

O USO SETORIAL DE ENERGIA RENOVÁVEL VERSUS NÃO RENOVÁVEL E AS EMISSÕES DE CO₂ NA ECONOMIA BRASILEIRA: UM MODELO INSUMO-PRODUTO HÍBRIDO PARA 53 SETORES¹

Marco Antonio Montoya²
Cássia Aparecida Pasqual³

O artigo desagrega o consumo setorial da Matriz Energética brasileira de 2009 para construir um modelo insumo-produto híbrido de 53 setores e avaliar os requerimentos setoriais e as emissões de CO₂ por fontes de energia. Verificou-se que os setores Transporte, Energético e, a Fabricação de aço e derivados além de exercer forte pressão sobre o consumo de energia, utilizam maioritariamente energia fóssil. A composição dos requerimentos e das emissões evidenciou, por conta do efeito induzido, que o consumo das famílias decorrente do aumento da renda contribui significativamente com o consumo de energia e com a maioria das emissões de CO₂ do país, principalmente, quando as famílias consomem serviços e bens de uso pessoal. Portanto, os esforços na redução de emissões deverão ser direcionados sobre os setores produtivos intensivos no uso de energia não-renovável e, principalmente sobre o comportamento do consumidor.

Palavras-chave: insumo-produto; efeito estufa; emissões de CO₂; setor energético.

JEL: C67; D57; Q40; Q52.

1 INTRODUÇÃO

Previsões sobre o crescimento da economia mundial apontam, até o ano de 2030, que o PIB crescerá a uma taxa de 3,5% ao ano (a.a.), passando de 59,94 trilhões de dólares em 2006 para 137,48 trilhões de dólares em 2030, ou seja, o mercado mundial aumentará 229,36% (IEA, 2009). Nessa trajetória, espera-se que a economia brasileira cresça de forma acelerada e que esse crescimento tenha relevante papel no aumento da demanda de energia por parte das atividades de produção e consumo. A respeito das previsões sobre a demanda de energia para o Brasil elas indicam que no período de 2006 a 2030 o mercado energético nacional aumentará 196,25%, já que o consumo de energia crescerá a uma taxa de 2,6% a.a., passando de 202,9 milhões de tep para 398,2 milhões de tep em 2030 (Capeletto, 2010).

Certamente, o maior consumo de energia *versus* os riscos e as incertezas de uma maior degradação do meio ambiente torna-se um ponto de discussão relevante e um grande desafio para o crescimento econômico sustentável. Assim, nas últimas décadas, tendências no uso de energia renovável e mais limpa foram introduzidas no país por meio do aproveitamento dos recursos hídricos, do incentivo da agricultura

1. O autor presta condolência ao falecimento de Cássia Aparecida Pasqual em 6 de julho de 2015.

2. Professor titular da Faculdade de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis da Universidade de Passo Fundo (Feac/UPF). E-mail: <montoya@upf.br>.

3. Ex-professora-assistente da Faculdade de Ciências Econômicas, Administrativas e Contábeis da Universidade de Passo Fundo (Feac/UPF). E-mail: <cpasqual@upf.br>.

voltada para o biocombustível (Proálcool, biodiesel), da construção de gasodutos e de um novo marco regulatório sobre o meio ambiente. Como resultado, segundo Brasil ([s.d.]), a matriz energética nacional constitui-se em uma das mais limpas do mundo, destacando-se, entre outros, pela produção de energia hidráulica que responde por 30,04% das fontes primárias renováveis do país, enquanto essa participação no mundo, em média, alcança somente 16%.

Contudo, conforme consta no *Balanço energético nacional de 2012* (Brasil, 2012), na economia brasileira ainda predomina a produção de energia não renovável. Isto porque na composição da produção de energia primária de 2009 a 2011, as fontes de energia não renováveis responderam, em média, por 53,30% (ou 133.241 mil tep) e as fontes renováveis por 46,70% (ou 116.687 mil tep). Trata-se, portanto, de uma matriz energética que produz e consome maioritariamente energia fóssil, mas que oferece, no entanto, pela presença significativa de fontes renováveis de energia decorrentes da disponibilidade de abundantes recursos naturais, potencial para reduzir ainda mais nas atividades econômicas as emissões de gases de efeito estufa (ver apêndice C, ao final deste artigo).

Assim, questiona-se neste artigo: quais são os setores produtivos que pressionam com mais intensidade a produção de energia? Qual é a dimensão das emissões de CO₂ decorrentes do consumo setorial de energia renovável e não renovável? De que maneira o consumo das famílias contribui com a demanda de energia e com as emissões de CO₂?

A preocupação das interações entre o meio ambiente e as atividades econômica no país tem levado diversos pesquisadores a desenvolver estudos que avaliam o consumo setorial de energia e as emissões de dióxido de carbono (CO₂) utilizando modelos insumo-produto híbridos, ou seja, modelos que incorporam unidades físicas do consumo de energia extraídas do balanço energético nacional (BEN) e unidades monetárias das atividades produtivas que constam na matriz insumo-produto (MIP).

Entretanto, as avaliações dos impactos ambientais, em geral, apresentam limitações pela falta de dados mais desagregados do consumo setorial de energia em unidades físicas. Isto é, o processo de compatibilização dos dados do BEN e da MIP gera um número pequeno de setores consumidores de energia, o que afeta os resultados e as análises sobre o meio ambiente. Portanto, para entender melhor a interação das atividades econômicas com o meio ambiente, torna-se necessário uma análise mais desagregada do consumo setorial por fonte de energia e das emissões de CO₂ que elas implicam.

Com esses fins, o presente artigo tem como objetivo mensurar os requerimentos setoriais de energia e as emissões de CO₂ por fontes renováveis *versus* não renovável, com base na construção do modelo insumo-produto híbrido setorialmente desagregado para o ano de 2009. Com isso espera-se, em um primeiro momento,

compreender com mais detalhe as principais relações setoriais da economia do país com o meio ambiente, bem como, fornecer subsídios para um melhor planejamento energético setorial nos próximos anos.

Este artigo está dividido da seguinte maneira: na seção 2, é apresentado um referencial teórico e empírico sobre os modelos de insumo-produto híbridos utilizados no Brasil para avaliar impactos ambientais; a seção 3 além de apresentar a estrutura matemática do modelo insumo-produto híbrido e seu processo de construção, apresenta o processo de desagregação setorial da matriz energética do BEN de forma compatível com o número de setores consumidores que apresenta a MIP do Brasil; a seção 4 avalia a composição dos requerimentos setoriais por fonte de energia com fins de identificar, por um lado, os setores que mais pressionam a produção de energia e, por outro, a dependência setorial por energia renovável e não renovável; a seção 5 avalia a dimensão das emissões setoriais de CO₂ e identifica por meio da decomposição dos impactos (multiplicador) das emissões os mecanismos pelos quais os setores geram os maiores volumes de gases “efeito estufa”; na última seção são apresentadas as principais conclusões obtidas no decorrer da análise.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A seguir é apresentado um arcabouço teórico e empírico sobre os modelos de insumo-produto híbridos. Para isso, primeiramente, apresenta-se alguns aspectos inerentes às vantagens e limitações desses modelos para avaliar questões ambientais. Seguidamente, faz-se uma revisão bibliográfica dos principais modelos híbridos construídos no Brasil para avaliar o uso de energia e seus impactos ambientais.

2.1. Abrangência analítica dos modelos insumo-produto híbridos

O relatório Brundtland (WCED, 1987) salienta que a importância de avaliar o consumo energético radica na crescente preocupação com os riscos e as incertezas ambientais decorrentes de um consumo elevado de energia no futuro. A queima de combustíveis fósseis que emitem CO₂ e seu acúmulo na atmosfera destaca-se como o de maior probabilidade de risco para a alteração do clima devido ao “efeito estufa”. Em função desses fatos, acredita-se que o uso de recursos energéticos disponíveis respeitando o meio ambiente é fundamental para o desenvolvimento econômico e, portanto, avaliar o comportamento do consumo setorial de energia e questões inerentes às emissões de CO₂ torna-se premente para um melhor planejamento energético nacional.

Cabe salientar, entretanto, que uma séria limitação da análise de impactos ambientais é a tendência a lidar isoladamente com cada setor ou indústria, sem reconhecer a importância das relações setoriais. Embora não seja difícil conceber a existência dessas relações econômicas, no mundo real elas tendem a ser bastante

complexas, envolvendo vários grupos de setores, diferentes formas de encadeamentos e várias hierarquias de ramificações. O modelo insumo-produto tem a capacidade de retratar essas relações em diferentes níveis de complexidade. Ele é um instrumento adequado para avaliar as emissões setoriais de poluentes em virtude de incorporar o setor energético no sistema econômico.

Nesse contexto, um sistema econômico insumo-produto está formado por 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, 2009).

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. Para avaliar o consumo energético setorial e as emissões de CO_2 , os modelos insumo-produto têm sido utilizados com frequência, já que permite por meio dos fluxos setoriais de energia, mensurar os requerimentos de energia necessários por unidade consumida no sistema econômico. O procedimento para avaliar as emissões de CO_2 consiste em estimar o uso de energia das indústrias (demanda intermediária) e dos consumidores finais (demanda final) por meio de um modelo insumo-produto de energia em unidades híbridas e, logo, no modelo, utilizar coeficientes de conversão sobre a intensidade do consumo de energia.

Segundo Bullard e Herendeen (1975), Miller e Blair (2009) e Casler e Blair (1997), 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. Hawdon e Pearson (1995) apontam algumas vantagens no uso da estrutura de insumo-produto para analisar questões relativas ao setor energético: a) permite uma desagregação setorial maior do que os modelos de otimização dinâmica e os modelos macroeconômicos; b) permite a incorporação de fluxos de energia intersetoriais tanto em termos físicos quanto monetários; e c) possibilita programar análises de impacto. Entretanto, esses modelos também apresentam algumas limitações, quais sejam: a) coeficientes fixos de insumo-produto; b) retornos constantes de escala; e c) demanda final determinada exogenamente.

2.2 Revisão dos modelos insumo-produto híbridos utilizados no Brasil

A matriz de insumo-produto é uma estrutura útil para delinear o uso de energia. Assim, diversos trabalhos com essas abordagens foram executados para a economia brasileira. Perobelli, Mattos e Faria ([s.d.]) utilizaram um modelo inter-regional

de insumo-produto híbrido de quatorze setores que incorpora um setor de energia para analisar as relações energéticas entre o estado de Minas Gerais e o restante do Brasil. Ficou evidente que os setores econômicos de Minas Gerais exercem mais pressão sobre o setor de energia dentro do estado do que fora do estado. A análise comparativa dos requerimentos intra e inter-regionais indicou que, dentro de Minas Gerais, os setores ferro e aço, transporte, energético e outras indústrias apresentam um peso significativo no consumo de energia.

