

Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto

Emerson Martins Hilgemberg
Professor do Departamento de Economia
da Universidade Estadual de Ponta Grossa

Joaquim J. M. Guilhoto
Professor da Faculdade de Economia, Administração
e Ciências Contábeis da Universidade de São Paulo

Palavras-chave

insumo-produto, efeito estufa, emissões de CO₂, poluição, meio ambiente.

Classificação JEL D57, Q52.

Key words

input-output, greenhouse effect, CO₂ emissions, pollution, environment.

JEL Classification D57, Q52.

Resumo

Este trabalho quantifica as emissões de CO₂ decorrentes do uso energético de gás natural, álcool e derivados de petróleo em seis regiões brasileiras e avalia os impactos de eventuais políticas de controle de emissões. Também mostra para as seis regiões estudadas a ligação entre o nível de atividade e as emissões de CO₂, detalhando para cada um dos energéticos considerados a parcela das emissões totais em razão da demanda final, do consumo interindustrial e do consumo das famílias. Também são realizadas simulações para avaliar os efeitos de uma eventual restrição de emissões sobre os vários setores da economia, bem como os efeitos de um imposto sobre emissões.

Abstract

This study quantifies CO₂ emissions caused by consumption of natural gas, alcohol and petroleum derivatives for six Brazilian regions, and evaluates the impact of possible policies for emission control. The connection between the level of activity and CO₂ emissions for each energy input is presented for the six regions considered, detailing the portion of the total emissions caused by final demand, inter-industry consumption and household consumption. The model was also used to make simulations in order to evaluate the economic effects of a hypothetical restriction on emissions and the effects that an emission tax would cause.

1_ Introdução

No início da década de 1990, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro, debateu intensamente a questão das mudanças climáticas, e a Assembléia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) apresentou para adesão e assinatura dos países membros as bases da Convenção Quadro Sobre Mudança do Clima (*UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change*) (CEBDS, 2002a).

A Convenção, cuja meta é reduzir, ou ao menos, estabilizar a concentração de gases de efeito estufa (*GHG – Green House Gases*), buscou fortalecer o trabalho do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (*IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change*), dando início a um processo regular de reuniões entre os países signatários da Convenção, visando à implementação dessas medidas (CEBDS, 2002). Tais reuniões são conhecidas como Conferência das Partes (*COP – Conference of Parts*).

A terceira Conferência das Partes, realizada em 1997, celebrou, com o compromisso de 39 países desenvolvidos, o Protocolo de Quioto. Por intermédio dele, os países desenvolvidos comprometeram-se a reduzir, no período entre 2008 e 2012, suas emissões de *GHG* para que

elas se tornem, em média, 5,2% inferiores aos níveis de emissão observados em 1990.¹ Para que se transforme em lei e comece a produzir seus efeitos, o protocolo deve ser aceito por 55 países que representem pelo menos 55% das emissões de *GHG*.

Em fevereiro de 2002, no entanto, o presidente dos EUA rejeitou o Protocolo de Quioto e lançou sua própria estratégia para enfrentar a mudança do clima. Segundo os EUA, o Protocolo de Quioto falha ao estabelecer um objetivo de longo prazo baseado na ciência, estabelece riscos sérios e desnecessários para as economias dos EUA e do mundo e é ineficaz quanto às mudanças climáticas ao excluir a maior parte do mundo.

A chamada *Iniciativa Bush* é baseada na premissa de que o crescimento econômico não é a causa, e sim a solução do problema da mudança no clima, porque ele faz com que seja possível separar os recursos de produção das emissões de *GHG*. Ao contrário das metas quantitativas estabelecidas no Protocolo de Quioto, a *Iniciativa Bush* aponta para uma redução da *intensidade* de *GHG*, ou seja da quantidade de *GHG* emitido por dólar do PIB (van Vuuren *et al.*, 2002).

No âmbito do Protocolo de Quioto, o Brasil não integra o Anexo I, ou seja, o conjunto de países desenvolvidos

.....
¹ Os 39 países que compõem o Anexo I do Protocolo de Quioto devem promover, no período de 2008 a 2012, reduções diferenciadas, tomando por base as emissões registradas em 1990. Por exemplo, os EUA devem reduzir suas emissões em 7%, a União Européia em 8%, o Japão em 6% e assim sucessivamente, de tal modo que a soma das reduções resulte numa redução líquida de 5,2%.

que, de acordo com o conceito de “responsabilidades comuns, mas diferenciadas” teriam que restringir suas emissões de *GHG*.

No entanto, as negociações internacionais para a restrição das emissões, decorrentes da posição norte-americana e o fato de que, a longo e médio prazos, o País dependerá cada vez mais de combustíveis fósseis (particularmente o gás natural) à medida que novos aproveitamentos de energia hidrelétrica vão se tornando mais custosos, tornam relevante a análise da intensidade das emissões de CO₂ na economia brasileira.

Além disso, como aponta Ribeiro (1997, p. 26)

ao comparar o Brasil com países desenvolvidos, nota-se que ele é responsável pela maior taxa de crescimento de emissões desses gases [gases de efeito estufa], entre 1970 e 1989 [...]. Entre 1970 e 1989, observa-se um aumento de emissão de 22% per capita no Brasil.

Ademais, é preciso considerar que, no caso do Brasil, a distribuição espacial da atividade econômica não é homogênea em todo o território. Enquanto o Estado de São Paulo sozinho respondia por praticamente 35% do PIB em 1999, a região Nordeste, que concentrava algo em torno de 28% da população, respondia por cerca de 13% do PIB. No que se

refere aos segmentos da atividade econômica, a região Sul era responsável por quase um terço da atividade agropecuária do País, ao passo que São Paulo e o resto do Sudeste por cerca de 38 e 35%, respectivamente, da atividade industrial, medida pelo valor adicionado. Tomadas em conjunto, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste não chegavam a representar 17% do valor adicionado na indústria e menos de um quarto do PIB do País (IBGE, 2003a).

Logo, para melhor compreender os problemas ambientais, é bastante pertinente considerar a aplicação de modelos ampliados de insumo-produto,² examinando as relações entre a atividade econômica e a poluição, tendo em vista que a solução, ou ao menos parte dela, está bastante relacionada com o funcionamento das economias (Forsell e Polenske, 1998).

Abordagens inter-regionais alternativas para o caso brasileiro são encontradas na literatura. Guilhoto *et al.* (2002, p. 4) aplicam um modelo de equilíbrio geral computável no qual

os resultados ambientais de cada cenário foram estimados multiplicando-se o valor de produção de cada setor [...] por coeficientes de intensidade de poluição ou uso de recurso ambiental (grifo nosso).

.....
² Como será mostrado em maior detalhe adiante, o modelo ampliado de insumo-produto adiciona a emissão setorial de poluentes às transações monetárias de insumo-produto, no intuito de capturar as inter-relações entre a produção de bens e serviços pelos setores da economia e as emissões de poluentes.

A mesma estratégia é utilizada por Tourinho, Seroa da Motta e Alves (2003), que estendem o modelo de equilíbrio geral computável calibrado para o Brasil, apresentado em Tourinho e Andrade (1998). Os autores inseriram um vetor de intensidade de poluição que continha coeficientes de poluição setoriais e com base neles determinam os volumes de emissão de CO₂. O modelo estendido permitiu, então, analisar os impactos econômicos de uma política ambiental de redução de emissões CO₂ na economia brasileira.

A princípio, o modelo de insumo-produto é uma versão mais rudimentar dos modelos de equilíbrio geral computável. No entanto, vale ressaltar que os modelos citados acima fazem uso de coeficientes de poluição externos ao modelo, enquanto a metodologia utilizada no presente trabalho é capaz de incorporar a intensidade de carbono dentro do modelo, permitindo melhor evidenciar as inter-relações entre a produção de bens e serviços pelos setores da economia e as emissões de poluentes.

Por outro lado, os resultados da análise devem ser encarados como a quantificação do *impacto* de políticas de redução de emissões, já que, como se sabe, os coeficientes técnicos são fixos no modelo de insumo-produto e, portanto, incapazes de dar conta de eventuais mu-

danças no padrão tecnológico que venham a afetar os resultados num prazo de tempo maior.

Tendo isso em mente, este artigo avalia a intensidade de carbono (emissões totais de CO₂ por unidade monetária), identifica os setores-chave no que concerne às emissões e o efeito sobre a produção e o emprego de eventuais restrições à emissão de CO₂ contemplando seis diferentes regiões (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, São Paulo, resto do Sudeste e Sul).

2_ Metodologia

A estrutura matemática de um sistema de insumo-produto para uma região consiste em um conjunto de n equações lineares com n incógnitas em que a demanda de dado setor j por insumos originados de outros setores é relacionada com o montante de bens produzidos por esse mesmo setor j , e a demanda final, isto é, a demanda das famílias, do governo ou de outros países (exportações) é determinada por considerações relativamente não relacionadas com o montante produzido nessas unidades (Miller e Blair, 1985).

Tal modelo pode ser estendido para possibilitar a análise de problemas relacionados à poluição, visto que muitas das emissões de poluentes resultam da atividade econômica, e as inter-relações

entre as indústrias afetam significativamente sua natureza e magnitude.

O procedimento usual para avaliar as emissões de CO₂ tem sido estimar o uso de energia pelas indústrias e pelos consumidores finais por meio de um modelo insumo-produto de energia e, baseando-se em coeficientes de conversão, estimar as emissões de CO₂ decorrentes. Logo, o cálculo da emissão de CO₂ é feito aplicando-se coeficientes de emissão sobre a intensidade do consumo de energia.

A utilização de unidades híbridas considera tanto a energia consumida no processo de produção de uma indústria quanto a energia empregada na produção dos insumos utilizados por ela (Miller e Blair, 1985). Em outras palavras, é realizada uma *análise de processo*, a qual rastreia os insumos até os recursos primários usados na sua produção. O primeiro *round* dos insumos de energia revela os *requerimentos diretos de energia*. Os *rounds* subsequentes de insumos energéticos definem os *requerimentos indiretos de energia*. Logo, a soma desses dois requerimentos é o *requerimento total de energia*,³ cujo cálculo é algumas vezes chamado de *intensidade de energia* (Miller e Blair, 1985).

O modelo de energia em unidades híbridas é baseado em um conjunto de matrizes análogo ao do modelo conven-

cional, isto é, numa matriz de transações ou fluxo de energia (medida em unidades físicas), numa matriz de requerimentos diretos de energia e numa matriz de requerimentos totais de energia (Miller e Blair, 1985).

Numa economia composta por n setores, dos quais m são setores de energia, a matriz de fluxos de energia será $E (m \times n)$.

Assumindo que a energia consumida pela demanda final (em unidades físicas) é dada por e_y , o consumo total de energia na economia é representado por F (em que e_y e F são ambos vetores-coluna com m elementos), e i é um vetor ($n \times 1$), cujos elementos são todos números “um”,

$$Ei + e_y = F \quad (1)$$

ou seja, a soma da energia consumida pelos setores interindustriais mais o consumo da demanda final é o montante de energia consumido (e produzido) pela economia.

De posse da matriz E , é possível construir a matriz de transações interindustriais em unidades híbridas. O procedimento consiste em substituir na matriz de transações interindustriais (Z) as linhas que representam os fluxos de energia em unidades monetárias pelas linhas que representam os fluxos *físicos* de ener-

.....
³ Por exemplo, a energia usada numa planta montadora de automóveis é o requerimento direto de energia, enquanto que a energia usada na produção do material usado (pneus, motores, etc.) seria englobada no requerimento indireto de energia.

gia, obtidos com base na matriz E . Ou seja, após essa substituição, tem-se nova matriz de fluxos interindustriais (Z^*), a qual representa os fluxos interindustriais de energia em unidades físicas e os demais fluxos em unidades monetárias.

Suponha-se um modelo interregional composto por duas regiões no qual o setor 1 de cada uma delas é, por hipótese, um setor de energia primária (extração de petróleo, por exemplo), cujos fluxos de produção para os demais setores são medidos em tEP (tonelada equivalente de petróleo). As matrizes de energia e de transações interindustriais serão, respectivamente

$$E = \begin{bmatrix} tEP & tEP & tEP & tEP \\ tEP & tEP & tEP & tEP \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Z = \begin{bmatrix} \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (3)$$

e a matriz em unidades híbridas será

$$Z^* = \begin{bmatrix} tEP & tEP & tEP & tEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ tEP & tEP & tEP & tEP \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (4)$$

De maneira esquemática, se E_k , e_{ky} e F_k representarem elementos da ma-

triz de energia, pode-se definir Z^* , X^* e Y^* como

$$Z_i^* = \begin{cases} Z_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ E_i & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (5)$$

$$Y_i^* = \begin{cases} Y_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ e_{ky} & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (6)$$

$$X_i^* = \begin{cases} Y_j & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ e_{ky} & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (7)$$

Logo,

$$A^* = Z^*(\hat{X}^*)^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} \\ \frac{tEP}{\$} & \frac{\$}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{\$}{\$} \\ \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} & \frac{tEP}{tEP} & \frac{tEP}{\$} \\ \frac{\$}{tEP} & \frac{\$}{\$} & \frac{\$}{tEP} & \frac{\$}{\$} \end{bmatrix} \quad (8)$$

A matriz $(I - A^*)^{-1}$ terá as mesmas unidades de (8), porém, ela representa os requerimentos (em tEP ou unidades monetárias) por unidade (tEP ou unidades monetárias) de demanda final (requerimento total), enquanto A^* representa o requerimento por unidade de produto total (requerimento direto).

A matriz de requerimentos diretos de energia e a matriz de requerimentos totais de energia são obtidas extraindo-se, respectivamente, as linhas dos fluxos de energia de A^* e $(I - A^*)^{-1}$.

Para isso é necessário criar a matriz \hat{F}^* com dimensão $m \times n$, na qual os elementos de F^* que representam fluxos de energia são colocados ao longo da diagonal principal, e os demais elementos são zero.

$$F^* = \begin{bmatrix} tEP & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & tEP & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Ou, esquematicamente,

$$F_i^* = \begin{cases} 0 & \text{para linhas que não são fluxos de energia} \\ F_k & \text{para as linhas de fluxo de energia} \end{cases} \quad (10)$$

Dito de outro modo, a matriz F^* teria n elementos (representando o número de setores da economia, inclusive os setores energéticos) em que os elementos representativos dos setores de energia (m de n elementos) significariam o total produzido de energia (em unidades físicas) por esses setores, e os demais elementos seriam zero.

Fazendo $F^*(\hat{X}^*)^{-1}$, obtém-se um vetor de zeros e números “um”, no qual

os números “um” denotam a localização dos setores de energia.

Desse modo, pós multiplicando as matrizes de requerimentos diretos e de requerimentos totais de energia por $F^*(\hat{X}^*)^{-1}$, recuperam-se apenas os coeficientes de energia, ou seja, a intensidade de energia.

Logo, se δ representa os requerimentos diretos e α os requerimentos totais:

$$\delta = F^*(\hat{X}^*)^{-1} A^* \quad (11)$$

$$\alpha = F^*(\hat{X}^*)^{-1} (I - A^*)^{-1} \quad (12)$$

Os requerimentos indiretos de energia, γ , são obtidos da diferença entre (11) e (12), ou seja:

$$\gamma = F^*(\hat{X}^*)^{-1} [(I - A^*)^{-1} - A^*] \quad (13)$$

Assumindo que as emissões de CO_2 estão linearmente relacionadas com os requerimentos de energia, é possível obter tanto as emissões diretas de carbono como também as emissões indiretas e totais.

Seja c a matriz dos coeficientes que convertem a utilização de energia em emissões, tal que os elementos na diagonal principal sejam os coeficientes de conversão para cada setor, e os demais elementos sejam zero.

No caso do exemplo aqui adotado:

$$c = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

Logo, as emissões diretas, totais e indiretas serão, respectivamente:

$$\delta_{CO_2} = cF^*(\hat{X}^*)^{-1}A^* \quad (15)$$

$$\alpha_{CO_2} = cF^*(\hat{X}^*)^{-1}(I - A^*)^{-1} \quad (16)$$

$$\gamma_{CO_2} = cF^*(\hat{X}^*)^{-1}[(I - A^*)^{-1} - A^*] \quad (17)$$

Dada a função de produção subjacente ao modelo de insumo-produto e considerando a hipótese de que a tecnologia é concedida, a única maneira de determinado setor reduzir sua emissão é diminuir, na mesma proporção, sua produção. Isso fará, necessariamente, que sua demanda pela produção dos demais setores diminua.

