de energia são mensurados em unidades físicas e os outros fluxos em unidades monetárias (HILGEMBERG, 2004), isto é:

$$Z^* = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \dots & \$ \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \$ & \$ & \dots & \$ \\ Gg/tep & \dots & \dots & Gg/tep \end{bmatrix}_{(n+1) \times (n+1)} \quad (05)$$

⁴ Gg/tep: giga por tonelada equivalente de petróleo.

Adotando o mesmo procedimento para a produção total (X) e demanda final (Y) por setor, é possível obter os seguintes vetores:

$$X^* = \begin{bmatrix} \$ \\ \vdots \\ \$ \\ Gg/tep \end{bmatrix} \quad (06)$$

$$Y^* = \begin{bmatrix} \$ \\ \vdots \\ \$ \\ Gg/tep \end{bmatrix} \quad (07)$$

Definindo $\hat{X} = \text{diag}(X^*)$, é possível construir uma matriz híbrida de coeficientes de requerimento direto como:

$$A^* = Z^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1} \quad (08)$$

Cada elemento de A^* corresponde à proporção de insumos do setor i necessária à produção de R\$1,00 de produto do setor j . Assim, os elementos de A^* são chamados de coeficientes de requerimento direto.

Na forma matricial tem-se que:

$$A^* = \begin{bmatrix} \frac{\$}{\$} & \dots & \frac{\$}{Gg/tep} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{Gg/tep}{\$} & \dots & \frac{Gg/tep}{Gg/tep} \end{bmatrix} \quad (09)$$

O modelo de *insumo-produto* em unidades híbridas pode ser definido de forma análoga à expressão (01) e ser escrito da seguinte forma:

$$X^* = B^* Y^* \quad (10)$$

Onde $B^* = (I - A^*)^{-1}$ é a versão com elementos em unidades híbridas da matriz Inversa de Leontief.

A matriz híbrida de coeficientes de requerimento líquido total de energia pode ser definida da seguinte maneira:

$$R^* = B^* - I^* \quad (11)$$

Onde I^* é a matriz identidade $(n+1) \times (n+1)$.

Para calcular a matriz de requerimentos indiretos Q^* , utiliza-se as matrizes R^* e A^* , desta forma, temo que:

$$Q^* = R^* - A^* \quad (12)$$

As matrizes A^* , R^* e Q^* fornecem as informações sobre o grau de dependências direta (que são os efeitos imediatos, dado uma variação da demanda final), total e indireta (capta os efeitos secundários de uma mudança da demanda final) entre os setores, respectivamente. No caso do presente trabalho, mostra a dependência existente entre todos os setores (consumo de energia), que são representados através do setor energético.

A matriz de requerimentos diretos e totais de energia é obtida extraíndo-se, as linhas dos fluxos de energia de A^* e $(I - A^*)^{-1}$ respectivamente. Já que, este trabalho se preocupa apenas com as informações do setor de energia, é necessário que se extraia das matrizes descritas apenas as informações de requerimentos energéticos inter-setoriais do setor energético. Para isso, é preciso criar uma matriz F^* ($n \times n$), onde os seus elementos que representam fluxos de energia (em Gg/tep) são distribuídos ao longo da diagonal principal e os demais elementos que não são fluxos de energia são representados por zeros.

$$F^* = \begin{bmatrix} Gg/tep & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Gg/tep & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Fazendo $F^*(\hat{X}^*)^{-1}$, tem-se uma matriz de zeros, referentes aos setores que não são de energia, e uns, que denotam a localização do setor de energia. Desta forma, se pós-multiplicar as matrizes de requerimentos diretos e de requerimentos totais de energia por $F^*(\hat{X}^*)^{-1}$ recupera-se apenas os coeficientes de energia, ou seja, a intensidade de energia.

Assim, δ vai representar os requerimentos diretos e α os requerimentos totais:

$$\delta = F^*(\hat{X}^*)^{-1} A^* \quad (14)$$

$$\alpha = F^*(\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \quad (15)$$

Já os requerimentos indiretos, λ , são obtidos a partir da diferença entre os requerimentos totais (16) e os requerimentos diretos (15) de energia:

$$\lambda = F^*(\hat{X}^*)^{-1} [(I - A^*) - A^*] \quad (16)$$

Desta forma, assumindo que o consumo de energia esteja linearmente relacionado com os requerimentos de energia fornecidos por (14), (15) e (16), é possível obter os requerimentos diretos, indiretos e totais de energia, respectivamente.

3.2 Impactos setoriais e setores-chave na emissão de CO₂⁵

O modelo de emissão de CO₂ neste estudo aplicou o mesmo princípio do modelo de energia, entretanto, foi extraída a intensidade de emissões, e não a intensidade de energia, por meio de fatores de conversão da quantidade de energia em carbono (vide Tabela 2).