Hilgemberg e Guilhoto (2006) utilizaram um modelo inter-regional insumo-produto híbrido de dezoito setores para estudar a emissão de CO₂ no Brasil no ano de 1999. Os resultados mostraram que o efeito total nas emissões de um aumento na demanda final parece, em geral, ser mais intenso nos setores da região Nordeste. Isto é, 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.

Carvalho e Perobelli (2008) quantificaram as emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos, considerando um modelo de insumo-produto inter-regional híbrido para São Paulo e o restante do Brasil. Para o ano de 1996 identificaram a intensidade de emissões de dióxido de carbono em quinze setores, a parcela de emissões totais devida à demanda final e do consumo intermediário e os setores-chave nas emissões de CO₂ por meio do cálculo das elasticidades. Os resultados destacaram os setores agropecuário, siderurgia, alimentos e bebidas, outros setores e transportes nas duas regiões como os mais poluidores. Também foi verificada a quantidade de CO₂ incorporada nas exportações, mostrando que a pauta de exportações brasileira é, em grande parte, intensiva em poluição.

Firme e Perobelli (2008) avaliaram a evolução do setor energético brasileiro de 1997 e 2002. Para isso, utilizaram um modelo insumo-produto híbrido de quatorze setores produtivos e nela foram utilizadas unidades físicas (tep). Os autores verificaram que, mesmo havendo uma diminuição global nos multiplicadores de produção, renda e emprego, no período analisado, o setor energético apresentou crescimento nos índices de todos os seus multiplicadores. Uma hipótese levantada foi a de que os investimentos realizados no setor visando evitar novos racionamentos de energia elétrica tenham contribuído para tais resultados.

Carneiro, Figueiredo e Araújo Júnior ([s.d.]) avaliaram a substituição do óleo combustível pelo gás natural na matriz energética brasileira e, ainda, quais os impactos dessa substituição sobre a emissão de CO₂. Para isso, foi utilizada a matriz insumo-produto híbrida de 22 setores contemplando o setor energético para conhecer as mudanças intersetoriais do consumo desses dois combustíveis entre o ano de 2000 e 2005. Foi observado entre os anos de 2000 e 2005 que houve a

substituição de óleo combustível por gás natural principalmente nos setores de refino de petróleo. Mas o aumento da intensidade gerou um aumento na emissão de CO₂ apesar de o gás natural ser menos poluente do que óleo combustível.

Mattos (2010) analisou as interações entre o estado de Pernambuco e o restante do Brasil e seus rebatimentos sobre o consumo de eletricidade. A análise foi feita usando o modelo inter-regional insumo-produto híbrido para computar medidas de requerimento e consumo de eletricidade. Essas medidas permitiram, por exemplo, avaliar os impactos da produção de um setor de Pernambuco sobre o consumo de eletricidade dentro e fora do estado. Avaliaram também os impactos da produção de um setor do resto da economia brasileira sobre o consumo de eletricidade do estado de Pernambuco. A análise desenvolvida apresentou informações desagregadas para 32 setores, sendo um deles, o setor elétrico, o que permitiu traçar um retrato refinado dos padrões de interações e seus impactos sobre o mercado de eletricidade.

Angelo e Ramos (2010) analisaram os requerimentos de energia para o desenvolvimento da economia do estado de Pernambuco bem como os setores-chave em utilização de energia elétrica e ainda, os efeitos econômicos de uma restrição ao uso de energia elétrica para que se soubessem quais os impactos de um racionamento desse bem. Para isso construíram um modelo híbrido de insumo-produto de onze setores. Os autores verificaram que os setores que mais utilizaram energia elétrica foram as indústrias de papel e gráfica, indústrias diversas e a indústria têxtil. Quanto aos setores-chave destacaram-se a metalurgia dos não ferrosos e indústria química. Ficou evidente que restrições no consumo de energia elétrica impactam mais nos setores-chave, forçando a reduzir a produção dos demais setores.

Santiago, Carvalho e Perobelli ([s.d.]) apresentaram um modelo regional híbrido de insumo-produto, por meio do qual foram computadas medidas de intensidade de emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos no estado de Minas Gerais. A análise desenvolvida utilizou a matriz insumo-produto para o ano de 2005 e apresentou informações desagregadas para treze setores de atividade. Os resultados indicaram o setor agropecuário, o setor mineração e pelotização e o setor transporte como os setores-chave no que concerne às emissões. Em relação à quantidade de CO₂ incorporada nas exportações, apenas um setor apresentou uma elevada quantidade de emissão, o que sugere que a pauta de exportações de Minas Gerais não é intensiva em poluição.

Figueiredo, Araújo Junior e Perobelli ([s.d.]) mensuraram no estado de Pernambuco as emissões de CO₂ decorrentes do consumo de combustíveis energéticos. Para isso construíram uma matriz insumo-produto híbrida. O cálculo da intensidade de emissões de dióxido de carbono para quatorze setores em virtude do aumento da demanda final permitiu identificar o setor siderurgia e o próprio setor energético como os que mais exerceram pressão sobre o setor energético.

Além disso, foram calculados os setores-chave nas emissões de CO₂, identificando os setores transporte, energético, construção civil e alimentos e bebidas como os mais intensivos em poluição.

Montoya, Lopes e Guilhoto (2013) avaliam na economia do Rio Grande do Sul o consumo setorial de energia derivada do petróleo e álcool e as emissões de CO₂. Utilizando um modelo insumo-produto híbrido de quatorze setores os autores verificaram que o setor transporte e o setor energético apresentam os índices de requerimento de energia mais elevados e concentram 56,46% das emissões setoriais de CO₂ do estado. Concomitantemente, a análise comparativa das emissões de CO₂ com o consumo de energia em tep evidenciaram, em termos relativos, que os setores transporte e agropecuário em relação aos demais setores vem ganhando maior eficiência na restrição dos gases de efeito estufa.

Em síntese, os estudos elaborados para a economia brasileira mostram, por um lado, a consistência e méritos dos modelos híbridos para avaliar problemas ambientais decorrentes do consumo de energia e, por outro, evidenciam, em geral, que as análises sobre o sistema econômico apresentam um nível elevado de agregação setorial, o que limita, em parte, os resultados e as avaliações. Portanto, surge a necessidade de se elaborar estudos com um nível de desagregação setorial maior na economia brasileira.

3 CONSTRUÇÃO DO MODELO INSUMO-PRODUTO HÍBRIDO

A solução do modelo de insumo-produto clássico para estudar as interdependências dos setores de uma economia pode ser expressa matricialmente pela equação (1).

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

Os coeficientes da matriz inversa $(I - A)^{-1}$ são chamados de requerimentos totais de produção, ou seja, os requerimentos diretos e indiretos de produção. Eles indicam, em unidades monetárias, as mudanças na produção setorial necessárias para atender a uma determinada variação da demanda final. Note-se que a demanda final do modelo é exógena, o que permite que se analisem de forma sistêmica o perfil da estrutura de transações, os efeitos multiplicadores decorrentes da demanda final, diferentes tipos de problemas que envolvem programas de investimentos, aumento do consumo, tributação, mudança tecnológica etc.

Existem várias extensões possíveis da análise de insumo-produto, entre as quais está a hipótese de incorporar unidades físicas ao modelo para avaliar o consumo de energia e as emissões de CO₂, ou seja, a construção de um modelo insumo-produto em unidades híbridas.

A estrutura matemática do modelo insumo-produto híbrido apresentado a seguir é proveniente das abordagens utilizadas para modelos inter-regionais, porém adaptado para um contexto regional de uma economia aberta e de uma economia fechada.

A utilização de unidades híbridas no modelo considera tanto a energia consumida no processo de produção de uma indústria quanto a energia empregada na produção dos insumos utilizados por ela, ou seja, a análise constitui-se um processo que rastreia os insumos até os recursos primários usados na sua produção. A primeira rodada dos insumos de energia revelará os requerimentos diretos de energia. As rodadas subsequentes de insumos energéticos definirão os requerimentos indiretos de energia. Logo, a soma desses dois requerimentos será o requerimento total de energia, cujo cálculo é algumas vezes chamado de intensidade de energia (Miller e Blair, 2009; Hilgemberg e Guilhoto, 2006).

3.1 Modelo híbrido para uma economia aberta

A construção de um modelo de insumo-produto híbrido tem início com a obtenção de uma matriz de fluxos de energia do tipo E para uma economia composta por n setores, dos quais m são setores de energia.

Assumindo-se que a energia consumida pela demanda final (em unidades físicas) está representada por E_y , o consumo de energia total na economia por F (em que E_y e F são ambos vetores-coluna com m -elementos) e, i representa um vetor ($m \times 1$) cujos elementos são todos números “um”, então o fluxo de energia no sistema econômico pode ser representado por:

$$Ei + E_y = F, \quad (2)$$

ou seja, a soma de energia consumida pelos setores interindustriais mais o consumo da demanda final constitui-se a quantia total de energia consumida (e produzida) pela economia.

De posse da matriz E , em unidades equivalente petróleo – tep, é possível construir uma matriz de transações interindustriais em unidades híbridas. O procedimento consiste em substituir na matriz de transações interindustriais (Z) a linha que representa os fluxos de energia em unidades monetárias pela linha que representam os fluxos físicos de energia, obtidos com base na matriz E . Após a substituição temos a nova matriz de fluxos interindustriais (Z), a qual representa os fluxos interindustriais de energia em unidades físicas e os demais fluxos em unidades monetárias.

Considere-se, por exemplo, o caso de um sistema econômico de quatro setores (Z) em unidades monetárias em que o setor 1 representa o setor de energia, do qual dispomos seus fluxos de produção para os demais setores ($E_{n,k}$) em unidades físicas (tep).

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

$$E_{n,k} = [tep \quad tep \quad tep \quad tep] \quad \text{com } n = 1 \text{ e } k = 4. \quad (4)$$

Logo, a nova matriz de transações interindustriais em unidades híbridas será descrita por:

$$Z^* = \begin{bmatrix} tep & tep & tep & tep \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \\ \$ & \$ & \$ & \$ \end{bmatrix} \quad (5)$$

O mesmo procedimento deve ser usado para a produção total (X) e demanda final (Y) por setor, ou seja:

$$X^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ \$ \\ \$ \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Y^* = \begin{bmatrix} tep \\ \$ \\ \$ \\ \$ \end{bmatrix} \quad (7)$$

A matriz híbrida de coeficientes técnicos pode ser representada matricialmente como $A^* = Z^* \left(\hat{X} \right)^{-1}$.

Ou seja,

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

O modelo insumo-produto em unidades híbridas pode ser definido de forma análoga à equação (1) e pode ser escrito da seguinte maneira:

$$X^* = (I - A^*)^{-1} Y^* \quad (9)$$

A matriz $(I - A^*)^{-1}$ tem as mesmas unidades de A^* , 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 (requerimento direto). Contudo, algumas das características destas matrizes diferem do modelo tradicional de Leontief. Por exemplo, a soma da coluna A^* não é necessariamente menor que a unidade como no modelo tradicional.