O impacto total na economia, contudo, depende de como os demais setores serão capazes de lidar com a queda na demanda do setor que sofreu a restrição. Pode-se imaginar que os demais setores serão capazes de redirecionar sua produção para a demanda final, fazendo com que o impacto na atividade econômica

seja menor. Contrariamente, pode-se supor que a demanda final não será capaz de absorver a produção que antes era destinada ao setor afetado, situação que provocará maior impacto na economia.

O presente trabalho leva em consideração essas duas situações. A análise é feita, primeiramente, assumindo-se que seja imposta uma redução de 1% nas emissões de dado setor e que os demais setores sejam capazes de redirecionar sua produção para a demanda final.

Para tanto, numa economia com n setores, seja X^r o vetor-coluna cujos elementos são todos zero, exceto para o setor que sofre a redução e o elemento x_i^r é o montante da redução exigida. Logo,

$$\Delta X = X + X^r \quad (18)$$

Assim, o custo em termos do PIB da restrição sobre as emissões em dado setor pode ser medido por

$$\Delta Y = (I - A)\Delta X \quad (19)$$

Nesse caso, apenas o setor que sofre a restrição tem sua produção alterada, mas, como a demanda final pelo produto dos demais setores será maior, o impacto total na economia é menor.

Pode-se também adotar outra hipótese diametralmente oposta, ou seja, admitir que os demais setores não consi-

gam realocar sua produção para a demanda final. Nesse caso, a queda no produto é maior, visto que o impacto originado em um setor se espalha com maior intensidade em toda a economia.

Seja ΔY^0 um vetor coluna no qual todos os elementos são iguais a zero, com exceção apenas do elemento que corresponde à demanda pelo produto do setor no qual a restrição é imposta, cujo valor correspondente é obtido em (19).

O impacto intersetorial é obtido pela diferença entre a matriz de relações interindustriais Z e a matriz Z^0 , alcançada após o estabelecimento da restrição.

Esta última é encontrada calculando-se inicialmente a variação ocasionada na produção, a qual é obtida de

$$\Delta X^0 = (I - A)^{-1} \Delta Y^0 \quad (20)$$

Logo, a nova produção total será

$$X^0 = X + \Delta X^0 \quad (21)$$

Considerando que a tecnologia é dada e expressa pela matriz de coeficientes técnicos A , a matriz Z^0 é adquirida fazendo

$$Z^0 = AX^0 \quad (22)$$

A literatura costuma apontar dois tipos principais de impostos: os impostos sobre a quantidade e os impostos so-

bre o valor (conhecidos como impostos *ad valorem*). O imposto sobre a quantidade é uma taxa que incide sobre cada unidade vendida ou comprada do bem, ao passo que o imposto *ad valorem* é uma taxa expressa em unidades percentuais.

Os reflexos do estabelecimento desses tipos de imposto são assim resumidos por Varian (2003, p. 320):

[...] os impostos na verdade não devem ser encarados como recaindo sobre as empresas ou sobre os consumidores. Com efeito, os impostos constituem transações entre as empresas e os consumidores. Em geral, o imposto elevará o preço pago pelos consumidores e reduzirá o preço recebido pelas empresas. Quanto do imposto será repassado aos consumidores irá depender das características da demanda e da oferta.

O modelo de insumo-produto permite obter os efeitos nos preços de um imposto hipotético sobre as emissões. A vantagem dessa abordagem está em poder avaliar não apenas as emissões causadas diretamente por determinado setor, mas também as emissões indiretas, as quais não são propriamente emissões do setor, mas, sim, causadas pelas demandas dos outros setores. Logo, caso fosse considerado apenas um setor, não seria possível estimar os verdadeiros setores emissores.

A existência de uma ligação relativamente bem definida entre o consumo de energia e as emissões de CO₂ torna possível estabelecer uma alíquota de imposto sobre a emissão. No entanto, uma hipótese nessa análise é que, ao contrário do que usualmente ocorre, o imposto será totalmente repassado para o consumidor. Além disso, como no modelo de insumo-produto a tecnologia é dada, também não há nenhuma substituição de fatores de produção após a adoção do imposto.

Assim, a análise das mudanças nos preços após o imposto deve ser considerada uma análise de impacto, ou de curto prazo, uma vez que, no médio e longo prazos, mantido o imposto, os produtores irão migrar para tecnologias mais eficientes.

Em resumo, numa economia onde é estabelecida uma alíquota geral μ , expressa em unidades monetárias por tonelada de CO₂ emitido, e não há possibilidade de substituição de fatores após sua entrada em vigor, o imposto será totalmente repassado ao consumidor, ou seja, *os preços aumentarão na mesma proporção do conteúdo de carbono dos bens produzidos* (Labeanda e Labeaga, 2002).

Logo, fazendo

$$t = \mu \alpha_{CO_2} \quad (23)$$

em que α_{CO_2} é a intensidade total de CO₂ definida em (46), μ é a alíquota sobre a emissão de CO₂, e t é o aumento percentual nos preços decorrente do estabelecimento do imposto, pode-se interpretar t como o vetor das diferentes alíquotas *ad valorem* sobre os produtos, derivadas da aplicação de uma alíquota μ .

Finalmente, quanto aos dados que suportaram este trabalho, foram utilizadas duas bases principais: o Balanço Energético Brasileiro (BEN), publicado pelo Ministério de Minas e Energia e a matriz inter-regional de insumo-produto estimada pelo grupo de Projeções Econômicas do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) com base nas tabelas de recursos e usos do IBGE para o ano de 1999 (Guilhoto, 2003).

Como as duas bases contemplam um número diferente de setores, esses foram compatibilizados, e a agregação adotada é mostrada na Tabela 1A do Anexo.

4_ Análise dos resultados

Vista sob a ótica regional,⁴ a distribuição da atividade econômica, observada por meio do consumo intermediário, pode ser visualizada na Figura 1 do Apêndice. A figura representa a matriz de consumo intermediário, na qual os elementos com

.....
⁴ A análise para o modelo agregado (nacional) encontra-se no Anexo.

maior valor (em unidades monetárias) são representados por pontos mais altos na superfície. Como se pode observar, evidencia-se o maior vigor relativo das transações interindustriais existente nas regiões São Paulo e Resto do Sudeste.

Tal concentração, contudo, é menor quando se observa a dependência tecnológica regional, medida por intermédio dos coeficientes técnicos. A Figura 2 do Apêndice, construída segundo a mesma idéia da figura anterior, mostra a matriz dos coeficientes intra-regionais, em que os maiores coeficientes são representados por pontos mais altos. A figura deixa clara a existência de um padrão relativamente uniforme entre os coeficientes intra-regionais, embora ainda seja possível observar maior interdependência entre as regiões São Paulo e resto do Sudeste.

Valendo-se dessa estrutura produtiva, realizou-se uma simulação de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final com o objetivo de verificar os impactos nas emissões adicionais. Isso é feito no intuito de investigar como a interdependência técnica está relacionada às emissões.

Enquanto a análise nacional mostra qual o impacto sobre as emissões que cada setor exercerá para satisfazer os requerimentos totais (diretos, indiretos e induzidos) necessários para atender à demanda final, a análise regional mostra o

impacto nas emissões que cada setor localizado em dada região exercerá nos demais setores da sua região e de todas as outras regiões para satisfazer a demanda final.

Em geral, os efeitos totais nacionais constituem os valores médios para o País como um todo, e os efeitos regionais estão distribuídos ao redor do valor nacional. Os resultados para o modelo inter-regional mostraram que o efeito total nas emissões de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final parece, em geral, ser mais intenso nos setores da região Nordeste (Figura 3 do Apêndice).

Note-se que não se está afirmando que a região Nordeste seja a que mais emite CO₂ por si só, mas, sim, que a variação na produção da região Nordeste para atender à variação na demanda final faz que com ela demande uma produção adicional dos demais setores da sua região e das outras regiões. Esse aumento no produto desses setores é que exerce impacto relativamente mais intenso sobre as emissões.

Logo, os resultados parecem indicar que as emissões causadas pelos diferentes setores da atividade econômica nas seis regiões consideradas não dependem da concentração espacial do produto.⁵

Desagregando as emissões por energético utilizado e tomando-se o valor nacional como referência, pode-se avaliar quais setores de quais regiões

.....
⁵ Em 1999 a região Sudeste era responsável por pouco mais de 58% do produto interno bruto e apenas o Estado de São Paulo concentrava praticamente 35% da riqueza produzida no Brasil. Na região Sul se produzia 17,7% do produto, enquanto Norte, Nordeste e Centro-Oeste eram responsáveis por 4,5, 13,1 e 6,5%, respectivamente (IBGE, 2003a).

contribuem mais intensamente para o aumento das emissões.

A Tabela 1 mostra as emissões totais originadas de cada setor em cada região e a diferença em relação ao valor obtido para o Brasil. Desse modo, todo setor que apresentar valor positivo na coluna diferença estará contribuindo para a elevação do valor médio das emissões totais daquele setor. De igual modo, todo setor cuja diferença foi negativa está emitindo menos que o valor típico do setor na economia.

Os resultados indicaram que as emissões totais estão concentradas nos setores da região Nordeste e Sul. São elas que contribuem com mais intensidade para a elevação das emissões. Nas demais regiões, apenas setores específicos tendem a ser responsáveis por emissões acima do valor médio do setor na economia como um todo. Na região Norte, destaca-se a Produção de Energia não Hidráulica; no Centro-Oeste, o setor Outros Transportes; na região São Paulo, os setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário, Refino de Petróleo e Outros Transportes, e no Resto do Sudeste aparece o setor Petróleo e Outros.

Mais que destacar os setores, a responsabilidade final sobre as emissões em cada setor é mais útil ao formulador de política. Tal abordagem permite tratar da causa primeira das emissões, e não apenas

das emissões decorrentes. Tendo isso em vista, o trabalho mensurou o efeito nas emissões adicionais totais do aumento da produção destinado a atender diretamente à demanda final (efeito direto), ao consumo intermediário (efeito indireto) e ao consumo das famílias (efeito induzido). No entanto, é preciso considerar os resultados com cautela, na medida em que os modelos de insumo-produto, dada sua linearidade, tendem a minimizar os efeitos da demanda final, concentrando-se no consumo intermediário.

No caso do uso do gás natural, a concentração dos efeitos diretos no setor Refino de Petróleo, observada no caso nacional, é devida às regiões Nordeste, São Paulo e Sul (Figura 4 do Apêndice). Os resultados nacionais também mostraram que os efeitos originados da produção realizada para atender ao consumo interindustrial eram mais concentrados nos setores de Produção de Energia não Hidráulica e Transportes. No caso da Produção de Energia, a maior concentração tem origem na região Norte, seguida da região Nordeste. Em relação aos Transportes, o quadro se mostrou mais homogêneo, sem o predomínio acentuado de nenhuma região. No entanto, as emissões adicionais geradas por conta do efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias têm padrão de concentração maior no Nordeste em todos os setores.

Tabela 1_ Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil

(continua)

		Gás natural	Diferença	Álcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
Morte	1. Agropecuária	9,55	-1,55	6,29	-0,02	133,00	-2,09	148,84	-3,65
	2. Mineração e pelotização	14,09	-0,33	6,67	0,00	178,59	3,14	199,34	2,80
	3. Petróleo e outros	10,61	-10,87	9,87	-6,43	160,95	-100,46	181,43	-117,77
	4. Minerais não metálicos	10,34	-3,77	5,78	-0,54	139,11	-32,58	155,22	-36,90
	5. Metalurgia	7,12	-2,11	5,44	-0,50	99,27	-12,97	111,83	-15,59
	6. Papel e celulose	8,12	-1,91	6,61	-0,39	116,10	-5,85	130,83	-8,16
	7. Química	4,79	-2,44	4,89	-1,11	69,48	-18,51	79,16	-22,06
	8. Álcool	6,65	-12,44	7,30	-9,94	100,81	-131,39	114,76	-153,77
	9. Refino de petróleo	0,97	-92,07	0,08	-5,75	1,64	-131,69	2,69	-229,50
	10. Têxtil e vestuário	4,98	-2,84	4,23	-1,67	72,19	-22,90	81,39	-27,41
	11. Alimentos e bebidas	8,51	-1,47	6,48	-0,19	115,83	-5,61	130,82	-7,26
	12. Outros produtos	4,82	-2,88	4,46	-1,56	69,78	-23,88	79,06	-28,32
	13. S.I.U.P.	8,80	-0,10	6,49	-0,13	124,07	16,14	139,36	15,91
	14. Produção de energia não hidráulica	61,01	32,61	8,01	1,25	694,45	390,00	763,47	423,86
	15. Comércio e serviços	6,95	-1,92	11,78	-0,77	107,29	-0,67	126,02	-3,36
	16. Transporte rodoviário	28,42	-3,77	8,51	-0,02	357,02	-34,97	393,95	-38,75
	17. Outros transportes	25,08	-0,38	8,01	-0,05	311,94	1,93	345,03	1,50
	18. Administração pública	8,72	-3,79	9,82	-0,43	145,80	-6,46	164,33	-10,70
Nordeste	1. Agropecuária	23,46	12,36	12,29	5,98	231,12	96,03	266,87	114,38
	2. Mineração e pelotização	29,65	15,23	13,56	6,89	288,01	112,56	331,22	134,68
	3. Petróleo e outros	31,47	9,99	19,32	3,02	310,30	48,89	361,09	61,89
	4. Minerais não metálicos	28,81	14,70	13,12	6,80	278,24	106,55	320,17	128,05
	5. Metalurgia	18,92	9,69	10,79	4,85	189,06	76,82	218,77	91,35
	6. Papel e celulose	21,56	11,53	12,66	5,66	211,27	89,32	245,49	106,50
	7. Química	17,12	9,89	10,52	4,52	168,79	80,80	196,43	95,21
	8. Álcool	46,75	27,66	31,51	14,27	458,63	226,43	536,89	268,36
	9. Refino de petróleo	144,51	51,47	17,06	11,23	323,96	190,63	485,53	253,34

Tabela 1_ Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil

(continua)

		Gás natural	Diferença	Álcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
Nordeste	10. Têxtil e vestuário	17,05	9,23	10,44	4,54	168,54	73,45	196,03	87,23
	11. Alimentos e bebidas	20,71	10,73	11,97	5,30	206,37	84,93	239,05	100,97
	12. Outros produtos	20,37	12,67	12,73	6,71	200,72	107,06	233,82	126,44
	13. S.I.U.P.	22,41	13,51	13,46	6,84	219,86	111,93	255,73	132,28
	14. Produção de energia não hidráulica	31,47	3,07	14,00	7,24	302,52	-1,93	347,99	8,38
	15. Comércio e serviços	21,83	12,96	18,74	6,19	216,18	108,22	256,75	127,37
	16. Transporte rodoviário	49,81	17,62	14,98	6,45	473,66	81,67	538,45	105,75
	17. Outros transportes	42,27	16,81	14,47	6,41	402,76	92,75	459,51	115,98
	18. Administração pública	22,88	10,37	14,69	4,44	225,87	73,61	263,44	88,41
Centro-Oeste	1. Agropecuária	9,33	-1,77	3,91	-2,40	114,85	-20,24	128,08	-24,41
	2. Mineração e pelotização	8,71	-5,71	4,12	-2,55	110,42	-65,03	123,25	-73,29
	3. Petróleo e outros	0,67	-20,81	0,83	-15,47	11,43	-249,98	12,93	-286,27
	4. Minerais não metálicos	12,69	-1,42	4,67	-1,65	155,09	-16,60	172,45	-19,67
	5. Metalurgia	7,61	-1,62	5,19	-0,75	104,05	-8,19	116,84	-10,58
	6. Papel e celulose	7,52	-2,51	5,71	-1,29	104,00	-17,95	117,24	-21,75
	7. Química	5,61	-1,62	5,11	-0,89	77,61	-10,38	88,33	-12,89
	8. Álcool	13,97	-5,12	12,74	-4,50	169,84	-62,36	196,55	-71,98
	9. Refino de petróleo	9,00	-84,04	0,53	-5,30	12,55	-120,78	22,08	-210,11
	10. Têxtil e vestuário	6,04	-1,78	5,37	-0,53	84,41	-10,68	95,83	-12,97
	11. Alimentos e bebidas	8,32	-1,66	4,74	-1,93	104,06	-17,38	117,12	-20,96
	12. Outros produtos	5,68	-2,02	5,31	-0,71	81,95	-11,71	92,95	-14,43
	13. S.I.U.P.	5,73	-3,17	4,47	-2,15	81,54	-26,39	91,74	-31,71
	14. Produção de energia não hidráulica	17,54	-10,86	2,90	-3,86	203,45	-101,00	223,89	-115,72
	15. Comércio e serviços	5,68	-3,19	11,72	-0,83	82,44	-25,52	99,84	-29,54
	16. Transporte rodoviário	31,02	-1,17	7,78	-0,75	382,03	-9,96	420,83	-11,87
	17. Outros transportes	26,09	0,63	7,17	-0,89	326,19	16,18	359,45	15,92
	18. Administração pública	8,56	-3,95	8,94	-1,31	132,82	-19,44	150,33	-24,70