⁵ Esta seção segue a apresentação do conceito de elasticidade e da metodologia para a identificação de setores-chave no consumo de energia feita em Alcántara e Padilha (2003), Hilgemberg (2005) e Carvalho e Perobelli (2009)

Para encontrar os setores-chave no que concerne às emissões, é preciso construir uma matriz de elasticidades inter-setoriais da demanda em relação ao consumo final de energia. Para isso, considere Γ um escalar que denota o uso de energia total pelo sistema produtivo e τ' um vetor-linha do uso de energia por unidade de produto setorial. A partir do modelo de Leontief, pode-se escrever:

$$\Gamma = \tau' X^* = \tau'(I - A^*)^{-1} Y^* \quad (17)$$

Se o uso de energia depende da demanda final da economia, pode-se escrever:

$$\Delta\Gamma = \tau' \Delta X^* = \tau'(I - A^*)^{-1} Y^* \gamma \quad (18)$$

onde γ é um escalar que representa o aumento proporcional na demanda final.

Seja s , um vetor da participação das demandas finais setoriais em suas respectivas produções efetivas:

$$s = (\hat{X}^*)^{-1} Y^* \quad \text{ou} \quad Y^* = s \hat{X}^* \quad (19)$$

Substituindo (18) em (17), tem-se:

$$\Delta\Gamma = \tau'(I - A^*)^{-1} \hat{X}^* s \gamma \quad (20)$$

Dividindo por Γ :

$$\Gamma^{-1} \Delta\Gamma = \Gamma^{-1} \tau'(I - A^*)^{-1} \hat{X}^* s \gamma \quad (21)$$

onde $\Gamma^{-1} \Delta\Gamma$ mostra o aumento total de energia em relação a um aumento na demanda final, isto é, a elasticidade de Γ em relação à demanda final. Porém, esta expressão não traz nenhuma informação adicional, dada a natureza linear do modelo, pois $\Gamma^{-1} \Delta\Gamma = \gamma$. Assim, é necessário fazer uma desagregação da elasticidade. A primeira etapa é transformar a equação (21). Para isso, seja d' um vetor da distribuição de energia final entre os n setores produtivos da economia, tal que $\sum_{i=1}^n d_i = 1$.

Assim, o vetor dos coeficientes de consumo setorial τ' pode ser escrito como:

$$\tau' = \Gamma d' (\hat{X}^*)^{-1} \quad (22)$$

Substituindo (22) em (21):

$$\Gamma^{-1} \Delta\Gamma = d' (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \hat{X}^* s \gamma \quad (23)$$

E considerando que:

$$(I - D)^{-1} = (\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \hat{X}^* \quad (24)$$

Pois, segundo Miller e Blair (1985) quando duas matrizes quaisquer, \mathbf{P} e \mathbf{Q} são conectadas pela relação $\mathbf{P} = \mathbf{MQM}^{-1}$, elas são ditas similares e são expressas por $\mathbf{P} \approx \mathbf{Q}$. Logo, o produto do

lado direito de (24) torna-se $(I - D)^{-1} \approx (I - A^*)^{-1}$, ou seja, $(I - D)^{-1}$ pode ser entendido como o valor aproximado das necessidades totais (diretas e indiretas) para a produção de bens e serviços na economia, os quais são usualmente obtidos da matriz $(I - A^*)^{-1}$.

Diagonalizando o vetor s , pode-se obter a partir de (23) e (24):

$$\varepsilon' = d'(I - D)^{-1} \hat{s} \gamma \quad (25)$$

essa equação fornece a variação proporcional do consumo setorial de energia em relação a uma mudança proporcional na demanda final.

Omitindo-se γ e diagonalizando o vetor d' , obtemos:

$$\Gamma^y = \hat{d}(I - D)^{-1} \hat{s} \quad (26)$$

onde τ_{ij}^y é o elemento característico da matriz Γ^y e expressa a porcentagem de aumento no consumo de energia final do setor i em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor j . Esse por sua vez, pode ser interpretado como elasticidade, dado que a soma dos elementos da coluna do setor j expressa a porcentagem de variação do consumo de energia experimentado por toda a economia em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor j .

Sendo τ_{ij}^y um elemento da matriz Γ^y , pode-se definir:

$$P_{\bullet j} = \sum_{i=1}^n \tau_{ij}^y \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (27)$$

$$P_{i\bullet} = \sum_{j=1}^n \tau_{ij}^y \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (28)$$

Alcántara e Padilha (2003) chamam de impacto total, a soma das colunas, que mostram o aumento percentual no consumo de energia causado por um aumento de 1% na demanda final do setor j , dado por (27). E chamam de impacto distributivo, a soma das linhas, que mostram o aumento de consumo de energia do setor i que resulta de um aumento de 1% na demanda final experimentada por todos os setores da economia, dado por (28).