3.1.1 Requerimentos de energia no modelo aberto

Na estrutura da matriz de insumo-produto em unidades híbridas, o cálculo dos requerimentos de energia total, às vezes chamado intensidade do uso de energia, é análogo ao cálculo da exigência total em unidades monetárias da indústria do modelo tradicional de insumo-produto de Leontief. Assim, para obter a matriz de requerimentos diretos de energia e a matriz de requerimentos totais de energia extraem-se, respectivamente, as linhas dos fluxos de energia de A^* e $(I - A^*)^{-1}$.

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

$$F^* = \begin{bmatrix} tep & 0 & 0 & 0 \\ 0 & tep & 0 & 0 \\ 0 & 0 & tep & 0 \\ 0 & 0 & 0 & tep \end{bmatrix} \quad (10)$$

Fazendo $F^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1}$, obtém-se a matriz de coeficientes de energia. Assim, pós multiplicando as matrizes de requerimentos diretos e de requerimentos totais de energia por $F^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1}$ recuperam-se apenas a intensidade de energia.

Logo, os coeficientes representam os requerimentos diretos (δ) e os requerimentos totais (α):

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

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

Os requerimentos indiretos de energia (γ) são obtidos da diferença entre δ e α :

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

3.2 Modelo híbrido para uma economia fechada

Análogo ao modelo clássico de Leontief, o modelo insumo-produto híbrido, além de analisar as transações setoriais de insumos permite também, utilizando a técnica de Miyazawa (1976), incorporar o consumo das famílias no sistema econômico como uma variável endógena. Com isso é possível não somente avaliar os efeitos diretos e indiretos, mas também o efeito induzido ou denominado também efeito renda.

A nova solução terá um novo vetor de demanda final (Y_f^*), sem os valores do vetor consumo das famílias, uma nova matriz de coeficientes intermediários, que incorpora novos valores na linha e uma coluna e, portanto, uma nova matriz inversa híbrida. Assim, a solução do modelo de insumo-produto híbrido para uma economia fechada pode ser expressa matricialmente pela equação (14).

$$X_f^* = [(I - A^*) - C^*V^*]^{-1} Y_f^*, \quad (14)$$

onde C é um vetor-coluna que contém os coeficientes de consumo das famílias obtido por meio da divisão de cada consumo setorial pelo valor adicionado total do sistema e; V é um vetor linha composto pelos coeficientes do valor adicionado de cada setor.

Operacionalmente, a obtenção do modelo híbrido fechado consiste em subtrair da matriz $(I - A^*)$ a fonte resultante da multiplicação dos coeficientes de consumo das famílias que inclui o consumo de energia (C) em tep, pelos coeficientes do valor adicionado que incorpora o consumo total de energia do país (V) e, logo, calcular a inversa dessa matriz.

3.2.1 Requerimentos de energia no modelo fechado

Logo os requerimentos totais de energia (α^\otimes) podem ser encontrados por meio das equações (15).

$$\alpha^\otimes = F^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1} \left((I - A^*) - C^*V^* \right)^{-1}. \quad (15)$$

Com o consumo das famílias endogenizado no sistema, os requerimentos captam o consumo adicional de energia induzido pelo aumento da renda das famílias. Impacto esse, não captado pelos requerimentos do modelo insumo-produto híbrido aberto.

Seguidamente, o requerimento induzido de energia (α^R) no sistema econômico é estabelecido para cada setor pela diferença dos requerimentos totais do modelo fechado e do modelo aberto.

$$\alpha^R = \alpha^\otimes - \alpha. \quad (16)$$

3.3 Multiplicadores de energia

Quando os efeitos de multiplicação restringem-se somente à demanda intermediária do insumo de energia, eles são chamados de multiplicadores tipo I. Já quando o consumo das famílias é endogenizado no modelo insumo-produto, os efeitos multiplicadores captam o efeito induzido da renda, pelo qual são denominados multiplicadores tipo II. Considerando que a composição dos requerimentos capta os impactos diretos e indiretos da economia em diferentes rodadas de produção e consumo, é possível estimar, alternativamente, a partir dos requerimentos diretos e totais apresentados nas equações (11), (12) e (15) esses multiplicadores para cada setor e para a economia como um todo, ou seja, o quanto de energia é gerada de forma direta, indireta e induzida por cada unidade produzida para a demanda final.

O multiplicador de energia tipo I ou de produção (ME^I) obtém-se por meio da divisão direta dos requerimentos totais do modelo aberto (equação 12) pelos requerimentos diretos da equação (11), isto é:

$$ME^I = \delta \div \alpha. \quad (17)$$

Logo, o multiplicador tipo II (ME^{II}) será estimado pela divisão dos requerimentos totais do modelo fechado (equação 15) pelos requerimentos diretos da equação (11):

$$ME^{II} = \alpha^{\otimes} \div \alpha. \quad (18)$$

3.4 Emissão de CO₂ no sistema econômico

Assumindo que as emissões de CO₂ estão linearmente relacionadas com os requerimentos de energia é possível obter tanto as emissões diretas de carbono quanto as emissões indiretas e totais.

Nesse sentido, c é a matriz dos coeficientes que convertem a utilização de energia em emissões, tal que os elementos da diagonal principal são os coeficientes de conversão para cada setor e os demais são zero.

$$c = \begin{bmatrix} c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c \end{bmatrix} \quad (19)$$

Logo, os requerimentos de emissões diretas, totais e indiretas para o modelo aberto serão respectivamente:

$$\delta_{CO_2} = cF^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1} A^* \quad (20)$$

$$\alpha_{CO_2} = cF^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1} (I - A^*)^{-1} \quad (21)$$

$$\gamma_{CO_2} = cF^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1} \left[(I - A^*)^{-1} - A^* \right]. \quad (22)$$

Já para o modelo fechado, os requerimentos totais ($\alpha_{CO_2}^{\otimes}$) e os requerimentos induzidos ($\alpha_{CO_2}^R$) serão encontrados por meio das equações (21) e (22), respectivamente.

$$\alpha_{CO_2}^{\otimes} = cF^* \left(\hat{X}^* \right)^{-1} \left((I - A^*) - C^*V^* \right)^{-1} \quad (23)$$

$$\alpha_{CO_2}^R = \alpha_{CO_2}^{\otimes} - \alpha_{CO_2}. \quad (24)$$

Análogo aos multiplicadores de energia é possível estimar também por meio dos requerimentos os multiplicadores de emissões de CO₂ para economia, ou seja, quanto de emissões de CO₂ é gerado de forma direta, indireta e induzida por cada unidade produzida para a demanda final. Assim, o multiplicador tipo I (MCO_2^I) e o multiplicador tipo II (MCO_2^{II}) serão encontrados por meio das equações (25) e (26), respectivamente.

$$MCO_2^I = \alpha_{CO_2} \div \delta_{CO_2} \quad (25)$$

$$MCO_2^{II} = \alpha_{CO_2}^{\otimes} \div \delta_{CO_2}. \quad (26)$$

3.5 Processo de desagregação setorial da matriz energética nacional

O BEN é o documento sobre fluxos físicos anuais do setor energético brasileiro publicado regularmente desde 1970 pelo Ministério de Minas e Energia (MME) por meio da Empresa de Pesquisa de Energia (EPE). A matriz energética do BEN, entre outras informações, está composta por 24 produtos ou fontes de energia e por 22 setores consumidores de energia. Além disso, apresenta diversas contas que compreendem os fluxos de produção, de estoques, de comércio externo, de transformação e, de distribuição e armazenamento. Trata-se, portanto, de uma das mais completas e sistematizadas bases continuadas de dados energéticos disponível no país, constituindo-se em uma referência fundamental para qualquer estudo do planejamento do setor energético brasileiro.

Por outro lado, a matriz de insumo-produto (MIP) representa um sistema econômico integrado de fluxos e transferências de insumos e produtos de um setor a outro, para serem processados ou destinados ao consumo final. Sua publicação é de responsabilidade do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tendo como primeira publicação o ano de 1970, apresentando até 1990 uma periodicidade quinquenal. Entre 1990 e 1996 a elaboração das MIPs passou a ser anual, contudo, atualmente sua periodicidade apresenta uma defasagem de, no mínimo, cinco anos por questões de prazo entre a coleta dos dados setoriais e o tempo necessário para sua elaboração e consolidação. Seu uso constitui-se de extrema importância uma vez que permite gerar informações fundamentais para o planejamento econômico nacional, tanto no enfoque macro quanto no microeconômico.

No Brasil, embora o BEN e a MIP apresentem setores consumidores compatíveis com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (Cnae) 1.0 do IBGE, o nível de agregação é diferente, já que a matriz energética do BEN apresenta 22 setores consumidores em unidades físicas e a MIP 56 setores em unidades monetárias. Em decorrência disso, a compatibilização das informações gera um reduzido número de setores consumidores o que afeta os resultados e as análises do sistema.

Para superar esse problema e calcular o impacto do consumo energético no meio ambiente é necessário desagregar setorialmente em 56 setores os dados do BEN, tomando como referência os 56 setores consumidores que apresenta a MIP. Para tal procedimento utilizou-se a metodologia desenvolvida por Montoya, Lopes e Guilhoto (2013 e 2014).

Inicialmente, para a compatibilização dos setores consumidores, o método leva em consideração a Cnae 1.0, bem como o grau de homogeneidade de suas atividades. Como resultado obtém-se, pelo lado setorial da matriz energética, uma agregação de quinze grandes setores consumidores com seus respectivos subsetores que perfazem um total de 56, tal qual a estrutura da MIP do país (apêndice A, ao final deste artigo).

Seguidamente, para estimar o consumo de energia dos 56 subsetores, o método utiliza como fator de expansão o peso dos fluxos monetários da MIP apresentados na tabela de recursos e usos por origem e destino que contém também as importações. A hipótese central é de que o consumo de energia dos subsetores em tep está proporcionalmente relacionado com seus respectivos fluxos monetários contidos na MIP.

Para estabelecer o fator de expansão, o método apresenta duas etapas. A primeira consiste em compatibilizar as fontes de energia da matriz energética com os produtos da tabela de recursos e usos da MIP, com o objetivo de identificar em que fluxos dos produtos estão contidos cada fonte de energia (apêndice B, ao final deste artigo). A segunda etapa consiste em estimar os coeficientes de expansão a serem multiplicados pelos valores do consumo setorial de energia de modo a alocar os valores entre seus subsetores da matriz energética ampliada.

Cabe salientar que uma avaliação mais particularizada das duas bases de dados devidamente compatibilizadas permite verificar que em alguns casos os fluxos de consumo que apresenta a matriz energética não são observados na MIP e vice-versa. Assim, segundo Montoya, Lopes e Guilhoto (2013a e 2014), a utilização total ou parcial da matriz de coeficientes de expansão, de acordo com a disponibilidade de dados e consistência dos fluxos de energia, permite assumir critérios alternativos que diferenciarão as metodologias de estimação do consumo de energia nos subsetores.