Tabela 1_ Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil

(continua)

		Gás natural	Diferença	Álcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
São Paulo	1. Agropecuária	8,79	-2,31	4,84	-1,47	96,69	-38,40	110,31	-42,18
	2. Mineração e pelotização	14,55	0,13	5,74	-0,93	158,45	-17,00	178,74	-17,80
	3. Petróleo e outros	4,15	-17,33	2,78	-13,52	45,38	-216,03	52,31	-246,89
	4. Minerais não metálicos	15,69	1,58	5,69	-0,63	170,71	-0,98	192,09	-0,03
	5. Metalurgia	9,56	0,33	5,60	-0,34	107,01	-5,23	122,18	-5,24
	6. Papel e celulose	10,32	0,29	6,54	-0,46	115,73	-6,22	132,59	-6,40
	7. Química	7,26	0,03	5,72	-0,28	81,23	-6,76	94,21	-7,01
	8. Álcool	20,00	0,91	16,66	-0,58	221,20	-11,00	257,86	-10,67
	9. Refino de petróleo	107,09	14,05	6,01	0,18	144,71	11,38	257,81	25,62
	10. Têxtil e vestuário	7,68	-0,14	5,04	-0,86	85,19	-9,90	97,90	-10,90
	11. Alimentos e bebidas	10,15	0,17	6,35	-0,32	115,08	-6,36	131,59	-6,49
	12. Outros produtos	7,89	0,19	5,55	-0,47	88,30	-5,36	101,74	-5,64
	13. S.I.U.P.	8,21	-0,69	5,35	-1,27	90,25	-17,68	103,81	-19,64
	14. Produção de energia não hidráulica	46,12	17,72	6,15	-0,61	494,48	190,03	546,74	207,13
	15. Comércio e serviços	8,53	-0,34	11,62	-0,93	93,98	-13,98	114,13	-15,25
	16. Transporte rodoviário	38,86	6,67	7,86	-0,67	417,54	25,55	464,27	31,57
	17. Outros transportes	29,46	4,00	7,34	-0,72	317,67	7,66	354,48	10,95
	18. Administração pública	12,87	0,36	9,52	-0,73	141,20	-11,06	163,59	-11,44
Resto do Sudeste	1. Agropecuária	10,44	-0,66	5,67	-0,64	136,19	1,10	152,30	-0,19
	2. Mineração e pelotização	14,86	0,44	6,32	-0,35	172,19	-3,26	193,37	-3,17
	3. Petróleo e outros	23,76	2,28	19,26	2,96	311,59	50,18	354,61	55,41
	4. Minerais não metálicos	13,14	-0,97	5,80	-0,52	155,72	-15,97	174,66	-17,46
	5. Metalurgia	8,71	-0,52	5,33	-0,61	106,39	-5,85	120,42	-7,00
	6. Papel e celulose	8,53	-1,50	6,33	-0,67	110,33	-11,62	125,19	-13,80
	7. Química	6,63	-0,60	5,43	-0,57	85,58	-2,41	97,64	-3,58
	8. Álcool	13,41	-5,68	14,14	-3,10	194,52	-37,68	222,08	-46,45
	9. Refino de petróleo	41,94	-51,10	2,95	-2,88	65,09	-68,24	109,98	-122,21

Tabela 1_ Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil

(conclusão)

		Gás natural	Diferença	Álcool	Diferença	Derivados de petróleo	Diferença	Total	Diferença
Resto do Sudeste	10. Têxtil e vestuário	6,65	-1,17	5,41	-0,49	87,91	-7,18	99,96	-8,84
	11. Alimentos e bebidas	8,82	-1,16	5,98	-0,69	112,56	-8,88	127,36	-10,72
	12. Outros produtos	6,40	-1,30	5,43	-0,59	84,99	-8,67	96,82	-10,56
	13. S.I.U.P.	6,94	-1,96	5,92	-0,70	95,34	-12,59	108,20	-15,25
	14. Produção de energia não hidráulica	22,64	-5,76	6,53	-0,23	188,72	-115,73	217,89	-121,72
	15. Comércio e serviços	6,95	-1,92	11,40	-1,15	95,43	-12,53	113,78	-15,60
	16. Transporte rodoviário	30,47	-1,72	8,33	-0,20	352,61	-39,38	391,41	-41,29
	17. Outros transportes	25,09	-0,37	7,94	-0,12	291,00	-19,01	324,02	-19,51
18. Administração pública	9,43	-3,08	9,45	-0,80	140,03	-12,23	158,91	-16,12	
Sul	1. Agropecuária	11,94	0,84	6,80	0,49	137,05	1,96	155,79	3,30
	2. Mineração e pelotização	17,68	3,26	7,65	0,98	204,26	28,81	229,59	33,05
	3. Petróleo e outros	25,67	4,19	19,17	2,87	296,72	35,31	341,56	42,36
	4. Minerais não metálicos	16,09	1,98	7,02	0,70	184,76	13,07	207,87	15,75
	5. Metalurgia	10,75	1,52	6,98	1,04	123,70	11,46	141,43	14,01
	6. Papel e celulose	11,27	1,24	7,58	0,58	129,61	7,66	148,46	9,47
	7. Química	7,92	0,69	6,05	0,05	91,36	3,37	105,33	4,11
	8. Álcool	20,46	1,37	17,83	0,59	235,67	3,47	273,96	5,43
	9. Refino de petróleo	99,47	6,43	6,74	0,91	148,30	14,97	254,52	22,33
	10. Têxtil e vestuário	8,83	1,01	6,55	0,65	101,49	6,40	116,86	8,06
	11. Alimentos e bebidas	11,01	1,03	6,96	0,29	126,43	4,99	144,39	6,31
	12. Outros produtos	8,99	1,29	6,91	0,89	103,43	9,77	119,34	11,96
	13. S.I.U.P.	9,67	0,77	7,55	0,93	112,07	4,14	129,29	5,84
	14. Produção de energia não hidráulica	9,57	-18,83	7,10	0,34	111,54	-192,91	128,21	-211,40
	15. Comércio e serviços	10,05	1,18	13,82	1,27	116,11	8,15	139,97	10,59
	16. Transporte rodoviário	37,35	5,16	9,34	0,81	421,53	29,54	468,22	35,52
	17. Outros transportes	28,24	2,78	9,01	0,95	325,85	15,84	363,10	19,57
	18. Administração pública	13,58	1,07	10,98	0,73	157,52	5,26	182,07	7,04

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados nacionais das emissões adicionais para o uso de álcool mostraram a importância relativa do efeito do consumo das famílias, e os efeitos diretos localizavam-se basicamente nos setores Álcool e Comércio e Serviços. Vistos sob a ótica regional, os resultados revelam que não há também aqui uma região que apresente predomínio destacado em relação as demais (Figura 5 do Apêndice).

As emissões adicionais causadas pela produção que atende ao consumo intermediário também não podem ser atribuídas de modo mais destacado a nenhuma região específica, exceto no caso do setor Petróleo e Outros, em que se observa a influência importante das regiões Resto do Sudeste e Sul.

Para as emissões originadas do consumo de derivados de petróleo, os efeitos diretos estavam mais concentrados no setor Transporte Rodoviário, Produção de Energia não Hidráulica e Outros Transportes. Para o caso dos transportes, os resultados mostraram, tal como observado no caso do álcool, que não há uma região que possa ser apontada como responsável principal pelas emissões. No caso da produção de energia, os efeitos diretos nas emissões encontram origem maior nas regiões Norte e Nordeste (Fi-

gura 6 do Apêndice). Para os efeitos do consumo intermediário, as considerações são idênticas.

Os dados, tal como apresentados até aqui, permitem observar os efeitos diretos, indiretos e induzidos com uma visão mais panorâmica, isto é, com base neles pode-se inferir a magnitude desse impacto tanto em relação aos mesmos setores das demais regiões quanto aos outros setores de toda a economia.

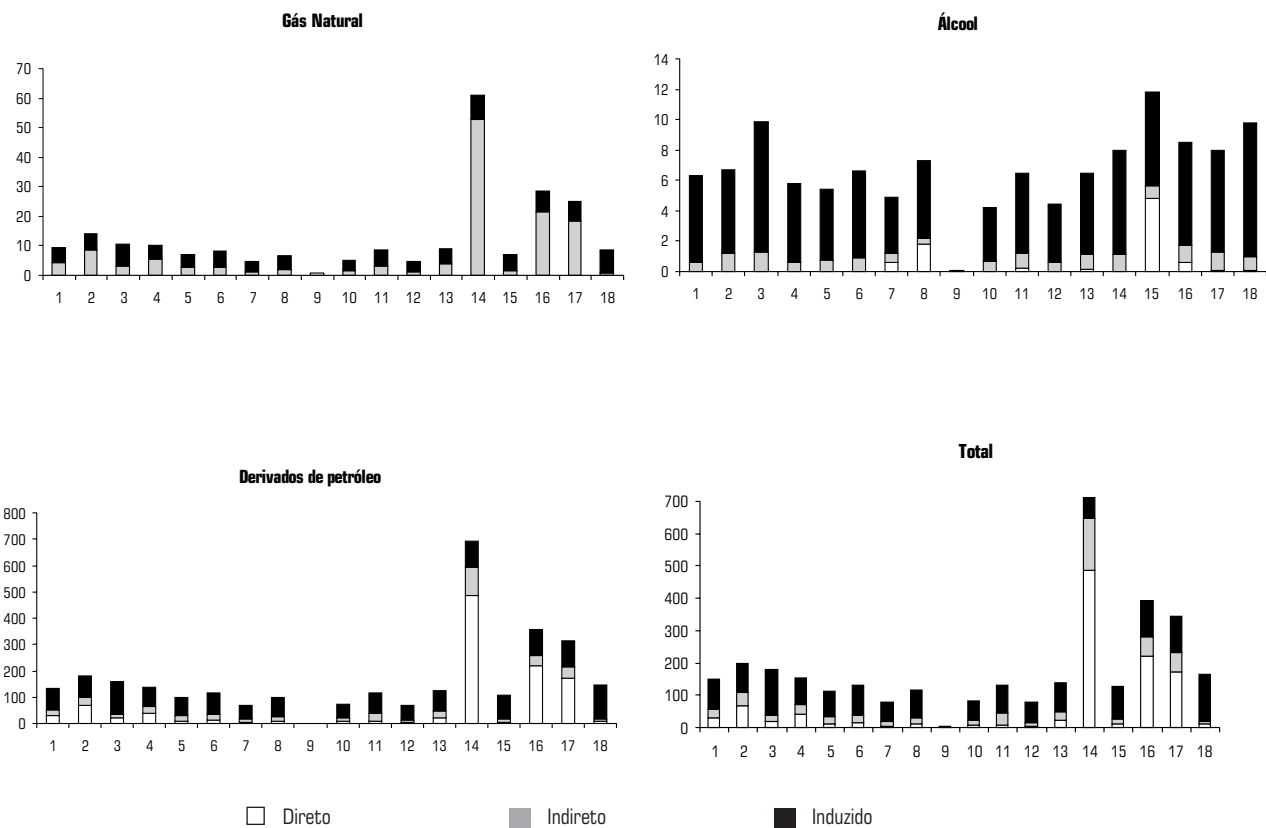
Os mesmos dados podem ser reorganizados com o objetivo de mostrar para cada setor em cada região a importância dos efeitos diretos, indiretos e induzidos (Figuras 1 a 3).

Do ponto de vista da formulação de eventuais políticas de controle de emissões, os resultados revelaram que em todas as regiões elas devem ser atribuídas em última análise aos efeitos do aumento na produção sobre o consumo das famílias, ou seja, é a produção adicional gerada para atender a esse consumo que tem impacto relativamente maior nas emissões adicionais.

Portanto, eventuais políticas de controle de emissão deveriam ser concentradas nos produtos de consumo das famílias, principalmente nas regiões Nordeste e Sul.

Figura 1_ Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Norte e Nordeste

(continua)

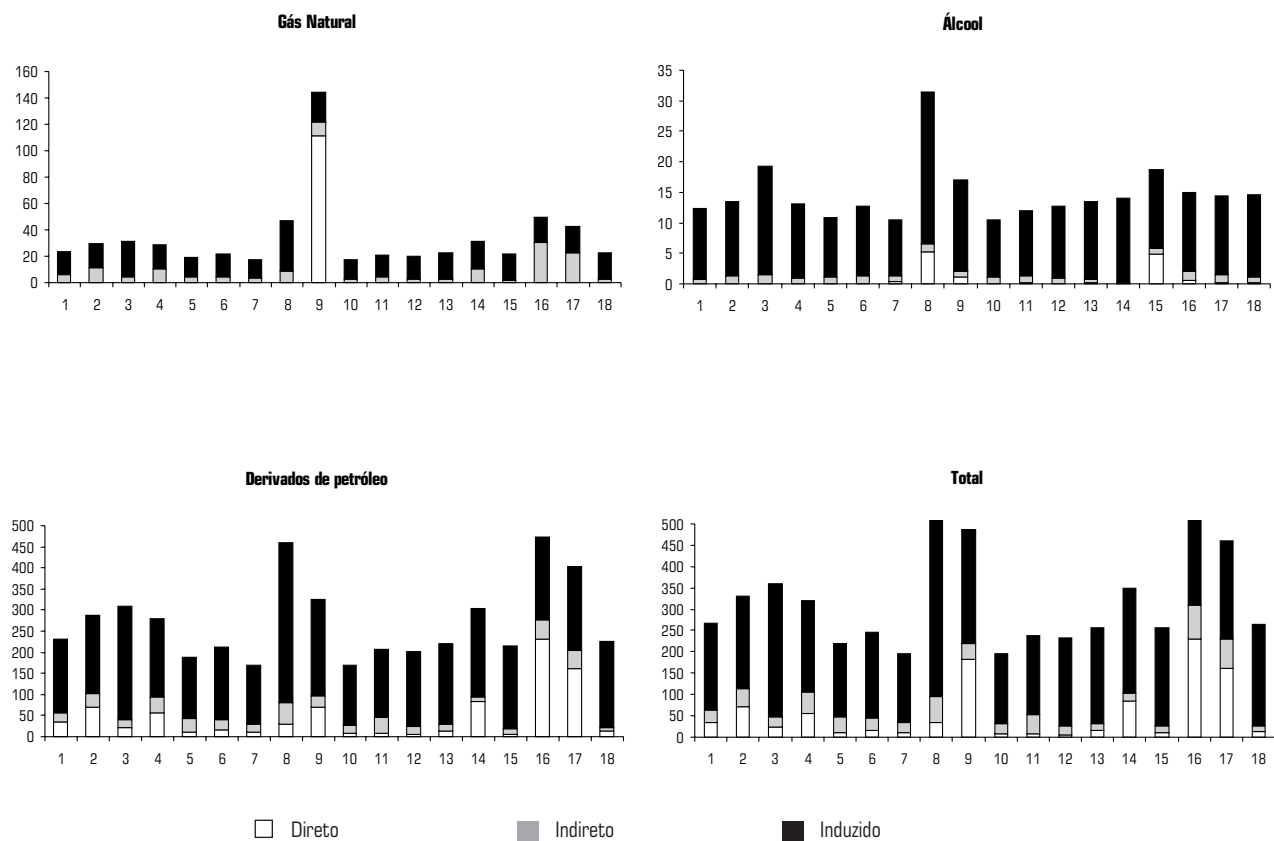


(a) Norte

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 1_ Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Norte e Nordeste

(conclusão)