Definindo Γ_T e Γ_D como os valores medianos⁶ dos impactos totais e distributivos, respectivamente. Alcántara e Padilha (2003) adotam a classificação estabelecida na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos Setores

	$\sum_i \tau_{ij}^y < \Gamma_T$	$\sum_i \tau_{ij}^y > \Gamma_T$
$\sum_j \tau_{ij}^y > \Gamma_D$	Setores relevantes do ponto de vista da demanda de outros setores I	Setores-chave: pressionam o consumo de energia e são pressionados a consumir energia II
$\sum_j \tau_{ij}^y < \Gamma_D$	Setores não-relevantes III	Setores relevantes do ponto de vista de sua demanda IV

Fonte: Alcántara e Padilha (2003)

⁶ Os autores optam por utilizar a mediana no lugar da média, pois a média é uma medida de tendência central indicada para casos onde a distribuição dos valores é simétrica. Nos casos de distribuição assimétrica, como é o da poluição, a mediana é uma medida de tendência central mais indicada.

Os setores no quadrante I têm seu consumo de energia determinado, em parte, pela demanda dos outros setores, pois o impacto distributivo é maior do que a mediana da economia. Os setores no quadrante II são os setores-chave, pois apresentam um efeito total e distributivo maior que os valores medianos da economia, isto é, eles são induzidos a consumir energia pelo aumento da demanda dos outros setores, e ao mesmo tempo, eles pressionam o consumo de energia dos outros setores pelo aumento de sua própria demanda. No quadrante III, estão os setores menos relevantes no que concerne às emissões, e por fim, no quadrante IV, estão os setores com alto conteúdo de energia.

3.3 Análise da Energia Incorporada nas Exportações⁷

Considerando uma economia fechada, pode-se aplicar um teste de consistência por meio da equação $F = \alpha^* Y$, onde os vetores dos coeficientes totais de intensidade energética (α^*) e de demanda final (Y) são expressos em unidades híbridas, e o vetor de oferta/uso de produtos energéticos (F) é expresso em unidades físicas. O produto vetorial $\alpha^* Y$ tem que igualar o vetor de produtos energéticos (F), que por sua vez é um dado de entrada no modelo de unidades híbridas. Uma vez verificada a consistência do modelo, pode-se utilizar estes coeficientes para se estimar a energia embutida no comércio internacional (MACHADO, 2002).

A mensuração da energia incorporada nas exportações é evidente, visto que as exportações (E) constituem-se num componente da demanda final total (Y). Desta forma, a energia embutida nas exportações pode ser estimada da seguinte maneira:

$$F_E = \alpha^* E \quad (29)$$

em que:

F_E corresponde a energia embutida nas exportações;
 α^* é um vetor de coeficientes totais de intensidade energética; e,
 E são as exportações

BASE DE DADOS

Para a construção do modelo de insumo-produto em unidades híbridas, foram usados dados da matriz de insumo-produto para Minas Gerais de 2005, recentemente divulgada pela –Fundação João Pinheiro, e do Balanço Energético de Minas Gerais (BENMG) para o mesmo ano, publicado pela CEMIG. A matriz de insumo-produto possui abertura para 35 setores e 55 grupos de produtos. A partir dela, realizou-se um conjunto de procedimentos visando à obtenção da matriz híbrida. Inicialmente, os 55 produtos foram agregados em 33 setores específicos, levando-se em consideração o grau de homogeneidade das atividades de cada um (segundo a classificação do IBGE). Dentre esses setores, um corresponde ao setor energético, formado pelos derivados do petróleo e o álcool.

O próximo passo consistiu na construção da parte híbrida, o que envolveu compatibilizar as informações derivadas da matriz de insumo-produto de Minas Gerais, que contemplava 33 setores, com os dados do BENMG que estavam disponíveis para apenas 12 setores. Assim, uma nova agregação da matriz de IP foi necessária, o que acabou por gerar uma matriz com 12 setores, mais

⁷ Esta seção está baseada em Carvalho e Perobelli (2009).

um setor energético que contém somente combustíveis energéticos, dado os objetivos deste estudo. A agregação final adotada está apresentada no anexo 1⁸.

A segunda etapa foi fazer a conversão dos coeficientes de energia em emissão de CO₂ causada pelo consumo dos combustíveis pelos vários setores da economia. Para isto, aplicou-se os coeficientes de conversão encontrados na Matriz Energética e de Emissões, que representam a quantidade total de dióxido de carbono, medido em Gg/tep emitidas na atmosfera de acordo com os coeficientes apresentados na Tabela 2.

Tabela 2- Coeficientes de conversão (Gg/tep) do consumo de CO₂

Setores	Óleo diesel	Óleo comb.	Gasolina	GLP	Querosene	Coq. carvão min.	Álcool etílico	Outras sec.petr.
Agropecuária	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,78	2,39	3,07
Mineração e Pelotização	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Minerais não Metálicos	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Metais não ferrosos e out. met.	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Papel e Celulose	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Química	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Alimentos e Bebidas	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,81	3,03	3,07
Têxteis e Vestuário	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Outras Indústrias	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,93	2,80	3,07
Comércio e Serviços	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,81	2,71	3,07
Transporte	3,00	3,21	2,35	2,61	2,97	3,95	2,76	3,07
Serviços Públicos	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,93	2,80	3,07
Setor Energético	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,94	3,00	3,07