Para este artigo utilizou-se a proposta metodológica (base BEN)⁴ que apresenta como fator de expansão dois critérios: 1) o consumo de energia de cada setor, em tep, foi multiplicado pelo coeficiente que representa a participação do subsetor no consumo total do setor, em R\$; e 2) na ausência deles, ou seja, para os setores que apresentam consumo de energia, em tep, mas não apresentam coeficientes de expansão, em R\$, foi utilizado o coeficiente que representa a participação do subsetor no consumo total da economia, em R\$.

A estimativa desses coeficientes (α_{ik}) é dada por:

$$\alpha_{ik} = \frac{Z_{ik}}{\sum_{k=1}^n Z_{ik}}, \quad (27)$$

em que Z_{ik} é o valor do produto i que é vendido para o subsetor k e, $\sum_{k=1}^n Z_{ik}$ representa o valor total do produto i vendido para o setor, em que n é o número de subsetores do setor.

4. Os autores testaram três propostas metodológicas para desagregar a matriz energética brasileira de 2008 e concluíram que as propostas "base BEN" e proposta "base MIP ajustada", apresentam resultados estatisticamente convergentes, ou seja, na falta de dados oficiais mais desagregados, concluem que esses métodos podem ser usados alternativamente.

Logo, a matriz do consumo setorial de energia (E_I) em tep obtém-se por meio da multiplicação do consumo de energia de cada setor (CS) pelo respectivo coeficiente de expansão (α_{ik}), ou seja:

$$E_I = CS * \alpha_{ik}. \quad (28)$$

Com esses critérios só ocorre consumo da fonte energética se esta for observada no BEN. Isso permite manter inalterada a estrutura de consumo setorial publicada pela Empresa de Pesquisa Energética, ou seja, tanto o consumo total de energia quanto o consumo setorial permanecem inalterados. Assim, as informações da matriz energética estimada para esta pesquisa apresentam 56 setores consumidores de energia, em unidades físicas (mil tep), compatíveis com os 56 setores da MIP.

3.6 Base de dados

A MIP mais recente publicada pelo IBGE refere-se ao ano de 2005. Assim, com fins de estabelecer uma visão mais atualizada da economia brasileira, para esta pesquisa, os dados utilizados foram extraídos da matriz insumo-produto do Brasil de 2009 estimada por Guilhoto e Sesso Filho (2005 e 2010) e da matriz energética do Brasil de 2009 (Brasil, 2012).

As informações da MIP apresentam 56 setores e 110 produtos, entretanto, com fins de construir a matriz híbrida, a agregação setorial da MIP foi de 53 x 53 setores, uma vez que quatro setores passaram a compor o setor energético (petróleo e gás natural, refino de petróleo e coque, álcool e serviços de utilidade pública – Siup) e dez produtos passaram a constituir o produto energia (petróleo e gás natural, carvão mineral, gás liquefeito de petróleo, gasolina automotiva, gasoálcool, óleo combustível, óleo diesel, outros produtos do refino de petróleo e coque, álcool e Siup que incorpora a eletricidade).

Seguidamente, para garantir a consistência dos dados, a matriz energética estimada também foi agregada em 53 setores conforme a agregação setorial da MIP. Esta agregação setorial que evidencia o setor energético permite avaliar o uso setorial de energia e suas correspondentes emissões de CO₂. Os valores da MIP estão em milhões de reais e adota a tecnologia setor x setor baseada na indústria. Já as informações da matriz energética estimada estão em mil tep.

Deve-se esclarecer que o consumo final total de energia na matriz energética nacional para o ano de 2009 é da ordem de 220.711 mil tep e ele está dividido em consumo final não energético (14.921 mil tep) e em consumo final energético (205.790 mil tep). Para esta pesquisa, as informações utilizadas compreendem o consumo final energético, isso porque estamos interessados em avaliar na economia brasileira o consumo energético que libera CO₂.

A respeito, os requerimentos e as emissões de CO₂ foram estimados por fonte de energia de forma separada, ou seja, na construção da matriz insumo-produto híbrida a substituição da linha dos fluxos do setor energia em unidades monetárias por unidades físicas foi executada uma a uma para cada fonte de energia, de modo que a soma dos requerimentos de energia renovável com os requerimentos da energia não renovável constituiu o requerimento total de energia do país.

Finalmente, para fazer a conversão dos coeficientes de energia em emissões de CO₂ causado pelo consumo setorial de energia na economia foram utilizados os coeficientes de conversão (anexo A, ao final deste artigo) encontrados na matriz energética e de emissões (COEFICIENTE..., 2000). Eles representam a quantidade total de CO₂ medido em Gg/mil tep emitidas na atmosfera.

4 OS REQUERIMENTOS DE ENERGIA NA ECONOMIA BRASILEIRA

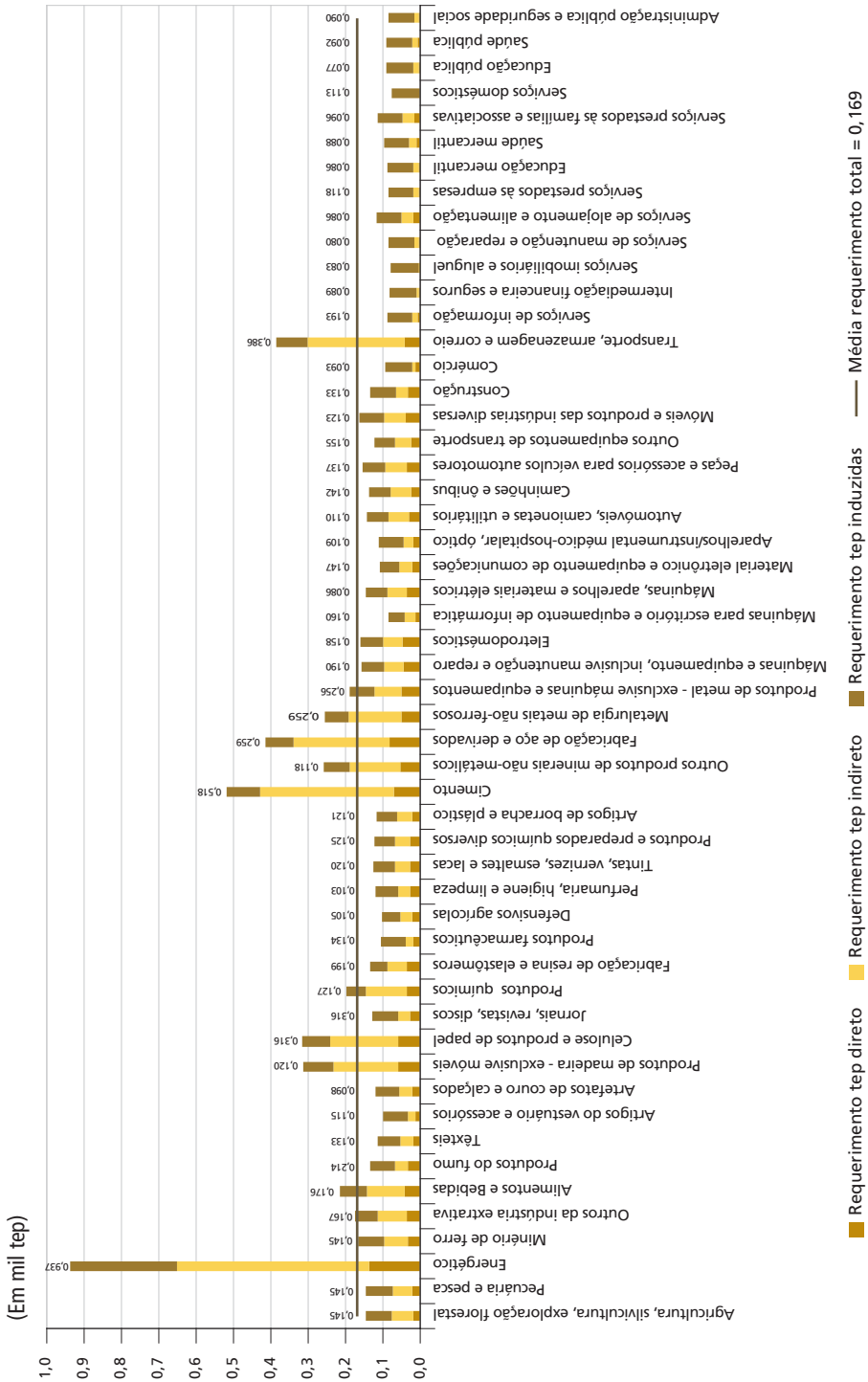
As informações do gráfico 1 mostram a composição dos requerimentos totais de energia de cada setor para a economia brasileira. Os requerimentos diretos representam o consumo de energia inicial na produção para satisfazer a demanda final; os requerimentos indiretos refletem o maior consumo de energia nos fluxos de compras e vendas dos setores para atender a demanda final; e os requerimentos induzidos representam o consumo adicional de energia devido ao aumento da renda que induz o aumento do consumo final das famílias.

De modo geral, observa-se que existem setores mais intensivos e menos intensivos no uso de energia. Para diferenciá-los foram estabelecidos, como parâmetro, os requerimentos totais de um setor acima da média do país. Isso porque o aumento na demanda final de um setor relevante, não somente, aumentará o consumo de energia no próprio setor, mas também forçará nos demais setores um aumento relativamente mais forte no consumo de energia, de forma indireta e induzida na economia.

Considerando que a média de requerimento total do país é de 0,1689, verifica-se que doze setores exercem pressão significativa sobre a produção de energia. Entre eles, destacam-se o próprio setor energético (0,9366), o setor cimento (0,5180), o setor fabricação de aço e derivados (0,4156), o setor transporte, armazenagem e correio (0,3858), o setor celulose e produtos de papel (0,3160) e o setor produtos de madeira – exclusive móveis (0,3128).

Por exemplo, o setor energético que utiliza energia nos centros de transformação e nos processos de extração, mostra, conforme o BEN de 2009 (Brasil, 2012), que a maior parte do seu consumo está concentrada nas fontes de energia provenientes dos produtos da cana, gás natural, outras secundárias de petróleo, eletricidade e no óleo combustível. Assim, um aumento de um milhão de reais na demanda final provocará um aumento total de 0,9366 mil tep na produção do próprio setor energético, o que equivale a 936,6 tep adicionais de consumo de energia.

GRÁFICO 1
Requerimento setorial de energia total, direto, indireto e induzido na economia brasileira (2009)
(Em mil tep)



Elaboração dos autores.

Já o setor transporte, que utiliza 34,51% da energia do país (tabela 1), na forma de óleo diesel, gasolina, álcool e querosene como principais insumos de produção, apresenta a quarta maior intensidade de consumo de energia por unidade de produção, com o aumento de um milhão de reais na demanda final. O acréscimo de sua produção para atender essa demanda causará um aumento total de 0,3858 mil tep em seu consumo de energia, o que equivale a 385,8 tep adicionais na produção do setor energético.