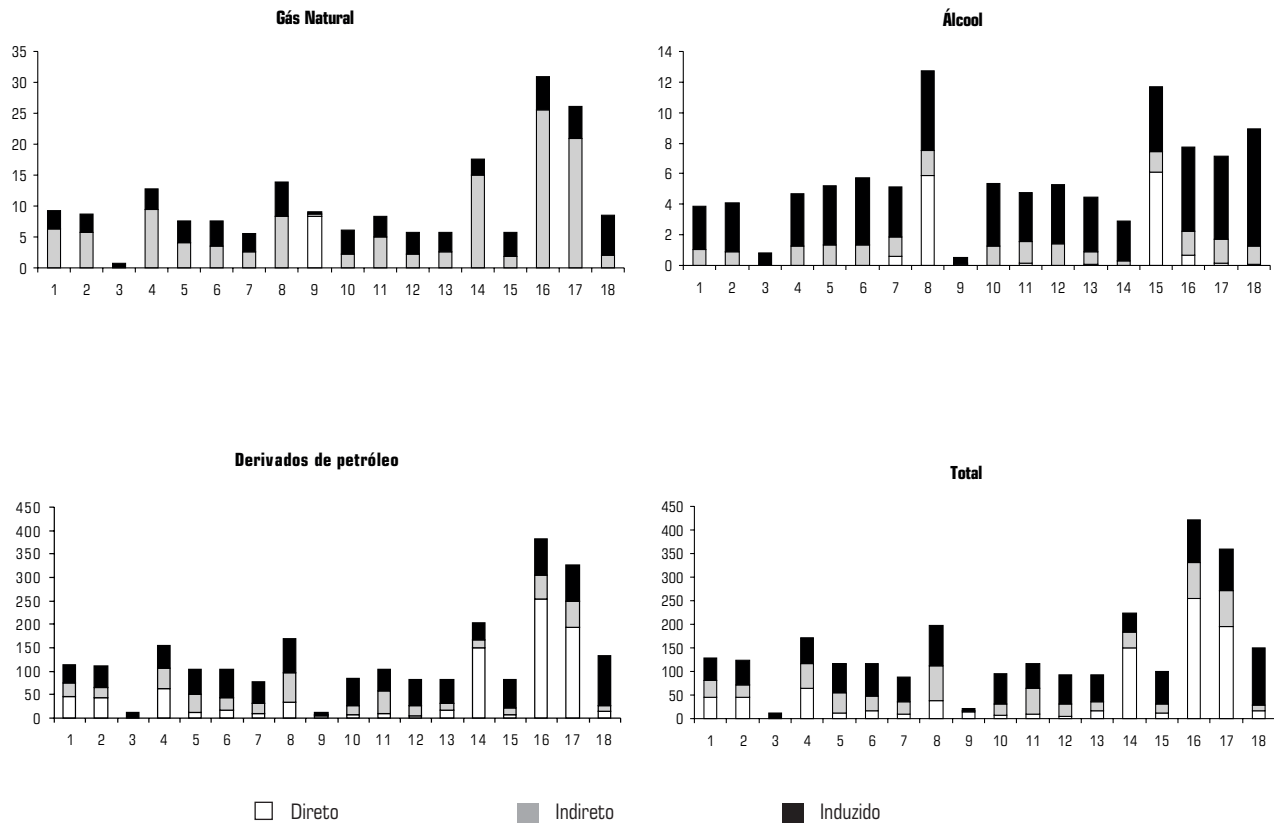


(b) Nordeste

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2_ Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Centro-Oeste e São Paulo

(continua)

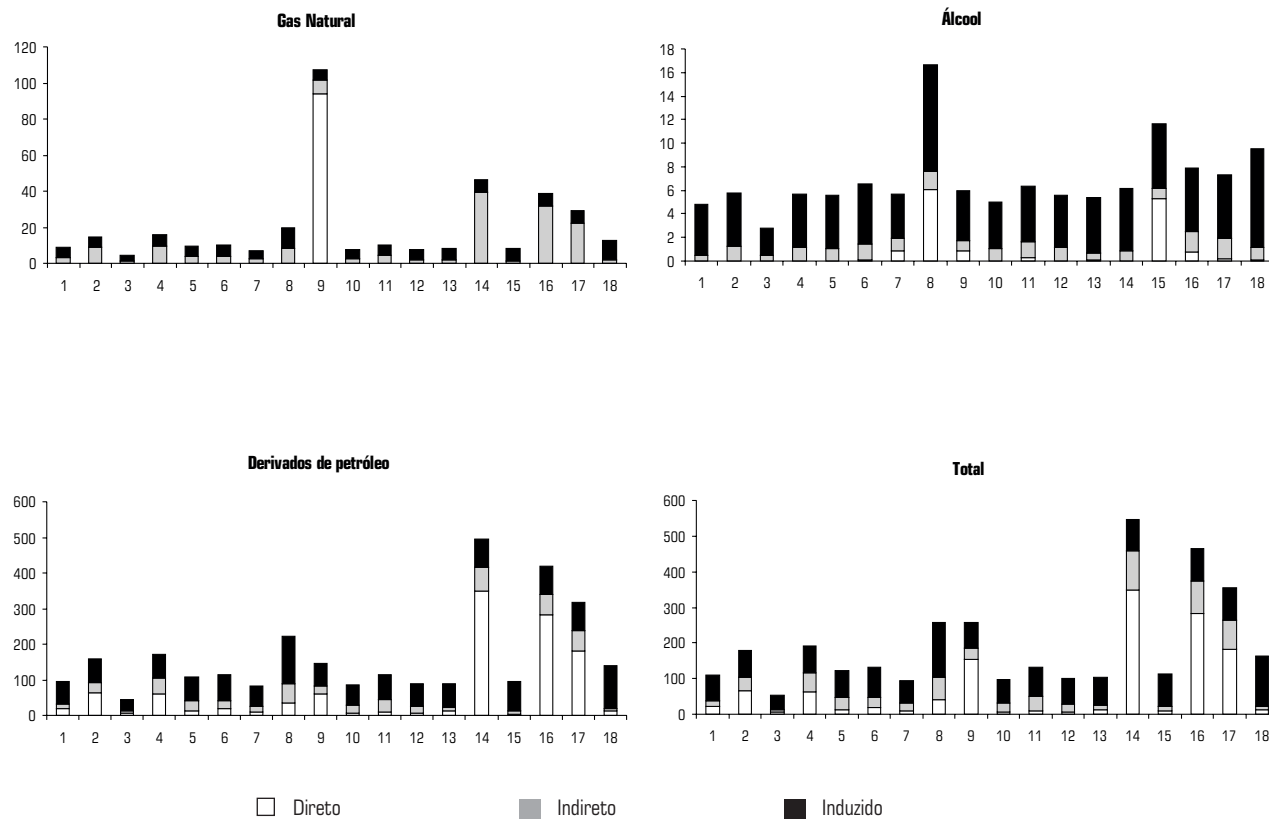


(a) Centro-Oeste

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2_ Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Centro-Oeste e São Paulo

(conclusão)

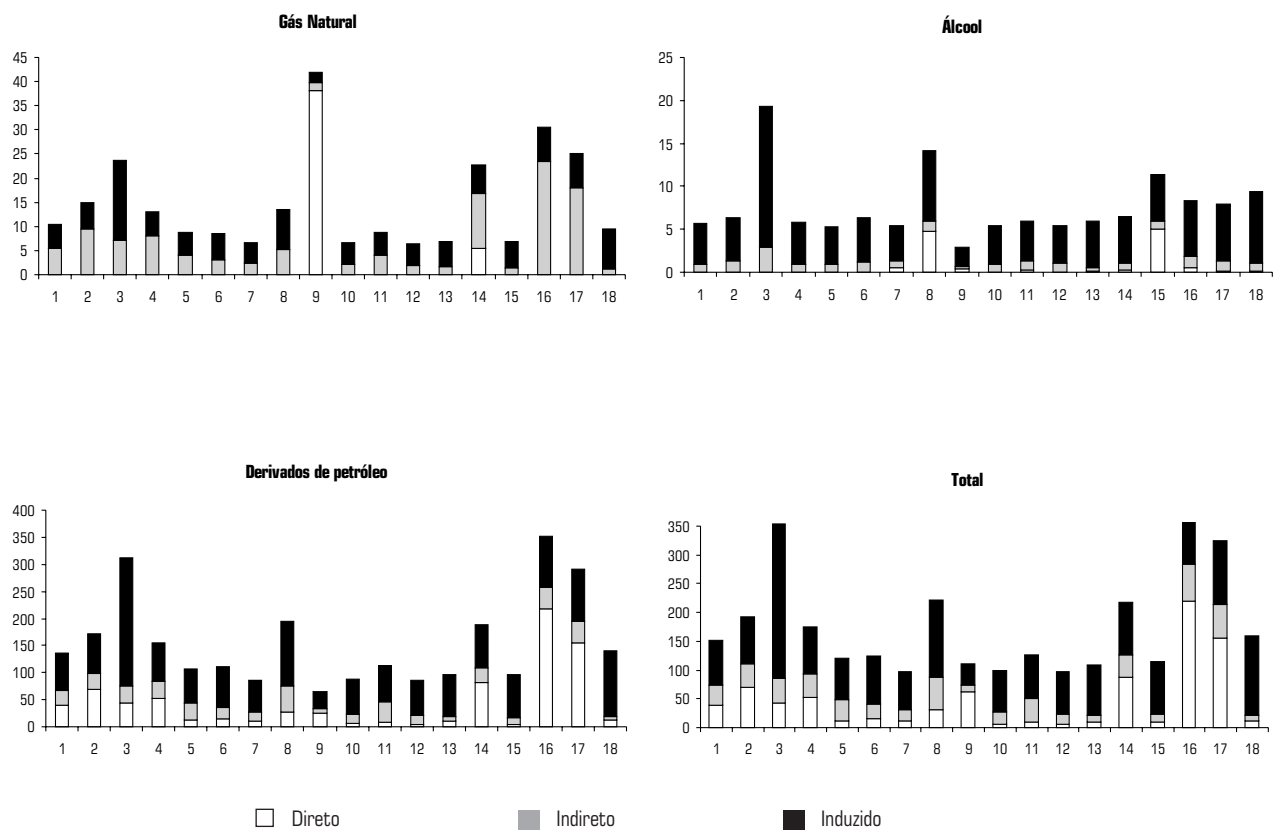


(b) São Paulo

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 3_ Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Resto do Sudeste e Sul

(continua)

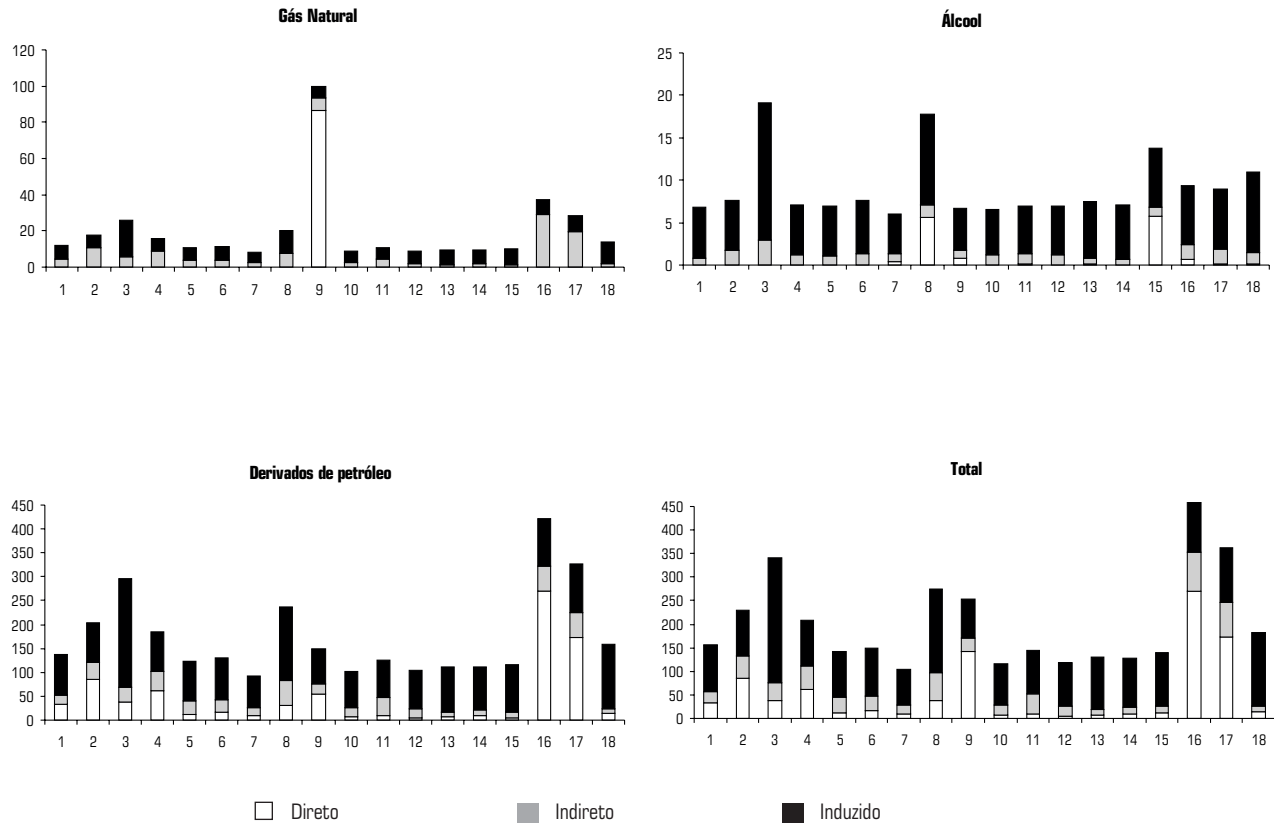


(a) Resto do Sudeste

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 3_ Emissões por insumo utilizado e por setor nas regiões Resto do Sudeste e Sul

(conclusão)



(b) Sul

Fonte: Dados da pesquisa.

Para verificar os efeitos regionais do controle de emissões, inicialmente adotou-se uma restrição de 1% sobre o nível atual de emissões de determinado setor em cada região do modelo.

Os resultados obtidos, assumindo que os demais setores produtivos vão conseguir redirecionar sua produção, antes destinada ao setor que sofre a restrição, para a demanda final, são mostrados na Figura 7 do Apêndice.

A distribuição das perdas entre os setores parece seguir o mesmo padrão do caso nacional, mas mostra também que perdas do produto são mais intensas quando se estabelecem restrições sobre os setores da região São Paulo, exceto para o setor Agropecuária, em que o impacto é maior a partir da restrição imposta ao setor localizado na região Sul. A maior queda do produto observada na região São Paulo pode ser parcialmente explicada pela importância relativa de suas ligações intersetoriais com o restante da economia, de tal sorte que, quando um setor dessa região é afetado, o restante da economia o é de modo mais intenso.

A Figura 8 do Apêndice mostra que o panorama geral é o mesmo quando se adota a hipótese de que os demais setores não conseguem redirecionar sua produção para a demanda final. Também

aqui a queda no produto é mais acentuada e, em geral, maior a partir da região São Paulo.

5_ Conclusões

Em anos recentes, tem-se observado que o Brasil vem apresentando taxas de crescimento de emissões bastante significativas, as quais parecem estar ligadas, considerando os insumos energéticos aqui estudados, ao aumento do uso do gás natural e, de outro lado, à queda relativa na utilização do álcool.

A melhor compreensão da relação entre os problemas das emissões e a atividade econômica é importante para a formulação de políticas ambientais que caminhem para controlar o efeito estufa.

Nesse sentido, este trabalho contribuiu na direção de mapear a intensidade de carbono na economia brasileira, identificando os setores-alvo para eventuais políticas e, ao mesmo tempo, quantificando o impacto no produto e no emprego de algumas alternativas de controle de emissões.

Portanto, a principal contribuição consiste em fornecer ao formulador de política informações para a tomada de decisão quanto a melhor estratégia de controle de emissões, tanto em âmbito nacio-

nal quanto internacional, possibilitando identificar os setores-chave nas emissões e os custos envolvidos numa eventual política de controle. Obviamente, tais resultados são fruto do modelo utilizado, e o formulador deve ter em conta as limitações originadas da linearidade dos modelos de insumo-produto.

Não obstante, os resultados revelaram que as emissões em todas as regiões devem ser atribuídas em última análise aos efeitos do aumento na produção sobre o consumo das famílias e que as políticas de controle deveriam ser concentradas nos produtos que atendem a esse consumo, principalmente nas regiões Nordeste e Sul.

Também é importante ressaltar que a metodologia de insumo-produto supõe que a tecnologia é dada. Logo, não é possível captar os efeitos da substituição de insumos energéticos que poderiam reduzir os custos de mitigação.

A discussão acerca de qual política deveria ser adotada e de como ela poderia ser implementada é um avanço que poderia ser discutido em trabalhos futuros. Também seria de interesse para a agenda de pesquisa considerar as possibilidades de uso mais intensivo do álcool, haja vista seu menor coeficiente de emis-

são *vis-à-vis* os demais insumos energéticos aqui considerados.

Na mesma linha, seria importante também caminhar na direção da obtenção de melhores informações acerca desse combustível, além de considerar os mecanismos de abatimento da poluição presentes em toda a economia.