Fonte: Matriz Energética e de Emissões (ECONOMIA E ENRGIA , 2000)

Finalmente, a última fase foi a substituição das linhas dos fluxos do setor de energia em unidades monetárias para unidades físicas, e este processo envolveu três fases. A primeira foi a computação dos valores físicos dos fluxos de carbono regional assumindo a hipótese que a quantidade de energia utilizada está linearmente relacionada à produção. A segunda foi fazer uma participação porcentual da produção inter-setorial pelo total do consumo intermediário, excluindo o setor de energia, e depois multiplicando essa participação pelo consumo intermediário total, para que a matriz ficasse balanceada, porém sem a linha do setor energético em unidades monetárias. E enfim, a terceira etapa foi a alocação entre os diversos setores, dos valores encontrados na primeira etapa deste procedimento.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Intensidade das Emissões de CO₂

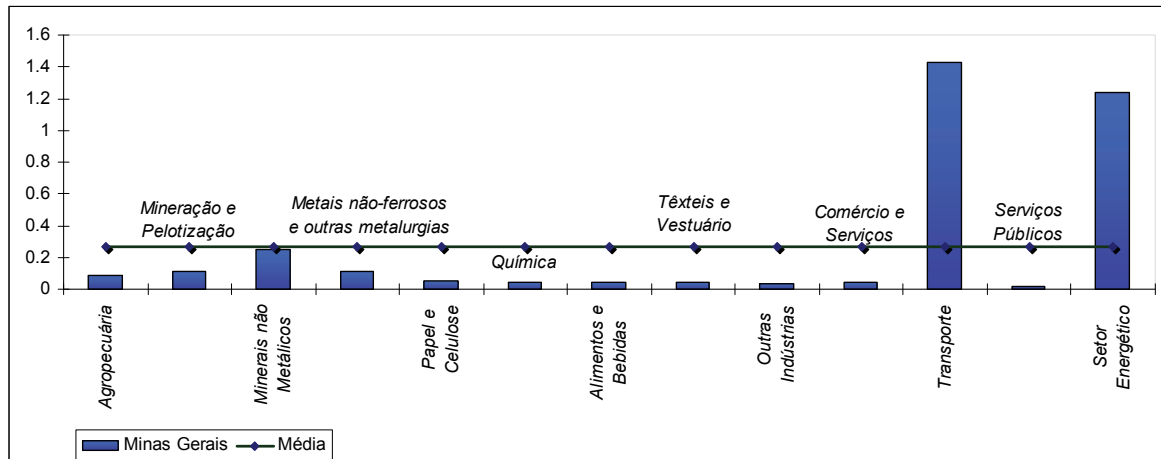
As emissões consideradas neste artigo são aquelas devido à queima de combustíveis energéticos, que são os principais responsáveis pelo acúmulo dos gases de “efeito estufa” na atmosfera. Os resultados dessa seção são referentes às equações (14), (15) e (16) da metodologia apresentada.

A análise mostra o impacto nas emissões que cada setor de Minas Gerais provoca no setor energético e nos demais setores para satisfazer a demanda final e a demanda intermediária.

Por exemplo, um aumento na demanda final do setor de Transporte em R\$ um mil, causa um efeito total na economia de 1,43 Gg/1000 tep de emissões de dióxido de carbono adicionais. Este é o setor que causa maior volume de emissões por aumento da demanda final, o que se justifica por ser um setor que utiliza os combustíveis como um dos seus principais insumos, tais como a gasolina e o óleo diesel. Considerando que a média por setor é de 0,27 Gg/tep de emissões, tem-se que os

⁸ A compatibilização feita aqui entre a matriz de insumo-produto nacional e os dados do Balanço Energético Nacional baseou-se em procedimentos similares aos adotados por Perobelli *et al* (2007).

setores de Transportes e o Setor Energético são as atividades localizadas em Minas Gerais que mais contribuem para o aumento total das emissões no estado.



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

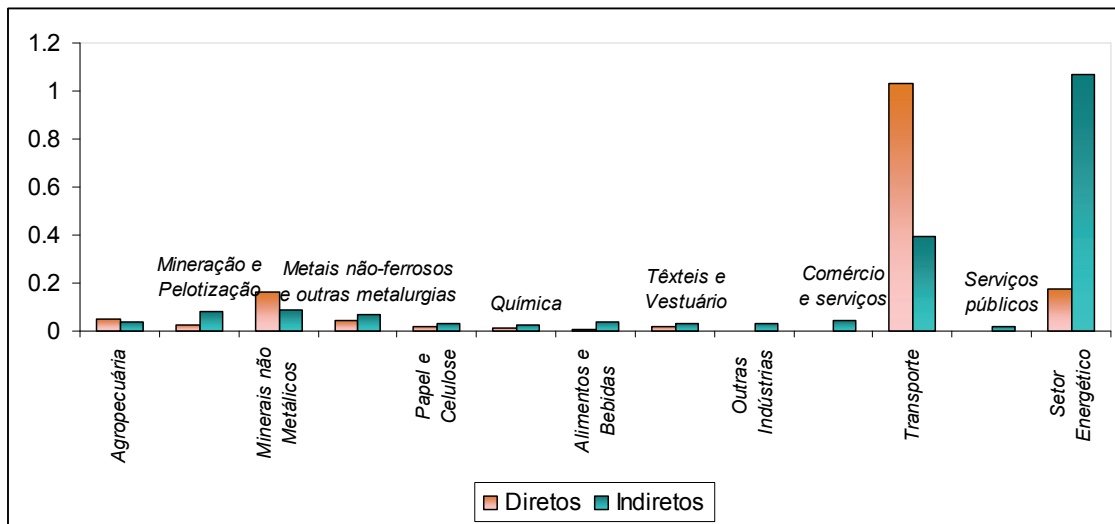
Figura 2 - Efeito total nas emissões de CO₂ (em Gg/1000 tep) de um aumento na demanda final em R\$ um mil.