Logo, em virtude da maior pressão dos doze setores identificados sobre a produção de energia, fica evidente que havendo um eventual crescimento neles, deverá haver, simultaneamente, maiores demandas de investimentos para aumentar a produção do setor energético.

4.1 Requerimentos direto e indireto de energia

Em termos gerais, conforme a tabela 1, os requerimentos médios diretos (0,0291) e indiretos (0,0701) destacam 22 e doze setores, respectivamente, com índices acima da média nacional. Entre eles emerge principalmente o setor energético com os maiores requerimentos.

Contudo, a capacidade relativa de pressão que os diversos setores da economia podem exercer sobre a produção de energia somente pode ser estabelecida analisando em separado a relação dos requerimentos em termos de efeitos diretos *versus* indiretos que mostra, na produção, o poder de multiplicação tipo I de um setor sobre o consumo de energia e, a relação dos requerimentos direto-indiretos *versus* induzidos que mostram, via efeito renda das famílias, o poder de multiplicação tipo II de um setor sobre o consumo de energia.

Por exemplo, se na composição dos impactos totais os efeitos diretos, que representam o consumo inicial de energia por unidade de produção, forem pequenos em relação aos efeitos indiretos, que refletem o maior consumo de energia decorrente dos fluxos de compras e vendas dos setores para atender a demanda final, o poder de multiplicação tipo I que exerce um setor sobre o consumo de energia será grande. Assim, setores com alto peso na demanda de energia e que, ao mesmo tempo apresentam uma baixa relação de requerimentos diretos *versus* indiretos tendem a produzir as mais fortes pressões de demanda

sobre o setor energético. No outro extremo, estariam setores com baixo peso na demanda de energia e com alta relação requerimentos diretos *versus* indiretos, que, neste caso, produziriam pequenas pressões sobre o setor energético. Entre ambos os extremos, configuram-se setores com graus variados de importância na pressão que exercem (Perobelli, Mattos e Faria, [s.d.]).

A tabela 1 apresenta a decomposição percentual dos requerimentos em seus componentes diretos, indiretos e induzidos, bem como a participação dos setores no consumo de energia do país. Entretanto, para facilitar a identificação dos setores mais relevantes na tabela algumas informações são apresentadas com destaque.

A estrutura setorial dos requerimentos da composição direto *versus* indireto mostra-se bastante diversificada, contudo a economia brasileira apresenta um padrão diferenciado já que os requerimentos diretos de energia, em média (17,2%), são significativamente menores que os requerimentos indiretos (41,5%). Isto é, a baixa relação requerimentos diretos *versus* indiretos, indica, em termos gerais, que os diversos setores exercem significativa pressão sobre o setor energético nacional. De fato, Montoya *et al.* (2013b) afirmam que o setor energético é o principal setor-chave para o crescimento econômico do país, com ligações fortes para frente e para trás, em particular, o setor é fortemente demandado pelos outros setores da economia e seus estímulos sobre as diversas atividades produtivas dão-se de maneira abrangente e uniforme.

Nesse contexto, a partir de uma análise mais particularizada, verifica-se que o setor de transporte, armazenagem e correio (34,51%), o próprio setor energético (13,0%) e o setor de fabricação de aço e derivados (7,91%) têm um peso significativo no consumo total de energia do país, assim como apresentam as mais baixas relações requerimentos diretos *versus* indiretos, indicando que exercem forte pressão sobre a produção de energia. Embora o setor de agricultura, silvicultura e exploração florestal (3,72%) apresente um peso intermediário no consumo total de energia do país, seguido do setor de celulose e produtos de papel (3,49%) e do setor de cimento (2,02%), a baixa relação de requerimentos diretos *versus* indiretos assinala que estes também exercem pressão significativa no consumo de energia.

TABELA 1
Composição do requerimento total de energia da economia brasileira (2009)
 (Em % e mil tep)

Setores	Requerimentos de energia em mil tep				Participação setorial no consumo de energia em mil tep		
	Direto		Indireto		Total		
	tep	(%)	tep	(%)	tep	(%)	Ordem
1) Agricultura, silvicultura e exploração florestal	0,020	13,6	0,056	38,6	0,069	47,8	5
2) Pecuária e pesca	0,022	14,9	0,053	36,4	0,070	48,6	11
3) Energético	0,136	14,6	0,515	55,0	0,285	30,4	2
4) Minério de ferro	0,034	20,1	0,064	38,1	0,070	41,8	16
5) Outros da indústria extrativa	0,036	20,7	0,077	44,0	0,062	35,3	20
6) Alimentos e bebidas	0,042	19,9	0,100	46,7	0,071	33,4	3
7) Produtos do fumo	0,034	25,4	0,034	25,4	0,065	49,2	51
8) Têxteis	0,018	15,5	0,036	31,4	0,061	53,2	27
9) Artigos do vestuário e acessórios	0,011	11,6	0,023	23,1	0,064	65,3	37
10) Artefatos de couro e calçados	0,021	17,2	0,036	30,3	0,063	52,4	39
11) Produtos de madeira, exclusive móveis	0,059	18,9	0,173	55,3	0,081	25,9	12
12) Celulose e produtos de papel	0,060	18,8	0,182	57,5	0,075	23,6	6
13) Jornais, revistas e discos	0,027	20,9	0,032	25,4	0,068	53,7	35
14) Produtos químicos	0,036	18,3	0,109	55,0	0,053	26,6	7
15) Fabricação de resina e elastômeros	0,035	26,4	0,054	40,0	0,045	33,6	32
16) Produtos farmacêuticos	0,019	17,8	0,021	20,1	0,065	62,0	45
17) Defensivos agrícolas	0,021	20,3	0,032	30,9	0,050	48,8	50
18) Perfumaria, higiene e limpeza	0,027	22,2	0,034	28,1	0,060	49,7	43

(Continua)

Setores	Requerimentos de energia em mil tep						Participação setorial no consumo de energia em mil tep		
	Direto			Indireto			Total		
	tep	(%)	(%)	tep	(%)	(%)	tep	(%)	Ordem
19) Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,026	20,7	0,040	0,059	46,9	100	0,125	0,10	44
20) Produtos e preparados químicos diversos	0,026	21,5	0,040	0,055	45,2	100	0,121	0,11	42
21) Artigos de borracha e plástico	0,023	19,2	0,040	0,054	46,4	100	0,118	0,46	26
22) Cimento	0,070	13,5	0,358	0,090	17,3	100	0,518	2,02	9
23) Outros produtos de metais não metálicos	0,054	20,7	0,135	0,070	27,0	100	0,259	2,25	8
24) <i>Fabricação de aço e derivados</i>	0,081	19,5	0,257	0,077	18,6	100	0,416	7,91	4
25) Metalurgia de metais não ferrosos	0,050	19,7	0,142	0,064	24,9	100	0,256	1,80	10
26) Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	0,052	27,2	0,070	0,068	35,9	100	0,190	1,13	14
27) Máquinas e equipamento, inclusive manutenção e reparos	0,044	28,1	0,051	0,063	39,5	100	0,158	0,51	22
28) Eletrodomésticos	0,048	30,3	0,051	0,060	37,7	100	0,160	0,07	48
29) Máquinas para escritório e equipamento de informática	0,012	13,6	0,029	0,045	53,0	100	0,086	0,08	46
30) Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,035	23,5	0,053	0,059	40,2	100	0,147	0,48	24
31) Material eletrônico e equipamento de comunicação	0,022	19,8	0,036	0,051	47,3	100	0,109	0,11	41
32) Aparelhos/instrumentos médico-hospitalares, medida e óptico	0,018	15,9	0,027	0,065	59,1	100	0,110	0,07	47
33) Automóveis, camionetas e utilitários	0,030	20,9	0,055	0,057	40,2	100	0,142	0,47	25
34) Caminhões e ônibus	0,026	18,7	0,054	0,058	42,1	100	0,137	0,12	40
35) Peças e acessórios para veículos automotores	0,037	23,9	0,056	0,062	39,8	100	0,155	0,50	23
36) Outros equipamentos de transporte	0,025	20,4	0,044	0,054	43,8	100	0,123	0,21	36
37) Móveis e produtos das indústrias diversas	0,037	22,9	0,059	0,068	41,3	100	0,164	0,62	17
38) Construção	0,033	24,6	0,032	0,069	51,6	100	0,133	0,52	21
39) Comércio	0,013	13,6	0,010	0,071	75,9	100	0,093	0,55	19

(Continua)

(Continuação)

Setores	Requerimentos de energia em mil tep						Participação setorial no consumo de energia em mil tep			
	Direto		Indireto		Induzido		Total			
	tep	(%)	tep	(%)	tep	(%)	tep	(%)	Ordem	
40) Transporte, armazenagem e correio	0,040	10,5	0,261	67,6	0,084	21,9	0,386	100	34,51	1
41) Serviços de informação	0,008	9,3	0,014	15,9	0,067	74,8	0,089	100	0,36	29
42) Intermediação financeira e seguros	0,004	4,3	0,008	9,2	0,071	86,5	0,083	100	0,28	33
43) Serviços imobiliários e aluguel	0,001	1,1	0,003	3,7	0,076	95,2	0,080	100	0,05	49
44) Serviços de manutenção e reparação	0,004	4,5	0,013	14,6	0,070	80,8	0,086	100	0,03	52
45) Serviços de alojamento e alimentação	0,020	16,5	0,032	26,9	0,067	56,6	0,118	100	0,37	28
46) Serviços prestados às empresas	0,005	6,0	0,012	14,0	0,069	80,0	0,086	100	0,33	31
47) Educação mercantil	0,005	6,2	0,013	15,0	0,069	78,9	0,088	100	0,12	38
48) Saúde mercantil	0,010	10,4	0,019	19,8	0,067	69,8	0,096	100	0,34	30
49) Serviços prestados às famílias e associativas	0,016	14,6	0,030	26,9	0,066	58,5	0,113	100	1,03	15
50) Serviços domésticos	0,000	0,0	0,000	0,0	0,077	100,0	0,077	100	0,00	53
51) Educação pública	0,004	4,8	0,015	16,6	0,072	78,6	0,092	100	0,58	18
52) Saúde pública	0,006	7,1	0,015	16,9	0,068	76,1	0,090	100	0,27	34
53) Administração pública e seguridade social	0,004	4,2	0,012	13,9	0,070	81,8	0,086	100	1,15	13
Total	1,544	17,2	3,718	41,5	3,689	41,2	8,950	100	100	-
Média	0,0291	-	0,0701	-	0,0696	-	0,1689	-	-	-
Multiplicador de energia	1,000	-	2,408	-	2,389	-	5,798	-	-	-

Elaboração dos autores.