Referências bibliográficas

- ALCÁNTARA, V.; PADILLA, E. “Key” sectors in final energy consumption: an input-output application to the Spanish case. *Energy economics*, n. 31, p. 1673-1678, 2003.
- BNDES. *Efeito estufa e a convenção sobre mudança do clima*. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/quoto/pdf/bndes.pdf>. Acesso em: 05 ago 2002.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. *Balço energético nacional*. Brasília, 2002. 200p.
- CASLER, S. D.; BLAIR, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. *Ecological Economics*, n. 22, p. 19-27, 1997.
- CEBDS. *Mecanismo de desenvolvimento limpo*. Disponível em: <http://www.cebds.com.br/publicacoes/mdl.pdf>. Acesso em: 02 set. 2002.
- FORSSEL, O.; POLENSKE, K. Introduction: Input-output and the environment. *Economic Systems Research*, v. 10, n. 2, p. 91-97, 1998.
- GUILHOTO, J. J. M.; LOPES, R.L.; SEROA DA MOTTA, R. *Impactos ambientais e regionais de cenários de crescimento da economia brasileira – 2002-2012*. Rio de Janeiro: IPEA, 2002. 17p. (Texto para discussão, 892).
- GUILHOTO, J. J. M. *Matrizes insumo-produto regionais para a economia brasileira*. Piracicaba: CEPEA, 2003. 403p. (Texto para discussão)
- 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.
- IBGE. *Contas regionais do Brasil 2001*. Rio de Janeiro: IBGE, 2003a. 112p.
- IBGE. *Sistema de contas nacionais 2000-2002*. Rio de Janeiro: IBGE, 2003b, 210p.
- IPEA. IPEADATA. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 05 mar. 2004.
- 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.
- MILLER, R; BLAIR, P. *Input-output analysis: foundations and extensions*. New Jersey: Prentice-Hall, 1985. 464p.
- RIBEIRO, S. K. *O álcool e o aquecimento global*. Rio de Janeiro: CNI/COINFRA/COOPERSUCAR, 1997. 112p.
- TOURINHO, O. A. F.; ANDRADE, S. C. *Cenários para o início do milênio no Brasil*. Rio de Janeiro: IPEA, abr. 1998. mimeo.
- TOURINHO, O. A. F.; SEROA DA MOTTA, R; ALVES, Y. L. B. *Uma aplicação ambiental de um modelo de equilíbrio geral*. Rio de Janeiro: IPEA, 2003. 44p. (Texto para discussão, 976).
- VAN VUUREN, D.; DEN ELZEN, M.; BERK, M. *et al.* An evaluation of the level of ambition and implications of the Bush Climate Change Initiative. *Climate Policy*, v. 2, p. 293-301, 2002.
- VARIAN, H. R. *Microeconomia: princípios básicos*. Rio de Janeiro: Campus, 2003.

.....
 * **E-mail de contato dos autores:**
 * ehilgemberg@uepg.br
 * guilhoto@usp.br

Anexo

De acordo com o IBGE (2003b), no ano de 1999, a Agropecuária representou 8,25% do valor adicionado a preços básicos; a Indústria, 34,62%, e os Serviços, 60,86%. As relações interindustriais medidas pelo consumo intermediário que deram origem a esses números são mostradas na Figura 9 do Apêndice, considerando os 18 setores enumerados na Tabela 1A.

No entanto, para que se possa melhor compreender a inter-relação tecnológica entre os setores, a qual é subjacente a toda a análise das emissões, os coeficientes técnicos devem ser observados.

A Figura 10 do Apêndice mostra esses coeficientes, refletindo a forte dependência relativa dos demais setores em relação ao setor Comércio e Serviços.

A.1_ O impacto nas emissões de um aumento na demanda final

Para avaliar a relação dessa estrutura de produção com as emissões originadas do uso de gás natural, álcool e derivados de petróleo, foi realizada uma simulação

de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final.

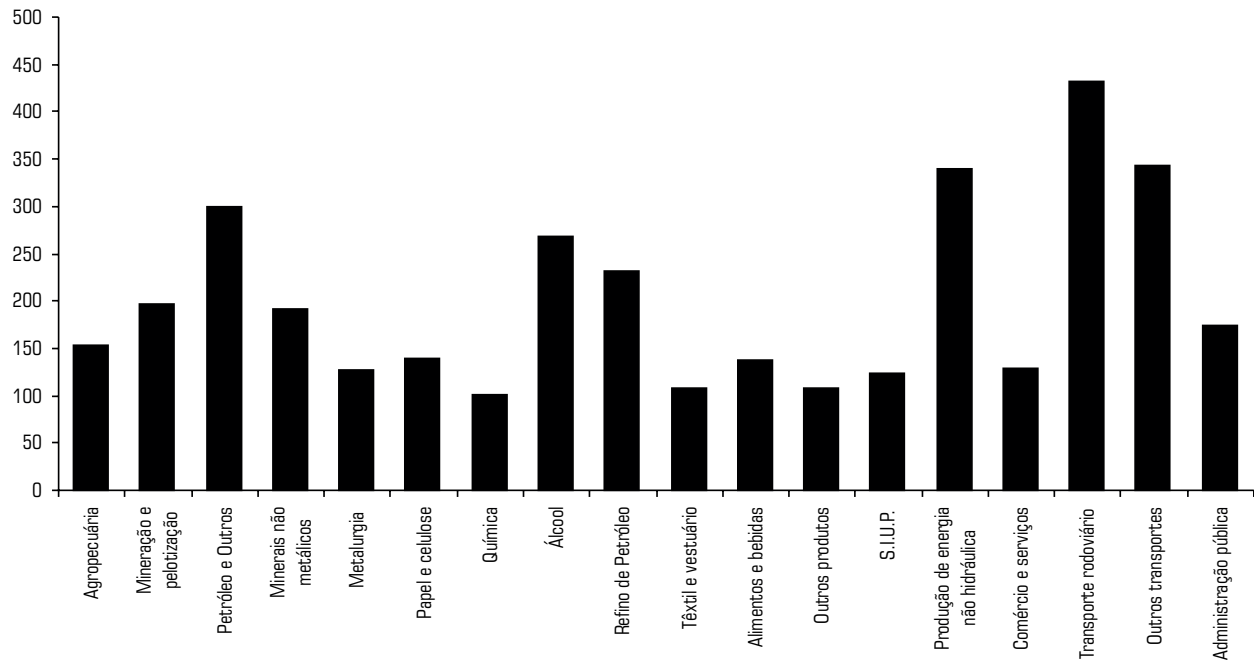
A Figura 1A mostra as emissões adicionais totais na economia. Considerando que a média por setor é da ordem de 200 toneladas de CO₂ adicionais, pode-se observar que os setores Transporte Rodoviário, Outros Transportes, Produção de Energia não Hidráulica, Petróleo e Outros, Álcool e Refino de Petróleo são aqueles que mais contribuem para o total.

Desagregando-se as emissões totais por combustível utilizado, os resultados mostraram que a maior parte do efeito total nas emissões é originada do consumo de derivados de petróleo (Figura 2A).

Dado que a média das emissões adicionais de gás natural, álcool e derivados de petróleo é de 19 toneladas, 8,3 toneladas e 173 toneladas de CO₂, respectivamente, são basicamente os mesmos setores enumerados acima aqueles que mais contribuem para esses valores.

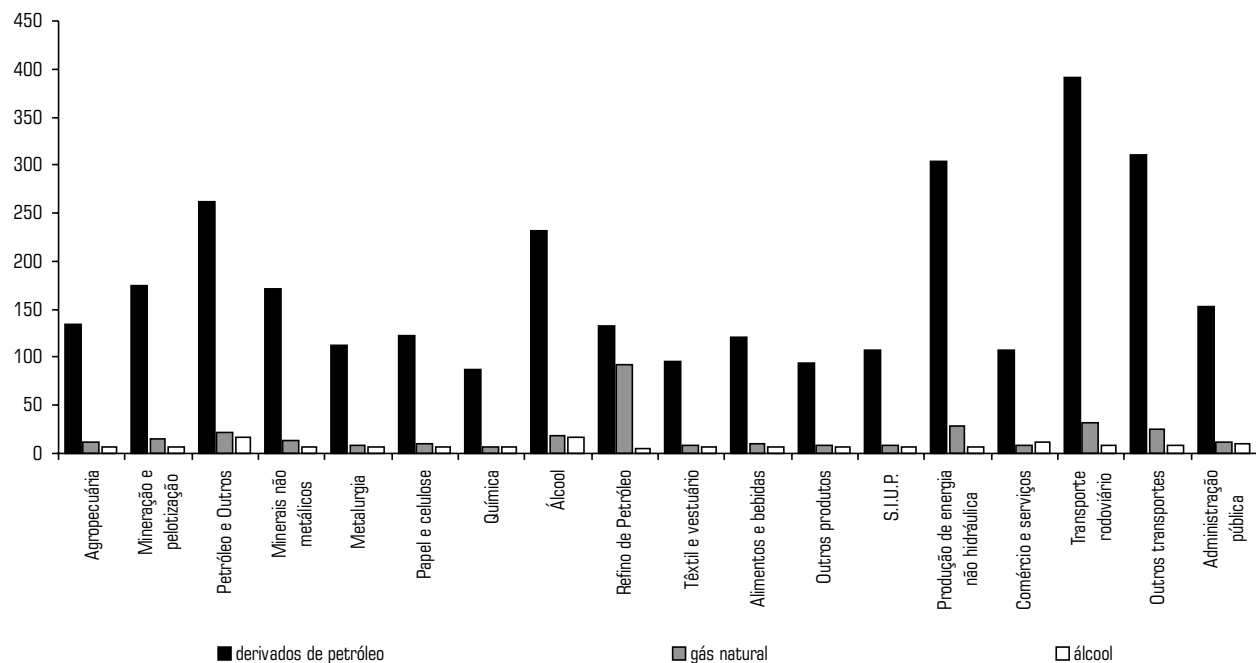
Tabela 1A_ Emissões totais (em ton. de CO₂) e diferença em relação ao valor do Brasil

1	Agropecuária	29	Indústria do mobiliário	51	Fabricação de óleos vegetais	67	Comércio varejista de combustíveis
1	Cana-de-açúcar	30	Fabricação de celulose e pasta mecânica	52	Rações	68	Comércio varejista de veículos, peças e acessórios
2	Soja	31	Fabricação de papel, papelão e artefatos de papel	53	Outros produtos alimentares	69	Supermercados
3	Milho	32	Indústria editorial e gráfica	54	Bebidas	70	Outros comércios varejistas
4	Fruticultura	7	Química	12	Outros produtos	76	Serviços de telefonia móvel
5	Outras culturas	35	Outros elementos químicos	21	Máquinas e implementos agrícolas	77	Serviços de telefonia fixa
6	Aves	37	Adubos e fertilizantes	22	Outras máquinas e equipamentos	78	Correios
7	Bovinos	38	Químicos diversos	23	Material elétrico	79	Instituições financeiras
8	Suínos	39	Farmac. e veterinária	24	Equipamentos eletrônicos	80	Saúde mercantil
9	Outros pecuária	40	Artigos plásticos	25	Automóveis	81	Educação mercantil
10	Extrativismo vegetal	8	Álcool	26	Caminhões e ônibus	82	Serviços de alojamento e alimentação
11	Sivicultura	34	Álcool	27	Peças e outros veículos	83	Outros serviços prestados à família
12	Extrativismo animal (pesca)	9	Refino de petróleo	55	Indústrias diversas	84	Serviços prestados à empresa
2	Mineração e pelotização	36	Refino do petróleo	13	S.I.U.P.	85	Aluguel de imóveis
13	Extrativa mineral	10	Têxtil e vestuário	56	Prod. de energia elétrica hidráulica	90	Serviços privados não mercantis
3	Petróleo e outros	33	Indústria da borracha	62	Distribuição de energia elétrica	16	Transporte rodoviário
14	Petróleo e outros	41	Indústria têxtil	63	Saneamento e abastecimento d'água	71	Transporte rodoviário
15	Gás natural	42	Artigos do vestuário	64	Coleta e tratamento de lixo	17	Outros transportes
4	Minerais não metálicos	43	Fabricação calçados	14	Produção de energia não hidráulica	72	Transporte aéreo
16	Carvão mineral	11	Alimentos e bebidas	57	Prod. de energia elétrica óleo combustível	73	Transporte ferroviário
17	Minerais não metálicos	44	Indústria do café	58	Prod. de energia elétrica carvão	74	Transporte aquaviário
5	Metalurgia básica	45	Benef. de outros produtos vegetais	59	Prod. de energia óleo diesel	75	Atividades auxiliares dos transportes
18	Siderurgia	46	Abate de aves	60	Prod. de energia elétrica gás natural	18	Administração pública
19	Metalúrgicos não ferrosos	47	Abate de bovinos	61	Prod. de energia outras fontes	86	Saúde pública
20	Outros metalúrgicos	48	Abate de suínos e outros	15	Comércio e serviços	87	Educação pública
6	Papel e celulose	49	Indústria de Laticínios	65	Construção civil	88	Segurança pública
28	Indústria da madeira	50	Fabricação de açúcar	66	Atacado	89	Outros serviços da administração pública

Figura 1A_ Efeito total nas emissões (em ton. de carbono) de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2A_ Efeito total nas emissões (em ton. de carbono) por combustível utilizado de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final



Fonte: Dados da pesquisa.

Não obstante, para efeitos de política, é necessário efetuar uma análise de processo. As emissões adicionais totais, mostradas nas Figuras 1A e 2A, representam o *resultado* dessa análise. Determinado setor que aparece com um volume de emissões importante pode não ser o responsável direto por elas, ou seja, as emissões adicionais geradas pelo aumento da produção para atender a um aumento na demanda final são inferiores, por exemplo, àquelas geradas pelo aumento da produção para atender ao consumo dos demais setores, os quais também necessitam atender a essa demanda final maior.

A.2_ Os efeitos diretos, indiretos e induzidos nas emissões

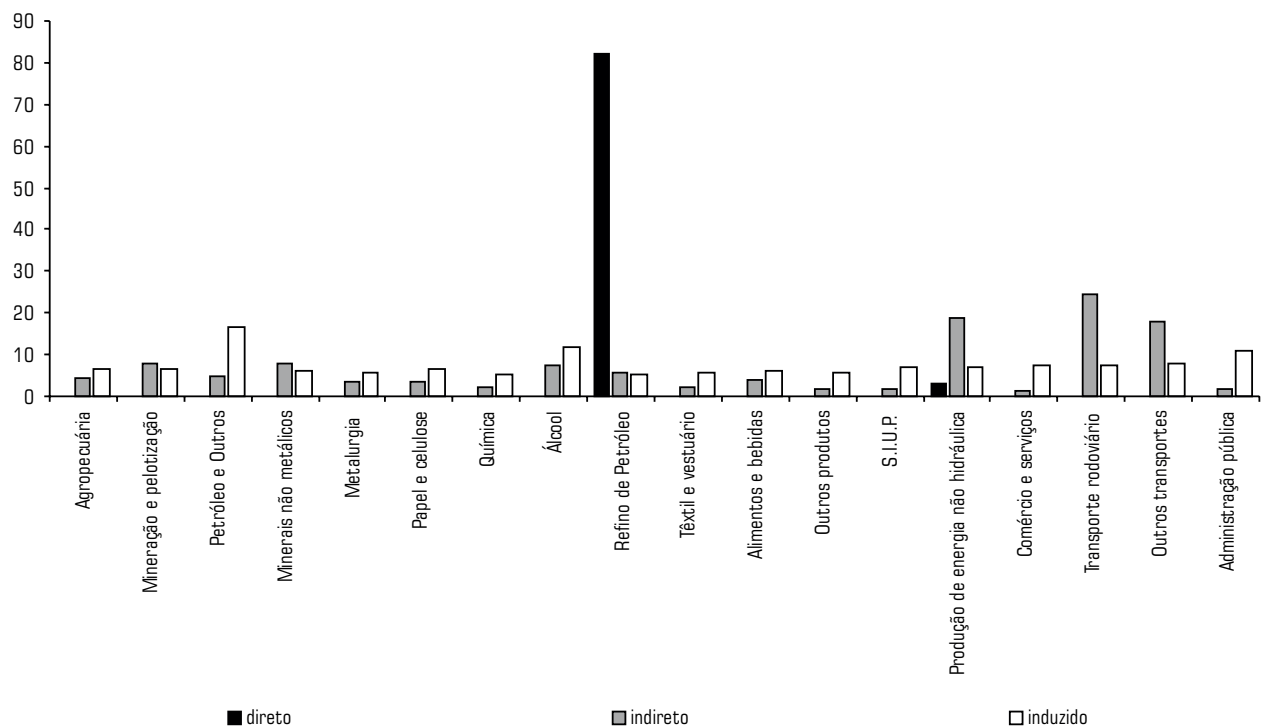
Para efeitos de política, é importante avaliar não apenas os efeitos totais, mas identificar os efeitos diretos, indiretos e induzidos sobre as emissões causadas por uma variação de R\$ 1 milhão na demanda final, levando em conta cada uma das categorias de combustíveis analisadas.