Na verdade, esse aumento nas emissões ocorre porque um aumento na demanda final de um determinado setor faz essa atividade demandar uma produção adicional dos demais setores. É esse aumento no produto dos demais setores, e conseqüentemente em suas emissões que exerce impacto relativamente mais forte na economia.

É importante avaliar não apenas os efeitos totais, mas identificar também os efeitos diretos, ou seja, o aumento das emissões devido a um aumento na produção para atender diretamente o consumo da demanda final; e os efeitos indiretos, isto é, o efeito nas emissões para atender o consumo intermediário dos diversos setores da economia na região analisada.

Os setores de Agropecuária, Minerais não-metálicos e Transportes têm suas emissões adicionais determinadas em maior parte para atender a demanda final. O aumento das emissões do setor de Transportes é em torno de 72% devido ao consumo da demanda final.

Os setores de Mineração e Pelotização, Metais não-ferrosos e outras metalurgias, Papel e celulose, Química, Alimentos e bebidas, Têxteis e Vestuário, Comércio e Serviços, Serviços Públicos e o Setor Energético têm suas emissões adicionais determinadas principalmente para atender a demanda intermediária. No caso do Setor Energético, aproximadamente 86% das emissões adicionais são para atender o consumo dos outros setores. Os efeitos diretos e indiretos em Minas Gerais são ilustrados na Figura 3.



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 3 - Efeito direto e indireto nas emissões de CO₂ (em Gg/mil tep) de um aumento na demanda final em R\$ um mil.

Nota-se pela figura que os setores que são mais voltados para o consumo final, como Transportes e Agropecuária acabam gerando um montante maior de emissões devido ao efeito direto, e aqueles que são tipicamente produtores de insumos para os demais setores aumentam mais as suas emissões por causa do efeito indireto, ou seja, o fato de as demais atividades aumentarem sua demanda por insumos os influencia mais do que um aumento na demanda final.

4.2 Elasticidades de emissão e setores-chave

O cálculo das elasticidades fornece informações em uma matriz, onde cada elemento de uma dada coluna mostra a contribuição do impacto direto e indireto decorrente do aumento de 1% na demanda final da produção de um setor específico em cada um dos setores. Então, a soma dos elementos de uma determinada coluna mostra o impacto total nas emissões de todos os setores em Minas Gerais, decorrente do aumento de um ponto percentual na demanda final de um dado setor. De forma análoga, a soma de cada uma das linhas representa o impacto distributivo, ou seja, a emissão que seria gerada em um setor quando a demanda final dos outros setores aumentasse em um ponto percentual.

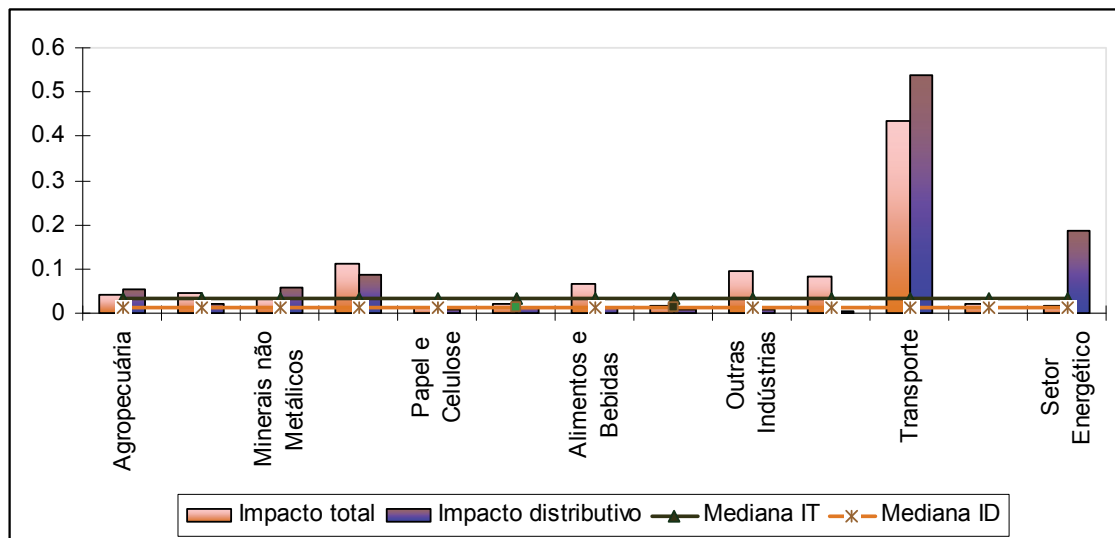
De acordo com o item 3.2 deste trabalho, foram calculadas as equações (26), (27) e (28), revelando que os setores com maior impacto total são aqueles que pressionam as emissões dos outros setores acima da mediana da economia em decorrência do aumento de 1% na sua demanda final. Em Minas Gerais, a mediana encontrada foi de 0,034 Gg/tep de carbono adicionais em resposta ao incremento da demanda. E as atividades que emitem CO₂ acima de 0,014 Gg/tep de carbono em resposta ao adicional de 1% na demanda de todos os setores possuem maior impacto distributivo. Tomando como referência a Tabela 1 (vide pág.11), as atividades em Minas Gerais se classificam da forma apresentada pela Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação dos Setores em Minas Gerais