Note-se que, exceto o setor de agricultura, silvicultura e exploração florestal, os cinco setores que apresentam os maiores requerimentos totais de energia da economia estão contemplados entre os setores com maior poder de multiplicação tipo I. Portanto, caso considere-se que, em conjunto, esses seis setores respondem por 64,65% do consumo de energia no país, pode-se afirmar que havendo um aumento na demanda final, aumentará muito mais os requerimentos de energia nesses setores do que se houver um aumento de igual magnitude em outros setores da economia, principalmente no setor de transporte.

4.2 Requerimentos induzido de energia

Os requerimentos induzidos representam o consumo adicional de energia devido ao aumento do consumo final das famílias, decorrente do aumento da renda. Isto porque o aumento do nível de atividade e do emprego para satisfazer a demanda final leva a uma elevação da renda disponível, tanto para os trabalhadores quanto para os empresários. Este aumento de renda gerará um novo aumento na demanda por bens, desta vez ocasionada pelo consumo final das famílias, que finalmente criará um novo adicional de produção no sistema.

Embora se possa argumentar que os requerimentos induzidos são mais dispersos, porque decorrem do aumento da circulação de renda na economia, deve-se salientar que eles não deixam de ser importantes, uma vez que os requerimentos de energia podem atingir fortemente setores que aparentemente não apresentam nenhuma relação tecnológica com o setor energético, mas sim com o consumo das famílias. Assim, a baixa relação de requerimentos diretos-indiretos *versus* requerimentos induzidos permite identificar os setores, com poder de multiplicação tipo II, que exercem maior pressão sobre a produção do setor energético por conta do consumo das famílias, ou seja, os canais pelos quais as famílias exercem maior pressão sobre o consumo de energia.

Note-se em termos agregados (tabela 1) que o consumo setorial de energia no país por conta do aumento da renda das famílias é de extrema relevância, já que os requerimentos induzidos contribuem com 41,2% dos requerimentos totais ($0,0696 \div 0,1689 = 0,41213$), e essa contribuição é bem semelhante a dos requerimentos indiretos. Isto é, a média dos requerimentos induzidos (0,0696) é praticamente equivalente à média dos requerimentos indiretos (0,0701), o que destaca a importância do efeito-renda sobre o consumo de energia no país.

A composição setorial de requerimentos direto-indireto *versus* induzidos da economia brasileira, contida na tabela 1, mostra que o consumo das famílias induz uma pressão sobre a produção de energia por meio da maioria dos diversos segmentos que conformam o setor terciário, tais como: serviços imobiliários e

aluguel; intermediação financeira e seguros; administração pública e seguridade social; serviços de manutenção e reparação; serviços prestados às empresas; educação mercantil; educação pública; saúde pública; comércio; serviços de informação; saúde mercantil; e serviços prestados às famílias e associativas. Além desses setores note-se também que a relação efeito direto-indireto *versus* induzido, destaca os setores Artigos do vestuário e acessórios; Produtos farmacêuticos; Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico; Jornais, revistas, discos; Máquinas para escritório e equipamento de informática; Têxteis e; Artefatos de couro e calçados. Portanto, pode-se afirmar que as famílias pressionam significativamente a produção de energia quando consomem serviços e bens de uso pessoal.

Finalmente, os resultados globais dos requerimentos da economia brasileira indicam que, caso se concretize o aumento de R\$ 1 milhão na demanda final, ocorrerá inicialmente um aumento direto no consumo de energia da ordem de 1,544 mil tep, seguido de um consumo indireto de 3,718 mil tep, e um consumo induzido de mil 3,689 mil tep, perfazendo um total de 8,950 mil tep, o que equivale a 8.950 tep adicionais de produção de energia. Nota-se, portanto, que ocorrerá um efeito multiplicador sobre a produção do setor energético de 5,798 (ou, $8,950 \text{ tep} \div 1,544 \text{ tep} = 5,798$).

4.3 Requerimentos e dependência setorial por fonte de energia

Considerando que na economia brasileira ainda predomina a produção e o consumo de energia não renovável, verifica-se, no entanto, na composição da produção de energia primária de 2009 a 2011 (tabela 2) a forte presença da energia renovável e limpa. Isto porque os produtos da cana-de-açúcar ocupam a segunda posição da energia primária, com uma participação de 18,27% na produção, seguido pela energia hidráulica, com 14,02%, pela lenha, com 10,26%, e por outras fontes primárias, com 4,14%.

Nesse sentido, segundo Brasil (2013), a matriz energética nacional é uma das mais limpas do mundo, já que enquanto a energia renovável no país responde por 46,70% do total de fontes de energia primária, no mundo e nos países ricos esse percentual não passa de 13% e 8%, respectivamente.

Entretanto, para entender melhor a estrutura do consumo nacional de energia, torna-se necessário uma análise mais desagregada dos requerimentos setoriais por fontes de energia. Com isso, espera-se, por um lado, avaliar a intensidade dos setores no uso de energia renovável *versus* não renovável e, por outro, identificar a dependência que apresentam os setores por fonte de energia.

TABELA 2
Produção de fontes de energia primária no Brasil (2009-2011)
 (Em % e mil tep)

Fontes de energia primária	2009		2010		2011		Média do período	
	Produção (mil tep)	(%)	Produção (mil tep)	(%)	Produção (mil tep)	(%)	Produção (mil tep)	(%)
Petróleo	100.918	42,07	106.559	42,09	108.976	42,45	105.484	42,20
Gás natural	20.983	8,75	22.771	8,99	23.888	9,30	22.547	9,02
Carvão a vapor	2.080	0,87	2.104	0,83	2.104	0,82	2.096	0,84
Urânio U ₃ O ₈	3.428	1,43	1.767	0,70	4.143	1,61	3.113	1,25
Energia não renovável total	127.409	53,12	133.201	52,61	139.112	54,18	133.241	53,30
Energia hidráulica	33.625	14,02	34.683	13,70	36.837	14,35	35.048	14,02
Lenha	24.609	10,26	25.997	10,27	26.322	10,25	25.643	10,26
Produtos da cana	44.775	18,67	48.852	19,30	43.270	16,85	45.633	18,27
Outras fontes primárias	9.450	3,94	10.440	4,12	11.200	4,36	10.363	4,14
Energia renovável total	112.460	46,88	119.973	47,39	117.628	45,82	116.687	46,70
Energia primária total	239.869	100,00	253.174	100,00	256.740	100,00	249.927	100,00

Fonte: Brasil (2012).

Elaboração dos autores.

Obs.: Ver apêndice C, ao final deste artigo.

Os requerimentos totais por fonte de energia para cada setor encontram-se no gráfico 2. A fonte de energia renovável está composta pela lenha, pelos produtos da cana, por outras fontes primárias, pela eletricidade, pelo carvão vegetal e pelo álcool etílico anidro e hidratado. Já a fonte de energia não renovável derivada do petróleo está composta pelo óleo diesel, pelo óleo combustível, pela gasolina, pelo gás líquido propano e pelo querosene. As demais fontes de energia não renováveis estão compostas pelo gás natural, pelo carvão a vapor, pelo gás de cidade e de coqueria, pelo coque de carvão mineral e pelo alcatrão.

GRÁFICO 2
Requerimento totais por fonte de energia para cada setor da economia brasileira (2009)
 (Em mil tep)



Elaboração dos autores.

De modo geral, observa-se que existem setores mais intensivos e menos intensivos no uso de energia renovável *versus* energia não renovável.

O setor energético (0,283), o setor de celulose e produtos de papel (0,235), o setor de produtos de madeira, exclusive móveis (0,227), o setor de fabricação de aço e derivados (0,147), e o setor de alimentos e bebidas (0,138) destacam-se por utilizar com mais intensidade a energia renovável no país.

No outro extremo, os requerimentos totais dos derivados do petróleo, por sua vez, destacam o setor de cimento (0,356), o setor de transporte, armazenagem e correio (0,275) e o setor energético (0,242) como aqueles que utilizam com mais intensidade a energia fóssil. Já os requerimentos totais das demais fontes de energia não renovável destacam o setor energético (0,412) e o setor de fabricação de aço e derivados (0,197).

Certamente, a substituição de fontes de energia não renováveis por energia renovável nesses setores é um grande desafio para a economia brasileira. Para isso, será preciso definir, com clareza, as metas de substituição de energia fóssil para cada setor, bem como o papel que cada um deles deverá desempenhar para o crescimento econômico com respeito ao meio ambiente.

Do ponto de vista da energia utilizada na produção, caso se assuma que os requerimentos totais por cada fonte de energia são proporcionais ao total do insumo energético utilizado na produção setorial, pode-se estabelecer o grau de dependência por energia renovável e não renovável para cada setor (gráfico 3).

O quadro geral da distribuição do consumo por fonte de energia evidencia, no país, uma dependência média de 44,09% de energia renovável e de 55,91% por energia não renovável. Em particular, nas fontes de energia não renováveis, a energia derivada do petróleo (38,47%) predomina significativamente sobre as demais fontes de energia não renováveis (17,44%).

GRÁFICO 3

Dependência setorial por fontes de energia renováveis e não renováveis na economia brasileira (2009)

(Em %)



Elaboração dos autores.

Em nível setorial, o somatório das proporções dos requerimentos por fonte de energia indica que a maior taxa relativa de dependência de energia não renovável pertence ao setor de transporte, armazenagem e correio, com 75,74% de seu consumo total, dos quais 71,39% provêm dos derivados do petróleo, e somente 4,35% das demais fontes não renováveis. O setor de produtos químicos tem a segunda maior proporção de dependência de energia não renovável (75,58%). Do total de seu consumo de energia não renovável, 42,27% vêm dos derivados do petróleo e 33,31% das demais fontes não renováveis.

No outro extremo, encontram-se os setores com elevada dependência por fontes de energia renováveis e mais limpas. Entre elas destacam-se o setor de celulose e produtos de papel, com 74,27% de seu consumo total, seguido pelo setor de produtos de madeira, exclusive móveis (72,53%) e pelo setor de alimentos e bebidas (64,80%).

5 EMISSÕES SETORIAIS DE CO₂ NA ECONOMIA BRASILEIRA

A fim de compreender melhor o contexto das emissões de carbono na economia brasileira, questiona-se, nesta seção: quais são os setores produtivos do país que mais emitem dióxido de carbono (CO₂)?

Na tabela 3, os resultados globais das emissões de gases da economia brasileira para o ano de 2009 indicam que as fontes energéticas utilizadas na produção liberam, no meio ambiente, 443.860 Giga gramas (Gg) de CO₂. Essas emissões podem ser visualizadas por dois vieses: pelo lado da distribuição setorial e pelo lado da composição de impactos.