Esta análise torna possível atribuir as emissões aos seus verdadeiros responsáveis, ou seja, demanda final (efeito di-

reto), consumo intermediário (efeito indireto) e consumo das famílias originado da sua interação com a atividade econômica (efeito induzido).

No caso do gás natural (Figura 3A), as emissões adicionais dos setores Mineração e Pelotização, Minerais não Metálicos, Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário e Outros Transportes são determinadas na sua maior parte pelo consumo intermediário. Em outras palavras, nesses setores não é a produção adicional para atender diretamente ao aumento da demanda final o que determina as emissões, e sim aquela parcela da produção adicional destinada aos demais setores, os quais utilizam o produto desses setores para aumentar a sua produção, a fim de atender ao aumento inicial da demanda final. Nos demais setores, excetuando o setor Refino de Petróleo, é o consumo das famílias que parece determinar a maior parte das emissões adicionais. Ocorre que o aumento da produção da economia para atender ao aumento da demanda final faz aumentar a renda das famílias, as quais passam também a consumir mais, e a produção destinada a satisfazer esse aumento do consumo é a responsável maior pelas emissões adicionais nesses setores.

Figura 3A_ Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de gás natural



Fonte: Dados da pesquisa.

No caso do álcool (Figura 4A), o primeiro resultado relevante é que o volume das emissões é menor que no caso do gás natural. No entanto, isso pode ser parcialmente explicado pelo fato de o álcool ter coeficiente de emissão menor, e não por eventuais abatimentos de emissão por sequestro de carbono, na medida em que o presente trabalho não considera esse efeito proporcionado pela cana-de-açúcar.

Em geral, os resultados indicaram que as emissões adicionais totais originadas do consumo do álcool são predominantemente causadas pelo efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias, o qual tem impacto mais forte nos setores Petróleo e Outros, Álcool e Administração Pública.

Para as emissões com origem no consumo de derivados de petróleo, verificou-se o predomínio das emissões devidas ao efeito do aumento da produção sobre o consumo das famílias. Todavia, nos setores Produção de Energia não Hidráulica, Transporte Rodoviário e Outros Transportes é a produção adicional destinada diretamente a satisfazer à demanda final que mais influencia as emissões (Figura 5A).

A.3_ Os efeitos no produto de uma restrição sobre as emissões

Como o modelo assume que as emissões estão linearmente relacionadas ao nível

de produção, toda e qualquer restrição sobre as emissões necessariamente implicará uma restrição equivalente na produção do setor que sofre a restrição. Nesse caso, é indiferente considerar as emissões de gás natural, álcool ou derivados de petróleo.

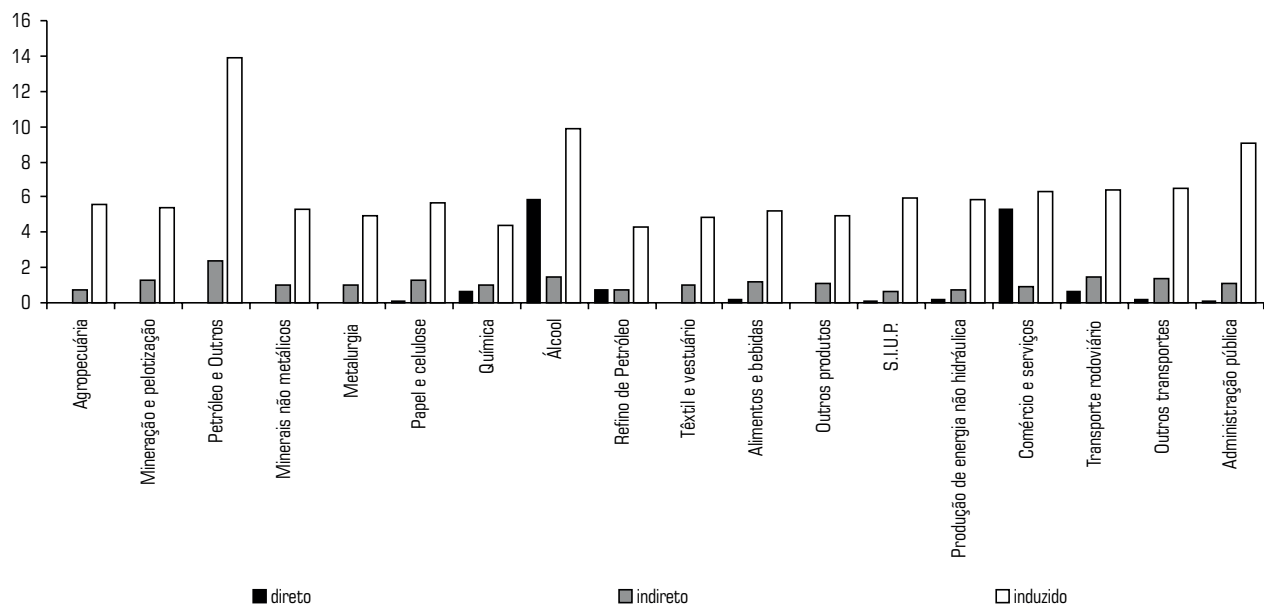
Além disso, deve-se considerar que o modelo de insumo-produto opera com coeficientes técnicos fixos. Logo, o consumo intermediário da matriz não dá conta dos efeitos de substituição energética. Por conta disso, a análise feita aqui é uma análise impacto, ou de curto prazo.

A análise dos efeitos sobre o produto da imposição de uma restrição sobre o volume máximo de emissões (*emissions cap*) é feita considerando dois casos extremos. Em ambos, a restrição estabelecida é de 1% sobre o nível atual de emissão de determinado setor,⁶ conforme determinado na subseção anterior.

Como toda e qualquer restrição implica uma queda da produção no curto prazo, pode-se considerar a hipótese de que os demais setores produtivos serão capazes de redirecionar a produção, antes destinada ao setor que sofre a restrição, para a demanda final. Desse modo, os efeitos da redução serão suavizados, e o impacto intersetorial será todo sentido pelo setor que sofre a restrição.

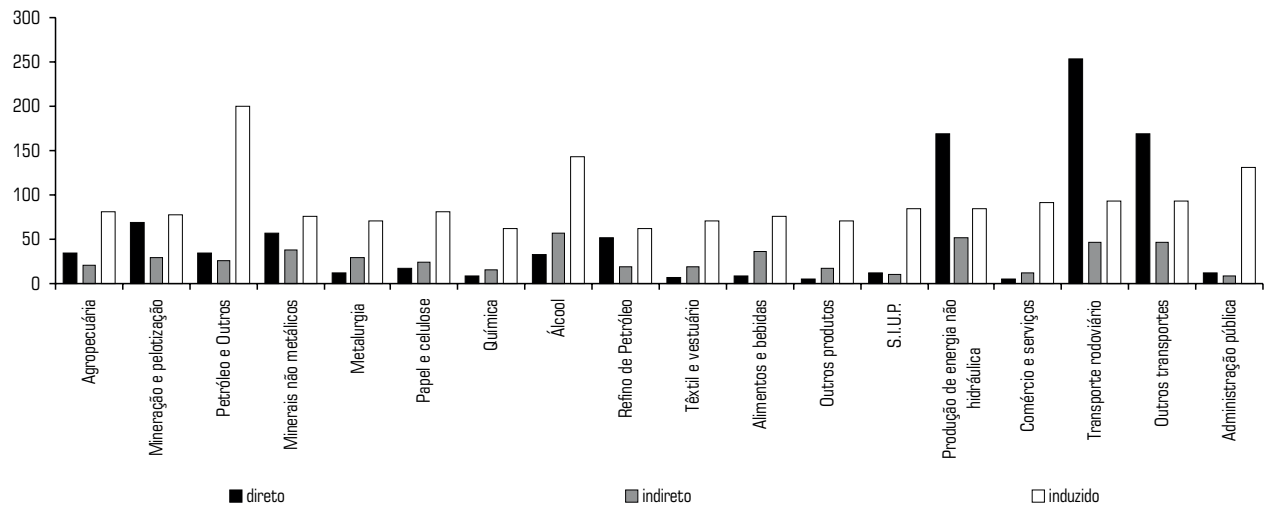
.....
⁶ Optou-se por este percentual dada a natureza linear do modelo, já que restrições maiores serão apenas múltiplos dessa.

Figura 4A_ Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de álcool



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5A_ Efeito direto, indireto e induzido (em ton.) nas emissões de CO₂ derivadas do consumo de derivados de petróleo



Fonte: Dados da pesquisa.

No outro extremo, assume-se que os demais setores não serão capazes de redirecionar sua produção. Logo, os impactos sobre a atividade econômica serão maiores na medida em que se observa um efeito em cadeia de queda no consumo intersetorial. Os resultados da simulação sob a primeira hipótese aparecem na Figura 6A.

Pode-se observar que o impacto em todos os setores é menor que o percentual da restrição, e que os efeitos tendem a ser maiores naqueles setores em que as ligações do setor com o restante da economia são mais fortes.

O impacto relativamente maior sobre o setor Comércio e Serviços deve ser ponderado pelo fato de a atividade de comércio varejista de combustíveis estar ali inserida. Como esse setor revende os insumos gás natural, álcool e derivados de petróleo para os demais setores e para a demanda final, quando se impõe uma restrição sobre ele o impacto parece ser maior.

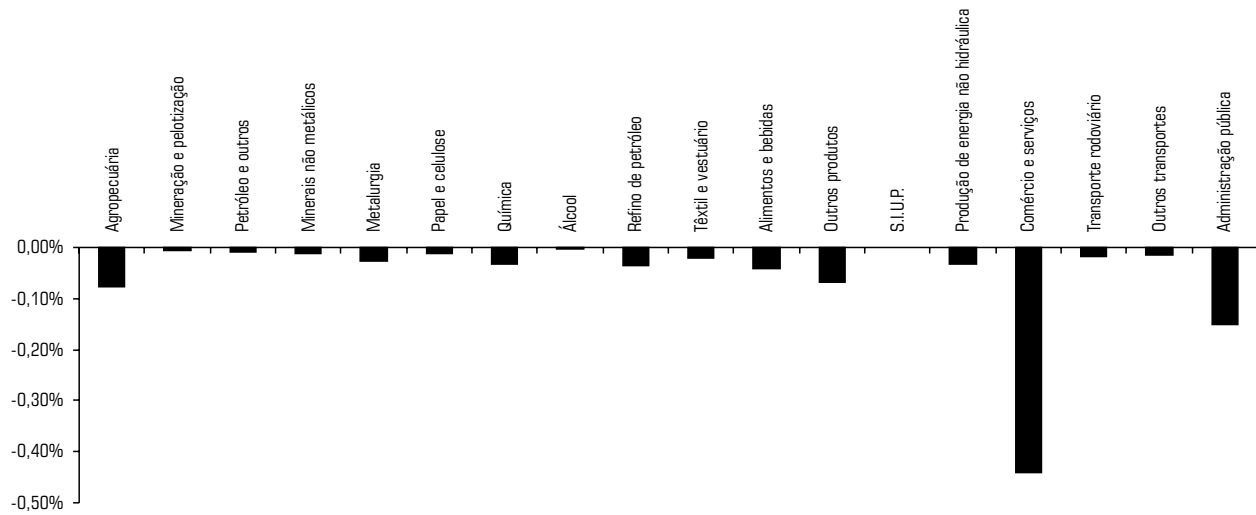
Os efeitos sobre o PIB quando a segunda hipótese é considerada são mostrados na Figura 7A. Embora os efeitos sobre o produto sigam o mesmo padrão observado quando os demais setores podem redirecionar sua produção, a queda no PIB é maior.

O efeito no consumo intersetorial quando determinado setor enfrenta a restrição e os demais setores têm de absorver a queda na demanda por seus insumos é mostrado nas Figuras 11(a), 11(b) e 11(c) do Apêndice.

Cada um dos gráficos nas três figuras representa o impacto sobre a matriz insumo-produto (16 setores x 16 setores) de uma efetiva restrição das emissões em um setor específico. A figura possibilita avaliar, de maneira resumida e dentro de uma ótica de equilíbrio geral, os setores mais afetados pela restrição imposta a determinado setor. Cada uma das 16 matrizes apresentadas nas Figuras 11(a), 11(b) e 11(c) do Apêndice refere-se ao efeito na economia causado pela restrição nas emissões em cada um dos 16 setores considerados. Dessa maneira, é possível comparar mais facilmente o impacto na atividade econômica da restrição imposta a cada setor.

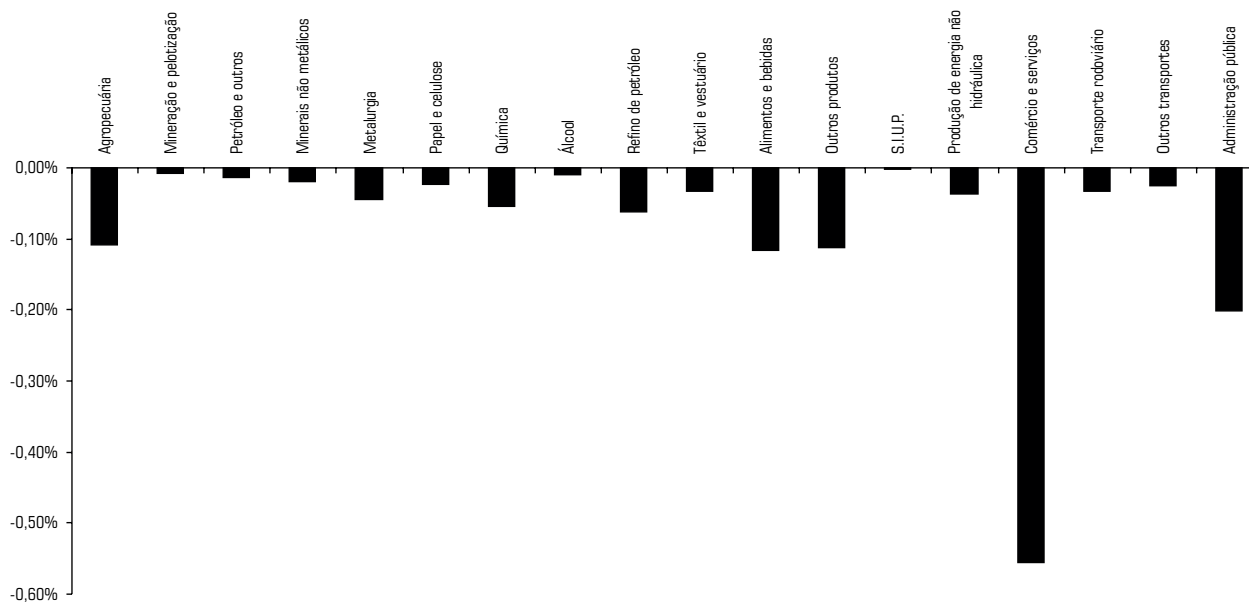
Naturalmente os maiores impactos são observados na demanda do setor que sofre a restrição, atingindo mais fortemente aqueles setores que têm ligação maior com esse setor. No entanto, as figuras também ilustram o efeito em cadeia mencionado, uma vez que os demais setores são forçados a reduzir sua produção ante a demanda menor do setor sob a restrição.

Figura 6A_ Efeitos no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão (hipótese 1)



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 7A_ Efeitos no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade de máxima de emissão (hipótese 2)



Fonte: Dados da pesquisa.

A magnitude dos impactos depende da importância relativa do setor em toda a economia e da intensidade de suas ligações intersetoriais. Como a restrição é imposta, em última instância, sob a forma de um percentual sobre o nível de produção, a queda do produto do setor é ponderada pela importância das ligações intersetoriais.

A.4_ Os efeitos de um imposto sobre as emissões

Além da fixação de níveis máximos de emissão, uma política alternativa de controle poderia ser o estabelecimento de um imposto sobre as emissões. A análise do efeito sobre os preços desse estabelecimento de imposto admite que os preços irão aumentar na mesma proporção da intensidade de carbono dos bens tributados. Dentro da estrutura do modelo de insumo-produto tal hipótese é plausível, tendo em vista a função de produção que está na base do modelo. Logo, novamente aqui, trata-se de resultados de curto prazo que irão se alterar na medida em que as empresas passem a adotar tecnologias alternativas.