	$\sum_i \tau_{ij}^y < \Gamma_T$	$\sum_i \tau_{ij}^y > \Gamma_T$
$\sum_j \tau_{ij}^y > \Gamma_D$	Metais não-ferrosos e outras metalurgias e Setor Energético. I	Agropecuária, Mineração e Pelotização e Transporte. II
$\sum_j \tau_{ij}^y < \Gamma_D$	Papel e Celulose, Química, Têxteis e Vestuário e Serviços Públicos. III	Outras Indústrias e Comércios e Serviços. IV

Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Os setores de Agropecuária, Mineração e Pelotização e Transportes são os setores-chave no que concerne às emissões. Estes são pressionados a emitir quando a demanda dos demais setores aumenta, e ao mesmo tempo, pressionam a emissão dos outros setores quando sua própria demanda aumenta. Na Figura 5, pode-se observar que o setor de Transportes possui elevado impacto distributivo, enquanto o setor Energético tem o maior impacto total.



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 5 - Impactos Total e Distributivo para os setores localizados em São Paulo

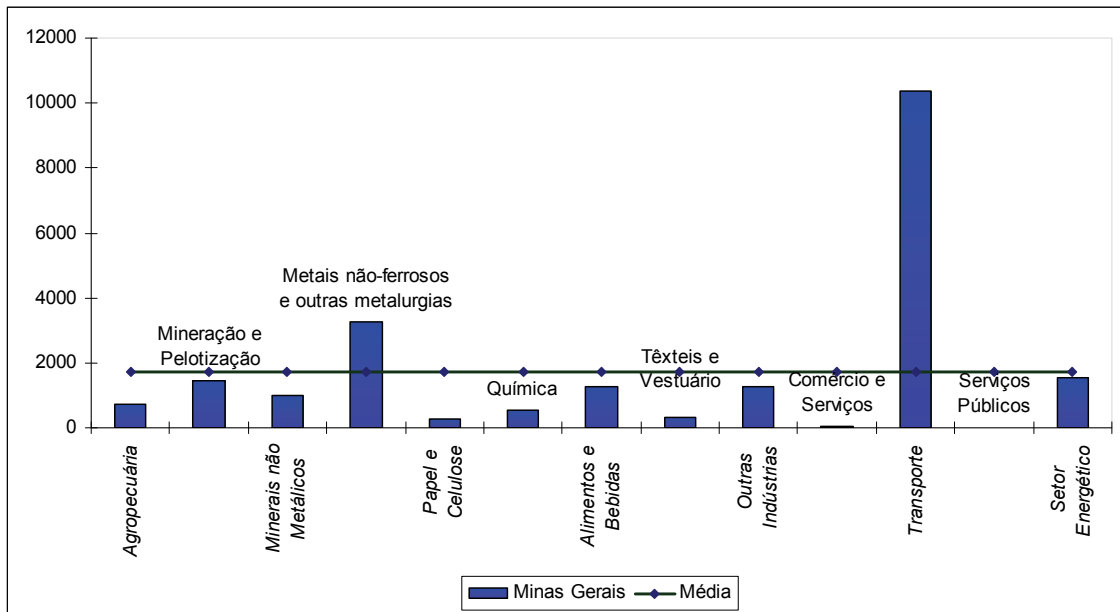
Os formuladores de políticas para a redução de emissões de CO₂ devem ficar atentos aos setores-chave, pois restringir a emissão destes significa restringir sua produção no curto prazo, e conseqüentemente, isto afetará o produto de toda a economia de uma forma mais intensa.