TABELA 3
Composição das emissões totais de CO₂, participação setorial agregada e multiplicadores de emissões na economia brasileira (2009)
 (Em % e Gg de CO₂)

Setores	Emissão em Gg de CO ₂							
	Direta		Indireta		Induzida		Total	
	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)
Agropecuária	2.088	0,5	2.994	0,7	9.636	2,2	14.718	3,3
Indústria	58.801	13,2	84.777	19,1	165.325	37,2	308.903	69,6
Serviços	10.253	2,3	36.793	8,3	73.193	16,5	120.239	27,1
Total	71.142	16,0	124.565	28,1	248.153	55,9	443.860	100,0
Multiplicadores				Tipo I		Efeito-renda		Tipo II
Multiplicador de emissões da agropecuária	1	–	1,434	–	4,614	–	7,048	–
Multiplicador de emissões da indústria	1	–	1,442	–	2,812	–	5,253	–
Multiplicador de emissões dos serviços	1	–	3,589	–	7,139	–	11,727	–
Multiplicador de emissões	1	–	1,751	–	3,488	–	6,239	–

Elaboração dos autores.

A distribuição setorial das emissões mostra o setor da indústria com uma participação relativa de 69,6%, seguido pelos serviços, com 27,1%, e pela agropecuária, com somente 3,3%. Assim, pode-se afirmar que as diversas atividades de produção, transformação e processamento que conformam o setor da indústria contribuem com a maioria das emissões de gases efeito estufa no país, uma vez que quase 70% das emissões de CO₂ concentram-se nelas.

Já a composição das emissões mostra que, da totalidade de CO₂, 16,0% são resultado das emissões diretas, 28,1%, das emissões indiretas e 55,9% das emissões induzidas. O fato de os impactos induzidos ou efeito-renda gerarem quase 56% das emissões do país deixa em evidência que os gases que mais afetam o meio ambiente são emitidos de forma dispersa pelo consumo adicional das famílias, decorrente do aumento da circulação da renda na economia. Assim, fica evidente para os gestores públicos e para a sociedade civil que os esforços na redução de emissões deverão não somente abranger todos os setores produtivos da economia brasileira, mas principalmente deverão concentrar-se nas preferências do consumo das famílias.

A composição das emissões permite, também, derivar os multiplicadores tipo I e II, que mostram a relevância das emissões de cada setor, por cada unidade produzida para a demanda final, bem como também permite esclarecer melhor o mecanismo pelo qual ocorre o maior volume de emissões de CO₂ na economia brasileira. Por exemplo, considerando que a emissão inicial ou direta para satisfazer a demanda final foi de 71.142 Gg de CO₂ e a emissão total foi de 443.860 Gg de CO₂, verifica-se que ocorreu um efeito multiplicador de emissões tipo II na economia brasileira da ordem de 6,239 (ou seja, $443.860 \text{ Gg de CO}_2 \div 71.142 \text{ Gg de CO}_2 = 6,239$).

Note-se que embora o setor da indústria contribua com a maior parcela das emissões de CO₂, os multiplicadores mostram que as diversas atividades que compõem o setor de serviços constituem-se nos principais canais de emissões de CO₂ da economia, seguidos da agropecuária e da indústria. Isto porque, além dos multiplicadores de emissões tipo I (3,589) e tipo II (11,727) do setor de serviços se destacarem sobre todos os setores da economia, também o efeito-renda das famílias (7,139%) via serviços é significativamente preponderante.

Nesse contexto, uma análise setorial mais desagregada torna-se necessária para identificar os principais setores que emitem CO₂ na economia do país. A tabela 4 mostra a composição setorial das emissões, bem como a participação de cada setor no volume de emissões geradas. Contudo, para facilitar a identificação dos setores mais relevantes na tabela, algumas informações são apresentadas com destaque.

TABELA 4
Emissões setoriais diretas, indiretas e induzidas de CO₂ e participação setorial nas emissões totais na economia brasileira (2009)
(Em % e Gg de CO₂)

Setores	Emissões em Gg de CO ₂						Participação setorial nas emissões totais (Gg de CO ₂)			
	Diretas		Indiretas		Induzidas		Total			
	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)		
1) Agricultura, silvicultura e exploração florestal	850	12,1	1.372	19,5	4.798	68,3	7.020	100	1,58	20
2) Pecuária e pesca	1.239	16,1	1.622	21,1	4.837	62,8	7.698	100	1,73	14
3) <i>Energético</i>	6.758	17,7	14.593	38,2	16.816	44,1	38.166	100	8,60	2
4) Minério de ferro	2.797	30,9	1.401	15,5	4.841	53,6	9.040	100	2,04	8
5) Outros da indústria extrativa	2.735	31,8	1.568	18,2	4.297	50,0	8.600	100	1,94	9
6) <i>Alimentos e bebidas</i>	2.518	18,0	6.689	47,9	4.755	34,1	13.961	100	3,15	5
7) Produtos do fumo	1.486	20,0	1.466	19,7	4.487	60,3	7.439	100	1,68	17
8) <i>Têxteis</i>	887	14,6	1.016	16,7	4.167	68,6	6.070	100	1,37	34
9) Artigos do vestuário e acessórios	530	9,1	927	15,9	4.368	75,0	5.825	100	1,31	40
10) Artefatos de couro e calçados	1.147	16,7	1.475	21,5	4.251	61,8	6.872	100	1,55	25
11) Produtos de madeira, exclusive móveis	1.945	20,0	2.554	26,3	5.231	53,8	9.730	100	2,19	7
12) Celulose e produtos de papel	2.444	21,9	3.966	35,6	4.739	42,5	11.149	100	2,51	6
13) Jornais, revistas e discos	998	15,0	1.072	16,1	4.601	69,0	6.671	100	1,50	27
14) Produtos químicos	1.328	19,4	1.930	28,2	3.583	52,4	6.841	100	1,54	26
15) Fabricação de resina e elastômeros	1.192	21,0	1.427	25,1	3.057	53,9	5.676	100	1,28	42
16) Produtos farmacêuticos	1.237	18,7	927	14,0	4.439	67,2	6.603	100	1,49	30
17) Defensivos agrícolas	855	15,2	1.342	23,8	3.432	61,0	5.629	100	1,27	43

(Continua)

Setores	Emissões em Gg de CO ₂						Participação setorial nas emissões totais (Gg de CO ₂)			
	Diretas		Indiretas		Induzidas		Total			
	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)		
18) Perfumaria, higiene e limpeza	1.454	21,0	1.420	20,5	4.057	58,5	6.931	100	1,56	23
19) Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	1.029	16,2	1.279	20,2	4.033	63,6	6.340	100	1,43	32
20) Produtos e preparados químicos diversos	986	16,4	1.304	21,7	3.718	61,9	6.008	100	1,35	37
21) Artigos de borracha e plástico	1.015	16,8	1.286	21,3	3.739	61,9	6.039	100	1,36	35
22) Cimento	3.526	22,1	5.451	34,2	6.983	43,8	15.960	100	3,60	3
23) Outros produtos de minerais não metálicos	1.554	18,2	2.360	27,7	4.616	54,1	8.531	100	1,92	10
24) Fabricação de aço e derivados	2.890	20,3	6.725	47,3	4.590	32,3	14.205	100	3,20	4
25) Metalurgia de metais não ferrosos	1.948	23,1	2.188	26,0	4.295	50,9	8.431	100	1,90	11
26) Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	1.723	21,6	1.713	21,5	4.523	56,8	7.958	100	1,79	12
27) Máquinas e equipamento, inclusive manutenção e reparos	1.538	20,6	1.765	23,6	4.173	55,8	7.477	100	1,68	16
28) Eletrodomésticos	1.853	24,0	1.859	24,1	3.998	51,9	7.710	100	1,74	13
29) Máquinas para escritório e equipamento de informática	775	15,2	1.220	24,0	3.092	60,8	5.088	100	1,15	53
30) Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	1.393	20,2	1.534	22,2	3.973	57,6	6.901	100	1,55	24
31) Material eletrônico e equipamento de comunicação	1.209	19,7	1.442	23,5	3.496	56,9	6.147	100	1,38	33
32) Aparelhos/instrumentos médico-hospitalares, medida e óptico	753	12,5	873	14,5	4.407	73,0	6.034	100	1,36	36
33) Automóveis, camionetas e utilitários	1.332	18,5	2.049	28,4	3.832	53,1	7.213	100	1,63	19
34) Caminhões e ônibus	1.159	16,6	1.949	27,9	3.873	55,5	6.981	100	1,57	22
35) Peças e acessórios para veículos automotores	1.364	18,7	1.838	25,1	4.110	56,2	7.313	100	1,65	18
36) Outros equipamentos de transporte	818	14,1	1.394	24,0	3.593	61,9	5.804	100	1,31	41
37) Móveis e produtos das indústrias diversas	994	14,2	1.498	21,4	4.501	64,4	6.993	100	1,58	21

(Continua)

Setores	Emissões em Gg de CO ₂						Participação setorial nas emissões totais (Gg de CO ₂)			
	Diretas		Indiretas		Induzidas		Total			
	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)		
38) Construção	630	9,6	1.276	19,4	4.661	71,0	6.566	100	1,48	31
39) Comércio	1.306	19,6	490	7,4	4.859	73,0	6.655	100	1,50	28
40) Transporte, armazenagem e correio	2.885	7,5	29.203	75,8	6.451	16,7	38.539	100	8,68	1
41) Serviços de informação	657	11,2	656	11,2	4.549	77,6	5.861	100	1,32	38
42) Intermediação financeira e seguros	247	4,5	347	6,3	4.871	89,1	5.464	100	1,23	48
43) Serviços imobiliários e aluguel	52	1,0	108	2,0	5.170	97,0	5.329	100	1,20	51
44) Serviços de manutenção e reparação	136	2,5	504	9,4	4.733	88,1	5.373	100	1,21	50
45) Serviços de alojamento e alimentação	1.430	18,9	1.581	20,9	4.537	60,1	7.547	100	1,70	15
46) Serviços prestados às empresas	367	6,6	537	9,6	4.699	83,9	5.603	100	1,26	45
47) Educação mercantil	407	7,3	469	8,4	4.726	84,4	5.602	100	1,26	46
48) Saúde mercantil	570	9,8	702	12,0	4.556	78,2	5.827	100	1,31	39
49) Serviços prestados às famílias e associativas	1.305	19,7	847	12,8	4.464	67,5	6.616	100	1,49	29
50) Serviços domésticos	0	0,0	0	0,0	5.261	100,0	5.261	100	1,19	52
51) Educação pública	274	4,9	378	6,8	4.905	88,3	5.557	100	1,25	47
52) Saúde pública	386	6,9	575	10,3	4.643	82,9	5.603	100	1,26	44
53) Administração pública e seguridade social	232	4,3	397	7,4	4.771	88,3	5.400	100	1,22	49
Total	71.142	16,0	124.565	28,1	248.153	55,9	443.860	100	100,00	-
Multiplicador de emissões	1	-	1.751	-	3.488	-	6.239	-	-	-

Elaboração dos autores.