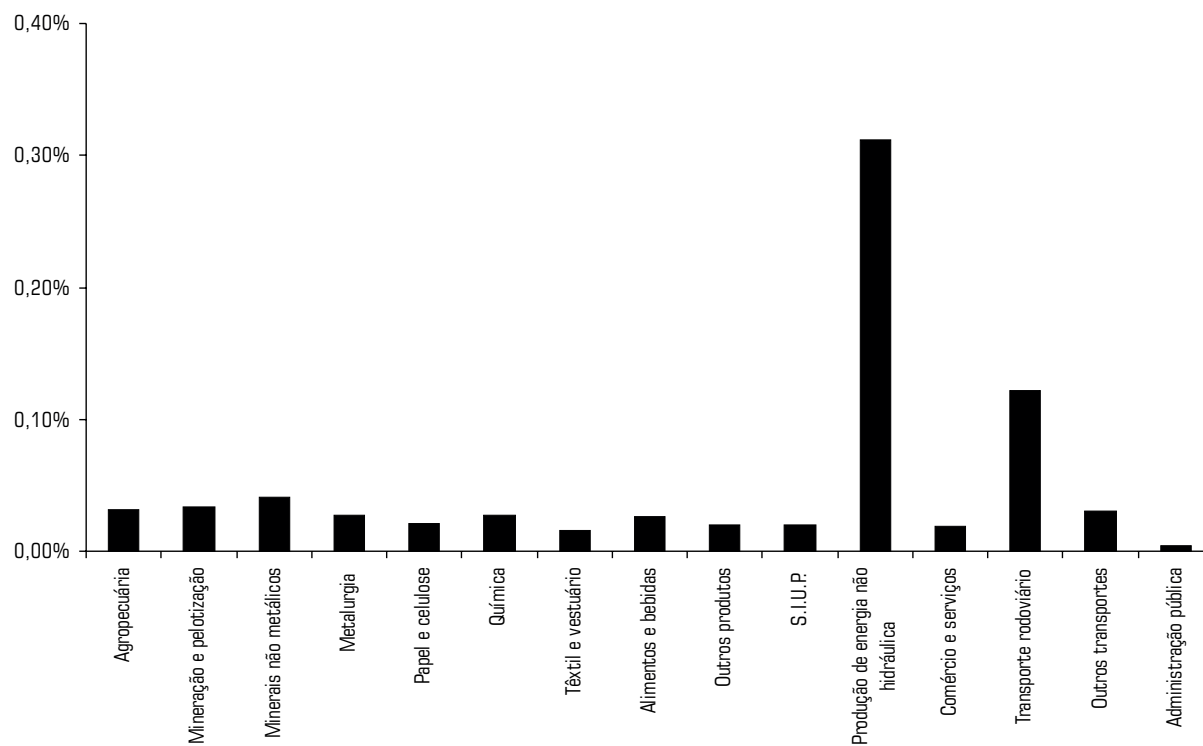
Se, hipoteticamente, for considerada uma alíquota de R\$ 100,00 por tonelada de carbono emitida, os efeitos sobre

os preços dos produtos serão os descritos pela Figura 8A⁷

Como é natural num imposto estabelecido dessa maneira, os maiores impactos serão sentidos nos setores em que a intensidade de carbono é maior, ou seja, Produção de Energia não Hidráulica e Transporte Rodoviário. Deve-se notar ainda que esta análise está baseada nos efeitos totais das emissões, ou seja, já leva em conta os *feedbacks* existentes na estrutura de produção. Dito de outra forma, quando o tributo em questão é de fato imposto a determinado setor ele aumentará o preço do seu produto. Esse impacto levará os demais setores a aumentar o preço de seus produtos de modo que o setor que inicialmente alterou seu preço por conta do imposto também é afetado indiretamente. Logo, o impacto sobre os preços já contempla os efeitos de realimentação presentes nos vários setores da atividade econômica.

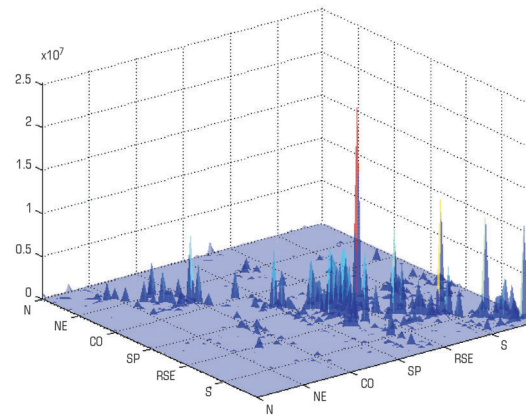
.....
⁷ Novamente aqui se optou por este valor arbitrariamente a fim de facilitar a análise, pois, dada a natureza linear do modelo, qualquer outro valor será um múltiplo do valor adotado.

Figura 8A_ Efeito sobre o preço dos produtos quando se estabelece uma alíquota de R\$ 100 por ton. de carbono emitida

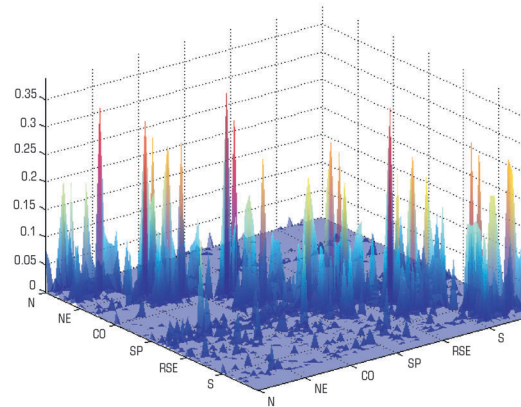


Fonte: Dados da pesquisa.

Apêndice

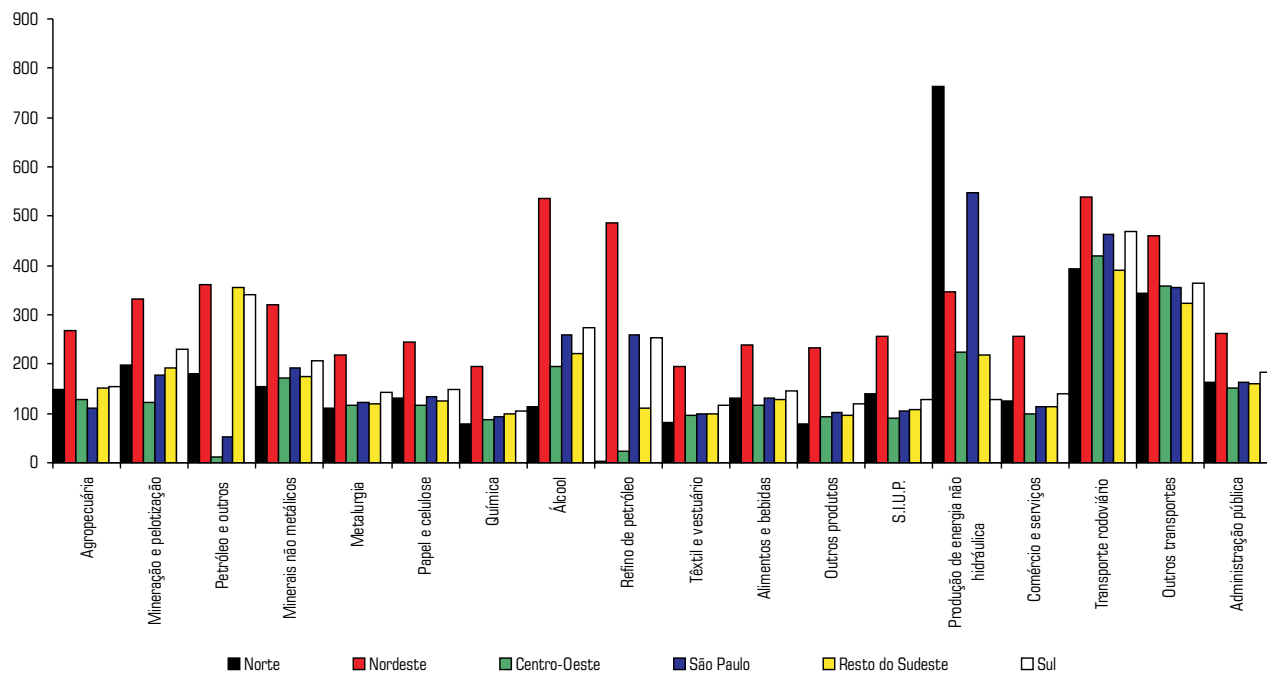
Figura 1_ Matriz inter-regional de relações interindustriais do Brasil em 1999

Fonte: GUILHOTO, J. J. M. *Matrizes insumo-produto regionais para a economia brasileira*. Piracicaba: CEPEA, 2003. 403p. (Texto para discussão)

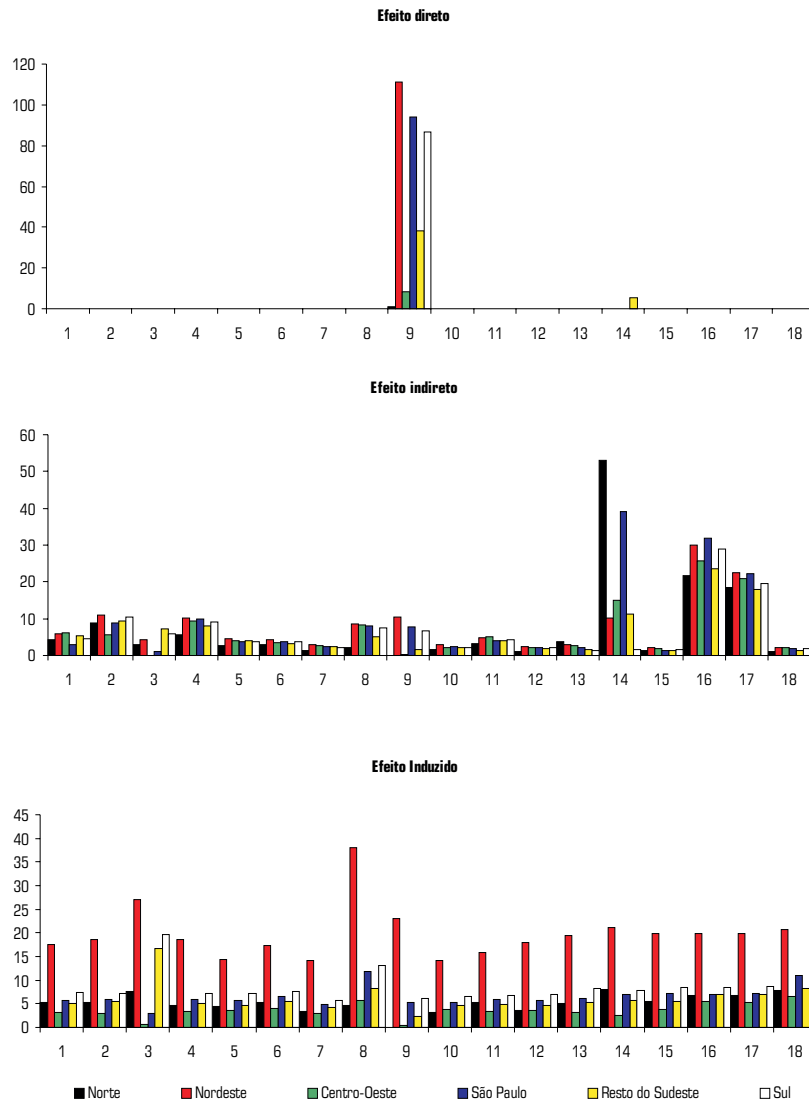
Figura 2_ Matriz inter-regional dos coeficientes técnicos da economia brasileira em 1999

Fonte: GUILHOTO, J. J. M. *Matrizes insumo-produto regionais para a economia brasileira*. Piracicaba: CEPEA, 2003. 403p. (Texto para discussão).

Figura 3_ Efeito total (em ton. de CO₂ adicionais) nas emissões de um aumento de R\$ 1 milhão na demanda final em cada setor nas seis regiões brasileiras em 1999

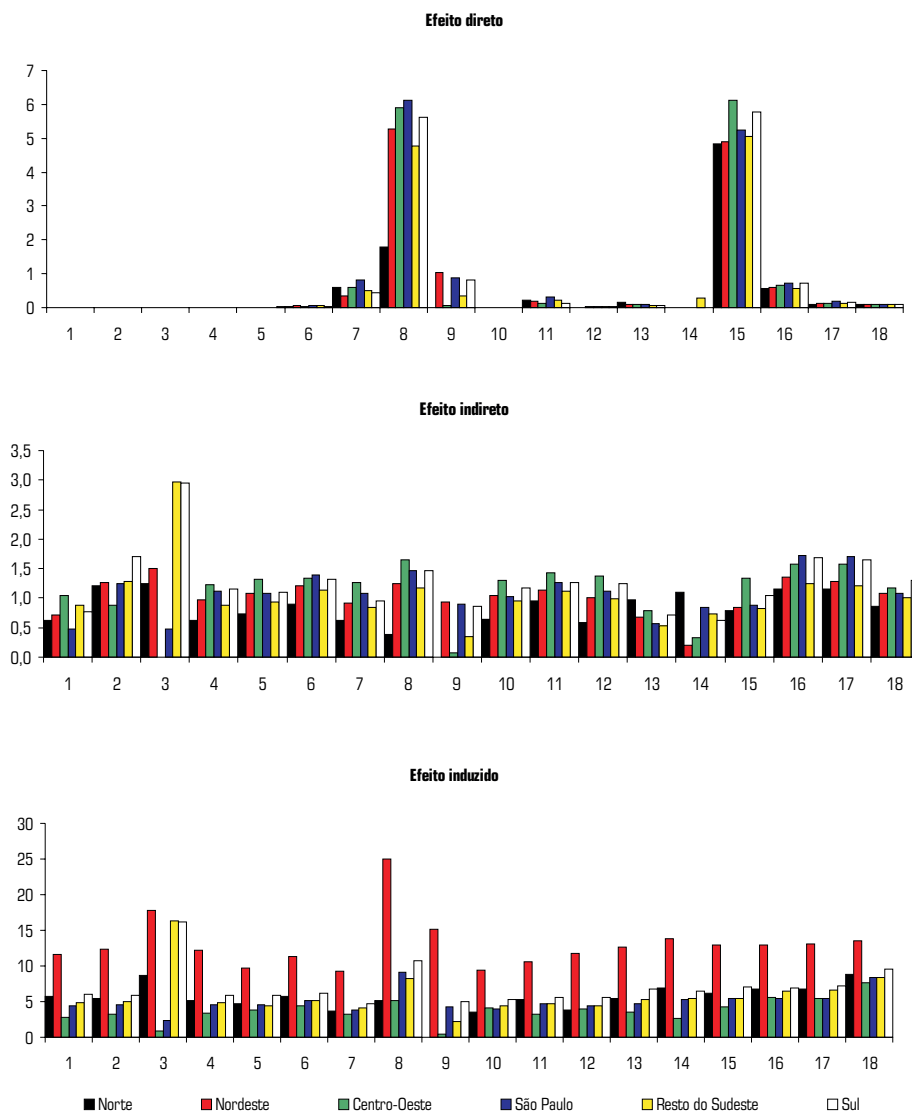


Fonte: Dados da pesquisa.