4.3 Intensidade de Emissão na Estrutura da Exportação

A intensidade de emissão presente na estrutura de exportação baseia-se no volume exportado e foi calculada de acordo com a fórmula (29) da seção 3.3. De acordo com os dados da matriz de 2005, os setores que mais exportam no estado de Minas Gerais são Outras Indústrias, Alimentos e Bebidas, e Metais não-ferrosos e outras metalurgias

O cálculo da quantidade de carbono embutido nas exportações dos diversos setores revelou que dos produtos comercializados, aqueles que incorporam mais CO₂ são os setores de Transportes e Metais não-ferrosos e outras metalurgias. Sendo que a atividade de metais não-ferrosos apresenta um grande volume de exportações na região analisada.

Assim, apenas um dos setores que apresentou um maior volume de exportações foi também identificado como um dos que mais incorporam carbono em sua produção. Desse modo, os resultados encontrados nessa seção mostram que a maioria dos setores mais exportadores em MG não são aqueles mais poluentes, ou seja, atividades que causam maiores impactos no que concerne às emissões de CO₂. Desse modo, os resultados parecem indicar que a pauta de exportações do estado não está fundamentada em atividades poluidoras.



Fonte: Elaboração própria a partir dos resultados da pesquisa.

Figura 7 - Carbono incorporado nas exportações dos diversos setores

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho buscou-se fazer uma análise sobre a intensidade das emissões de dióxido de carbono devido à queima de combustíveis energéticos, principalmente os fósseis em 13 setores da economia mineira. Seguindo abordagens similares na literatura, o modelo foi construído a partir de uma tabela híbrida de insumo-produto regional, na qual as informações de vendas do setor de energia aos demais setores foram registradas em unidades físicas (*Gg/tep*). Além disso, foram realizados cálculos das elasticidades de emissões em relação a variações na demanda final dos setores-chaves e análise da estrutura das exportações, para verificar se as exportações do estado de Minas Gerais são intensivas em carbono.

Os resultados mostraram que o setor de Transporte é o setor que causa maior volume de emissões por aumento da demanda final (1,43 *Gg/1000 tep* de emissões de dióxido de carbono adicionais), o que se justifica por ser um setor que utiliza os combustíveis como um dos seus principais insumos (e.g. gasolina e o óleo diesel). Considerando que a média por setor é de 0,27 *Gg* de emissões, tem-se que os setores de Transportes e o Setor Energético são as atividades localizadas em Minas Gerais que mais contribuem para o aumento total das emissões.

Em relação aos efeitos diretos, verifica-se que os setores de Agropecuária, Minerais não-metálicos e Transportes têm suas emissões adicionais determinadas em maior parte para atender a demanda final. Já os setores de Mineração e Pelotização, Metais não-ferrosos e outras metalurgias, Papel e celulose, Química, Alimentos e bebidas, Têxteis e Vestuário, Comércio e

Serviços, Serviços Públicos e o Setor Energético têm suas emissões adicionais determinadas principalmente para atender a demanda intermediária.

Os setores com maior impacto total são aqueles que pressionam as emissões dos outros setores acima da mediana da economia em decorrência do aumento de 1% na sua demanda final. Os setores de Agropecuária, Mineração e Pelotização e Transportes são os setores-chave no que concerne às emissões. Estes são pressionados a emitir quando a demanda dos demais setores aumenta, e ao mesmo tempo, pressionam a emissão dos outros setores quando sua própria demanda aumenta.

Em relação aos setores exportadores os resultados encontrados indicaram que dos produtos comercializados, aqueles que incorporam mais CO₂ são os setores de Transportes e Metais não-ferrosos e outras metalurgias. Sendo que a atividade de metais não-ferrosos é o setor que mais exporta no estado de Minas Gerais juntamente com os setores de outras metalurgias Outras Indústrias, Alimentos e Bebidas. Assim, grande parte dos setores mais exportadores em MG não são aqueles mais poluentes.

No curto prazo, de acordo com as hipóteses adotadas no trabalho, há indícios de um *trade-off* entre restrições de emissões e nível de atividade, pois se pode notar que a única forma de se reduzir a quantidade de CO₂ na economia é restringindo a produção dos setores. Também foi indicado neste trabalho que as emissões dependem das inter-relações entre as diversas atividades produtivas.

Dessa forma, a metodologia utilizada proporcionou informações relevantes para subsidiar a gestão e a formulação de políticas quanto à melhor estratégia de controle de emissões em Minas Gerais. Porém, não foi objetivo deste trabalho discutir quais medidas de políticas poderiam ser adotadas. Além disso, pode-se considerar uma maior abertura da matriz para alguns combustíveis, e assim verificar qual o impacto de cada um deles nas emissões setoriais mineira. A análise também poderia ser incrementada por meio da abertura da matriz para alguns combustíveis, e também pela construção de um modelo de insumo produto inter-regional em unidades híbridas que considere duas áreas espaciais (Minas Gerais e restante do Brasil, por exemplo). Estes, então, seriam assuntos a serem tratados em trabalhos futuros.

6 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.

BULLARD, C. W.; HERENDEEN, R. A. The energy cost of goods and services. *Energy Policy*, v. 3 n. 4, p. 268- 278, 1975.

CARVALHO, T.S; PEROBELLI, F.S. Avaliação da intensidade de emissões de CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/ restante do Brasil. *Economia Aplicada*, v. 13(1), p. 99-124, 2009

CASLER, S. D.; BLAIR, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions, *Ecological Economics*, v. 22, p. 19-27, 1997.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG. *23ºBalanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG, ano base 2007*. Disponível em < <http://www.cemig.com.br>> Acesso em 20 de dez. de 2009.

CHIARI, J. R. P., DUARTE FILHO, F. C. *Características Estruturais da Economia Mineira*. X Seminário sobre Economia Mineira. Diamantina, MG. 2002.

Matriz Energética e de Emissões. *ECONOMIA e ENRGIA*. v. 02 n. 24, 2000. Disponível em <<http://www.ecen.com/matriz/>> Acesso em 12 de jan. de 2010.

Fundação João Pinheiro (FJP). *Anexo estatístico PIBMG-1995-2007*. Disponível em <<http://www.fjp.gov.br>> Acesso em 30 de jan. de 2010.

GOWDY, J. M.; MILLER, J. L. Technological and demand change in energy use: an input-output analysis. *Environment and Planning A*, v. 19, n.10, p. 1387-1398, 1987.

GROSSMAN, G., KRUEGER, A. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement, *National Bureau of Economic Research Working Paper 3914*, NBER, Cambridge, MA, 1991.

HAWDON, D.; PEARSON, P. Input-output simulations of energy, environment, economy interactions in the UK. *Energy Economics*, v.17, n. 1, p. 73-86, 1995.

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.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf> Acesso em 10/09/2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Rio de Janeiro: Contas Nacionais, n.23, 2008

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

LENZEN, M. Primary energy and greenhouse gases embodied in Australian final consumption: an input-output analysis. *Energy Policy*, v.26, n.6, p.495-506, 1998.

MACHADO, G.V. *Meio Ambiente e Comércio Exterior: Impactos da Especialização Comercial Brasileira sobre o Uso de Energia e as Emissões de Carbono do País*. 2002. 192f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MILLER, R.; BLAIR, P. *Input-Output analysis: foundations and extensions*. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA (MME). *Balanço Energético Nacional - 2008* Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/>>. Acesso em 20 de jan. de 2010.

MONGELLI, I.; TASSIELLI, G.; NOTARNICOLA, B. Global Warnings agreements, international trade and energy/carbon embodiments: na input-output approach to the Italian case. *Energy Policy*, vol. 34, p. 88-100, 2006.

PEROBELLI, F. S.; MATTOS, R. S.; FARIA W. R. Interações energéticas entre o Estado de Minas Gerais e o *restante do Brasil*: uma análise inter-regional de insumo-produto. *Economia Aplicada*, v.11, n.1, p. 113 – 130. São Paulo, 2007.

WCED, 1987. *Nosso Futuro Comum*, 1. Ed. Brasileira. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

ZHANG, Z.; FOLMER, H. Economic modelling approaches to cost estimates for the control of carbon dioxide emissions. *Energy Economics* v. 20, p. 101-120, 1998.

Anexo 1: Compatibilização final da Matriz de Insumo Produto com Balanço Energético de Minas Gerais

1 Agropecuária	9 Outras Indústrias
1 Agricultura, silvicultura, exploração florestal	18 Fabricação de máquinas e equipamentos
2 Pecuária e pesca	19 Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos
2 Mineração e Pelotização	20 Fabricação de veículos automotores
3 Indústrias de extrativas mineral	21 Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores
3 Minerais não Metálicos	22 Fabricação de outros equipamentos de transporte
15 Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	23 Fabricação de móveis, produtos de madeira e artigos diversos
4 Metais não ferrosos e outras metalurgias	24 Eletricidade, gás, água e limpeza urbana
16 Metalurgia	25 Construção
17 Fabricação de produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	10 Comércio e Serviços
5 Papel e Celulose	26 Comércio
10 Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	28 Serviços de informação
13 Fabricação de produtos de borracha e plástico	29 Intermediação financeira e seguros
6 Química	30 Atividades imobiliárias e aluguel
12 Fabricação de produtos farmacêuticos, perfumaria, higiene e limpeza	31 Serviços de alojamento e alimentação
14 Fabricação de produtos químicos	32 Serviços prestados às empresas
7 Alimentos e Bebidas	33 Educação e saúde mercantil
4 Fabricação de alimentos	35 Outros serviços
5 Fabricação de bebidas	11 Transporte
6 Fabricação de produtos do fumo	27 Transporte, armazenagem e correio
8 Têxteis e Vestuário	12 Serviços Públicos
7 Fabricação de produtos têxteis	34 Administração pública
8 Fabricação de artefatos de couro e calçados	13 Setor Energético
9 Fabricação de artigos do vestuário e acessórios	11 Fabricação de derivados do petróleo e álcool

Fonte: Elaboração própria baseada em Perobelli *et al* (2007)