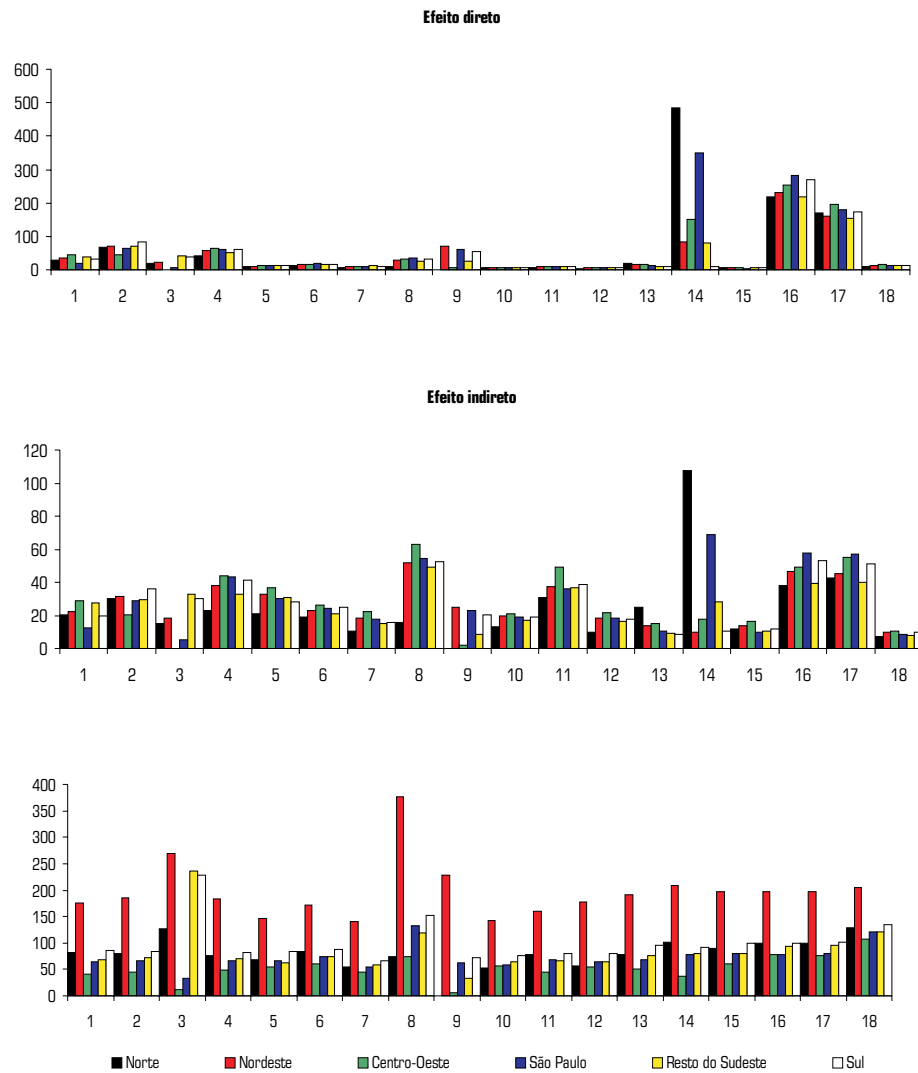
Figura 4_ Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de gás natural

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5_ Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de álcool

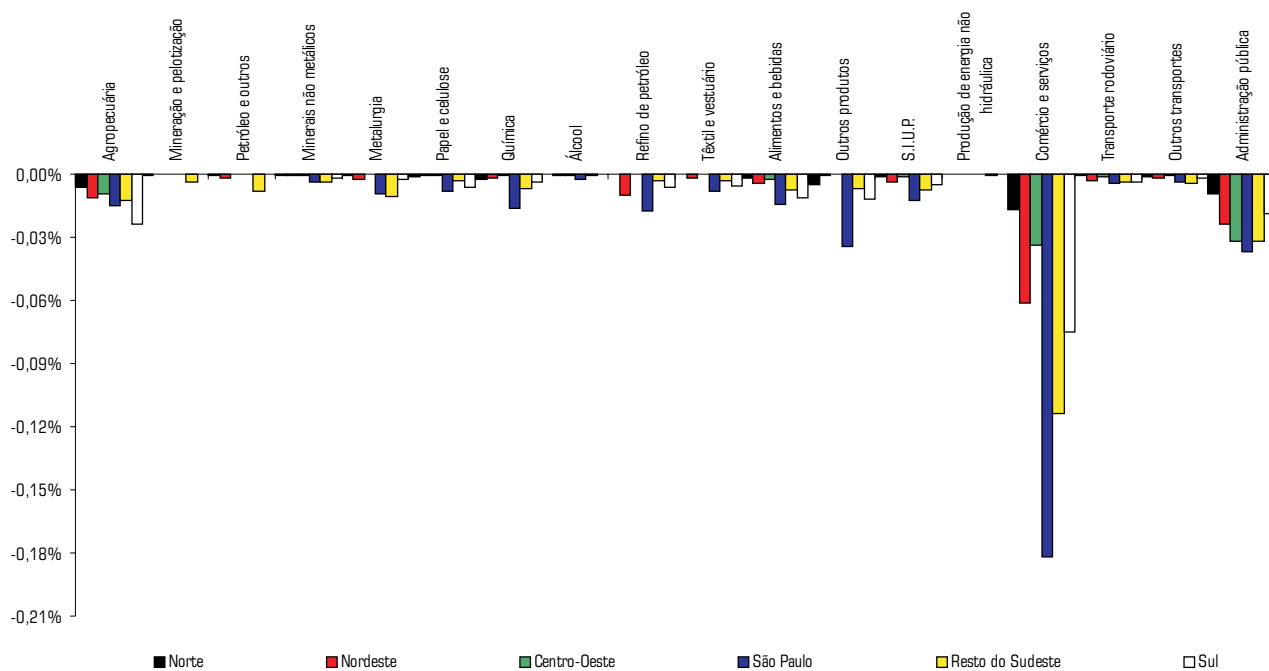


Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 6_ Efeitos diretos, indiretos e induzidos (em ton.) nas emissões de CO₂ originadas do consumo de derivados de petróleo

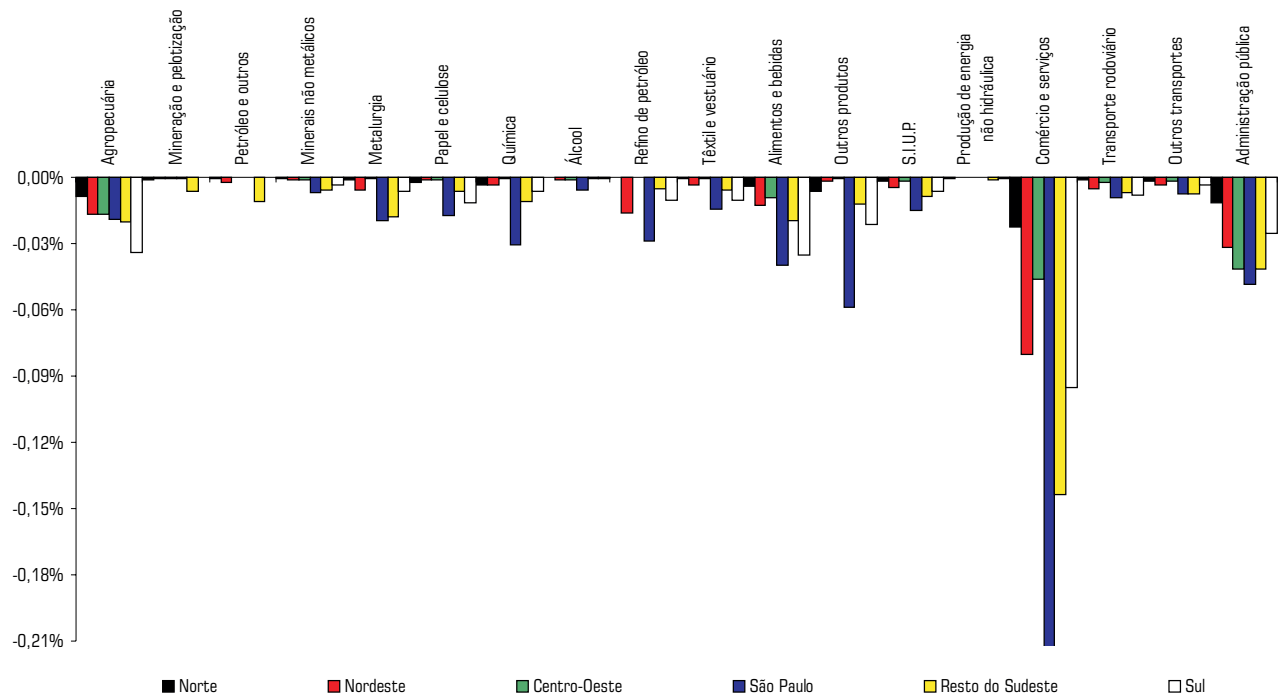
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 7_ Efeito no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade máxima de emissão (hipótese 1)



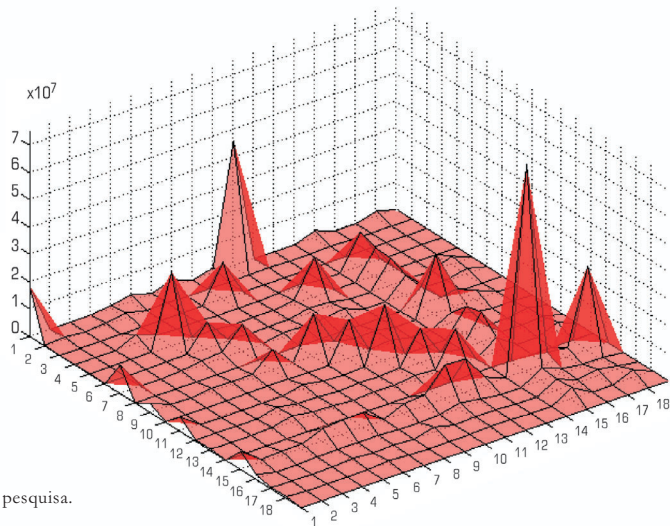
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 8_ Efeito no PIB da queda na demanda por insumos do setor que enfrenta uma restrição de 1% na quantidade máxima de emissão (hipótese 2)



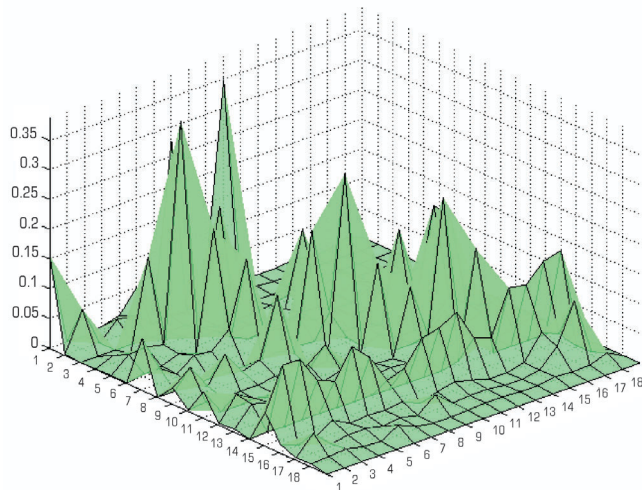
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 9_ Matriz de relações interindustriais do Brasil em 1999

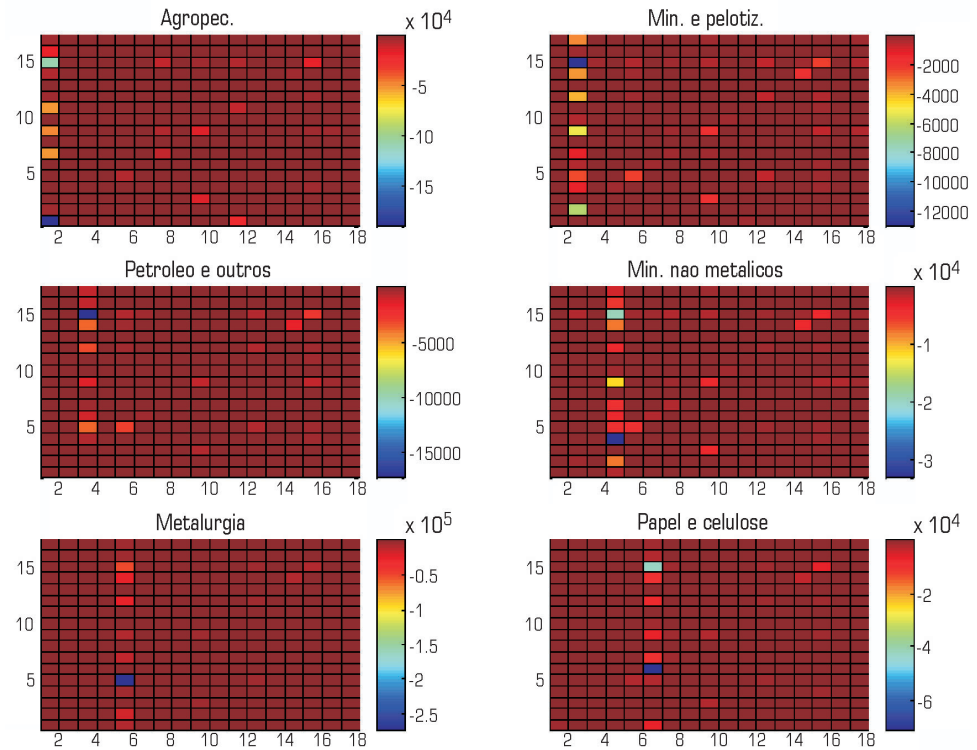


Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 10_ Matriz dos coeficientes técnicos da economia brasileira em 1999

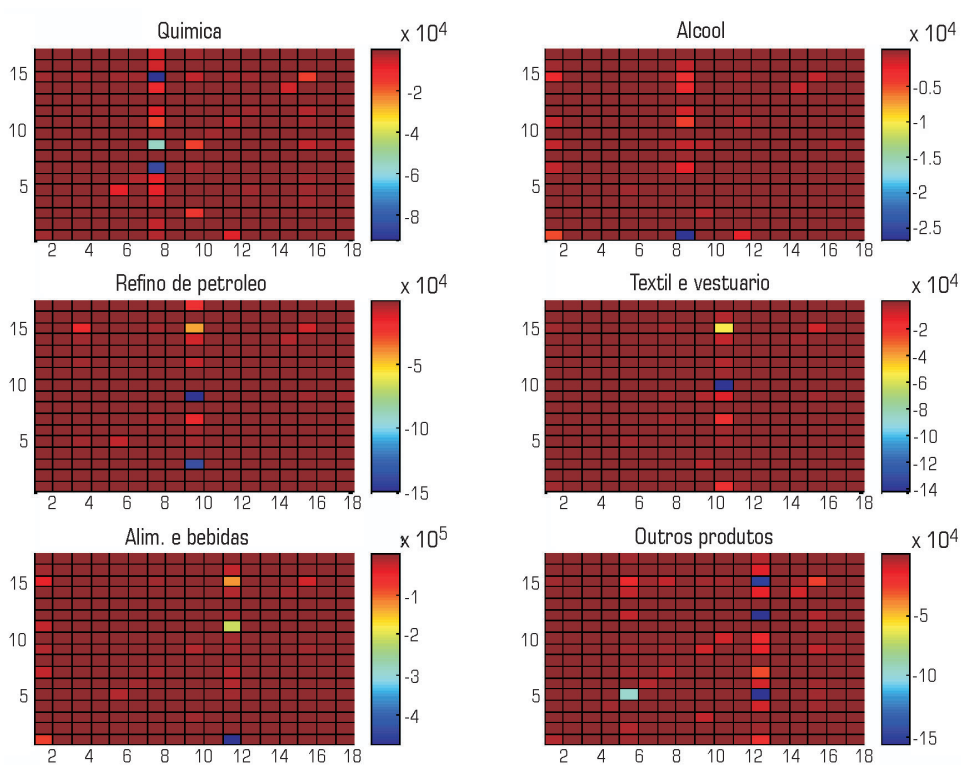


Fonte: Dados da pesquisa.

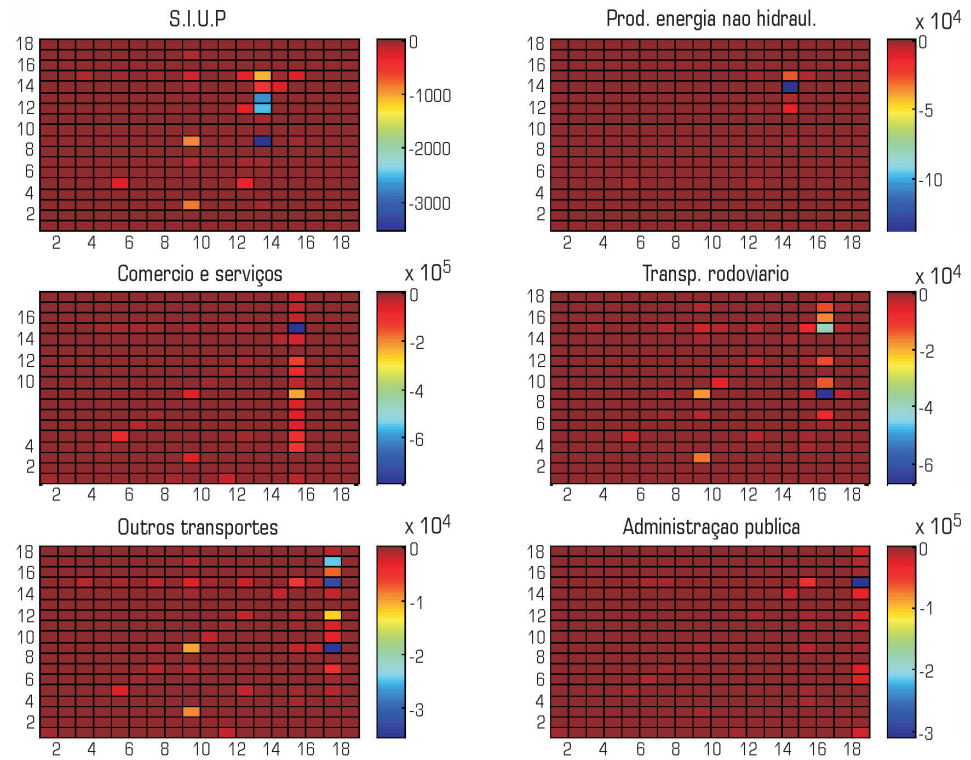
Figura 11(a) – Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 11(b)_ Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 11(c)_ Efeitos intersetoriais de uma restrição quantitativa sobre as emissões do setor

Fonte: Dados da pesquisa.