A quantidade de carbono embutido na produção dos diversos setores da economia revela que o setor de transporte, armazenagem e correio contribuiu com 8,68% (ou 38.539 Gg de CO₂) no total de emissões do país, seguido de perto pelo setor energético, que contribuiu com 8,60% (ou 38.166 Gg de CO₂). Os setores de cimento (3,60%), fabricação de aço e derivados (3,20%) e alimentos e bebidas (3,15%) também apresentam destaque nas emissões de CO₂. Fica evidente, portanto, que esses cinco setores, por um lado, são os que mais liberam CO₂ em suas produções e, por outro, que em conjunto concentram 27,23% das emissões do país. Os demais setores apresentam participações menores nas emissões; no entanto, em conjunto, tais setores apresentam importantes externalidades negativas, que devem ser tratadas com responsabilidade direcionada para restringir emissões e substituir os combustíveis fósseis.

Entretanto, a composição das emissões de CO₂ de cada setor, em termos de emissões diretas *versus* indiretas (tabela 4), associada à participação relativa nas emissões totais do país, destaca o setor de transporte, armazenagem e correio com maior poder de multiplicação nas emissões de CO₂. Isto porque este setor detém o maior peso (8,68%) na emissão total de carbono e apresenta a mais baixa relação de emissões diretas *versus* indiretas.

No outro extremo encontra-se o setor energético (8,60%), o setor de cimento (3,60%) e o setor de fabricação de aço e derivados (3,20%), os quais, além de ter em conjunto um peso (14,40%) significativo na emissão total de carbono, apresentam alta relação de emissões diretas *versus* indiretas, o que indica baixos multiplicadores tipo I nas emissões de CO₂.

Já a composição de emissões diretas-indiretas *versus* induzidas, corroboram que as famílias encontram, na maioria dos setores, como o de serviços, de comércio, de construção, de agricultura e de bens de uso pessoal, os principais canais de emissões de CO₂ da economia brasileira.

5.1 Emissões setoriais de CO₂ por fonte de energia

Estabelecidos os setores que mais contribuem com as emissões de CO₂ na economia brasileira, resta agora identificar as fontes de energia que mais contribuem com os gases efeito estufa. As informações da tabela 5 mostram os resultados das emissões por fontes de energia, bem como por tipo de impactos e multiplicadores que eles implicam.

De modo geral observa-se, na distribuição de emissões por fontes de energia, que a energia não renovável contribui com 72,5% das emissões de CO₂, e a renovável com 27,5%. Por sua vez, na composição das emissões, fica notório que além das induzidas (55,9% ou 248.153 Gg de CO₂) serem maioritárias no sistema econômico, nota-se que do total de emissões de origem energética não renováveis, as induzidas respondem por 54,5% (175.358 Gg de CO₂ ÷ 321.620 Gg de CO₂ = 0,5452),

o que equivale a 39,5% das emissões totais do país. Assim, pode-se afirmar que o consumo das famílias via efeito-renda contribui, de forma dispersa e significativa, com as emissões de energia não renováveis.

Em termos relativos, o multiplicador tipo II (7,288) e o efeito-renda (4,340) destacam, principalmente, as emissões renováveis sobre as outras fontes, o que, de certa forma, sugere, no consumo de energia induzido para satisfazer a demanda final, o uso mais intenso de energia renovável por unidade produzida. Isto é, destaca o forte componente de energia renovável na matriz energética do país.

TABELA 5
Composição das emissões totais de CO₂ por fonte de energia, participação relativa e multiplicadores de emissões na economia brasileira (2009)
(Em % e Gg de CO₂)

Fontes de energias e multiplicadores	Emissão em Gg de CO ₂							
	Direta		Indireta		Induzida		Total	
	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)	Gg	(%)
Fontes renováveis	16.774	3,8	32.671	7,4	72.795	16,4	122.240	27,5
Fontes não renováveis dos derivados do petróleo (a)	48.890	11,0	79.741	18,0	170.994	38,5	299.626	67,5
Fontes não renováveis das demais fontes (b)	5.478	1,2	12.153	2,7	4.363	1,0	21.994	5,0
Total fonte não renovável = (a + b)	54.368	12,2	91.894	20,7	175.358	39,5	321.620	72,5
Total fontes de energia	71.142	16,0	124.565	28,1	248.153	55,9	443.860	100,0
Multiplicadores			Tipo I		Efeito-renda		Tipo II	
Multiplicador de emissões das fontes renováveis	1	–	1,948	–	4,340	–	7,288	–
Multiplicador de emissões das fontes não renováveis	1	–	1,690	–	3,225	–	5,916	–
Multiplicador de emissões	1	–	1,751	–	3,488	–	6,239	–

Elaboração dos autores.

Cabe manifestar que as emissões renováveis devem ser vistas em um contexto ecologicamente mais correto, já que, conforme o balanço energético nacional (Brasil, 2012), no período de 2009 a 2011, em média, 63,33% (ou 39.298 Gg de CO₂) do consumo final de fontes renováveis constitui-se por biomassa e 36,67% (ou 67.863 Gg de CO₂) por eletricidade (apêndice C, ao final deste artigo). Embora com a queima do bagaço da cana, casca de arroz, madeira e álcool se libere abundante emissão de CO₂ pela combustão da biomassa, esta também é minimizada pela absorção das plantas durante seu crescimento, no processo de fotossíntese, o que ajuda a controlar o efeito estufa global. Portanto, o centro das atenções para diminuir as emissões passa a ser as fontes de energia não renováveis.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo avaliar, na economia brasileira, os requerimentos setoriais e as emissões de CO₂ por fontes de energias renovável e não renovável. Com esses fins, se desagregou o consumo setorial da matriz energética do BEN de 2009 para, logo, com base na construção de um modelo insumo-produto híbrido de 53 setores, mapear com mais detalhe o uso de energia e a intensidade de carbono nas atividades produtivas e no consumo das famílias.

A relação requerimentos diretos *versus* indiretos, associada à importância relativa dos setores no consumo total de energia do país, identificou principalmente o setor de transporte, armazenagem e correio, o próprio setor energético e o setor de fabricação de aço e derivados como os que mais exercem pressão sobre o consumo de energia.

Verificou-se, pela dimensão elevada do requerimento induzido do país, que o consumo setorial de energia, por conta do aumento da renda das famílias, é de extrema relevância. Nesse sentido, a relação dos requerimentos direto-indiretos *versus* induzidos mostrou que os canais pelos quais as famílias exercem maior pressão sobre o consumo de energia são majoritariamente os segmentos que conformam o setor terciário e alguns setores que produzem bens de uso pessoal.

O quadro geral dos índices de dependência por fonte de energia evidenciou que a maior taxa relativa de dependência de energia não renovável pertence aos setores de transporte, armazenagem e correio, de produtos químicos, de cimento, de minério de ferro e energético. Já entre os setores com elevada dependência por fontes de energia renováveis e mais limpas, destacaram-se, principalmente, os de celulose e produtos de papel, de produtos de madeira e de alimentos e bebidas.

A avaliação do consumo de energia mostrou que as diversas atividades de produção, transformação e processamento, que conformam o setor da indústria, contribuem com quase 70% das emissões de gases efeito estufa no país. Entretanto, pelo fato de a composição das emissões mostrarem majoritariamente emissões induzidas (55,9%), verificou-se que os gases que mais afetam o meio ambiente são emitidos de forma dispersa no sistema econômico pelo consumo adicional das famílias, principalmente conforme mostram os multiplicadores de emissões, por meio dos serviços. Assim, fica evidente que os esforços na redução de emissões deverão não somente abranger os setores produtivos da indústria, mas principalmente as preferências e o comportamento do consumidor.

Em nível setorial, verificou-se, por meio das emissões diretas *versus* indiretas, associadas à participação relativa nas emissões totais do país, que o setor de transporte,

armazenagem e correio, além de emitir a maior quantidade de CO₂, detém o maior poder de multiplicação nas emissões setoriais. Já a composição de emissões diretas-indiretas *versus* induzidas explicitam que as famílias encontram, na maioria dos setores, como de serviços, de comércio, de construção, de agricultura e de bens de uso pessoal, os principais canais de emissões de CO₂ da economia brasileira.

De modo geral, observa-se, na distribuição de emissões, que a energia não renovável contribui com 72,5% das emissões de CO₂, e a renovável com 27,5%. Já na composição das emissões, fica notório que, do total de emissões de origem energética não renováveis, as emissões induzidas (54,5%) são maioritárias no país. Assim, pode-se afirmar que o consumo das famílias via efeito-renda contribui, de forma dispersa e significativa, com as emissões de energia não renováveis.

Em suma, os resultados desta pesquisa, ao identificar os setores mais intensivos no uso de energia, bem como os que mais emitem CO₂, permitiram compreender melhor a abrangência do setor energético e seus impactos ambientais. Certamente as informações encontradas fornecem subsídios para direcionar, em setores específicos e sobre as preferências do consumidor, políticas que restrinjam o uso de energia não renovável e emissão de CO₂ nos próximos anos. Portanto, o desafio atual se traduz em como conciliar o aumento do consumo das famílias e o crescimento econômico setorial de alta produtividade com respeito ao meio ambiente.

Finalmente, cabe salientar que, embora se possa argumentar que os dados da MIP de 2009 podem estar sendo afetados pela mudança de preços relativos da crise financeira dos Estados Unidos de 2008, acredita-se, pelo fato de utilizar unidades físicas no modelo e índices de natureza estrutural, que as informações geradas não são afetadas em sua essência.

ABSTRACT

The article breaks down the consumption sector of the Brazilian Energy Matrix, 2009 to build a hybrid input-output model of 53 sectors and evaluate the applications and sectoral CO₂ emissions from energy sources. It was found that the sectors Transport, Energy and Manufacturing of steel and derivatives besides exerting strong pressure on energy consumption, using mostly fossil energy. The composition of requirements and emissions showed, due to the induced effect, the household consumption due to increased income contributes significantly to the energy consumption and with the majority of CO₂ emissions in the country, especially when families consume services and personal goods. Therefore, efforts to reduce emissions should be directed to the productive sectors intensive in the use of non-renewable energy and especially on consumer behavior.

Keywords: input-output; greenhouse effect; CO₂ emissions; energy sector.

REFERÊNCIAS

- ANGELO, L. C.; RAMOS F. S. **Previsão do impacto de racionamento de energia sobre a economia pernambucana a partir da experiência de 2001/2002: uma análise de insumo-produto**. Argentina: Cidel, 2010. Disponível em: <<http://www.cidel2010.com>>. Acesso em: 15 jun. 2013.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2012: ano base 2011**. Rio de Janeiro: EPE, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/Pfgt56>>.
- _____. _____. **Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE 2013**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/CZcq3a>>. Acesso em: 19 abr. 2013.
- BULLARD, C. W.; HERENDEEN, R. A. The energy cost of goods and services. **Energy Policy**, v. 3, n. 4, p. 268-278, dez. 1975.
- CAPELETTO, G. J. **Balanco energético do Rio Grande do Sul 2010: ano base 2009**. Porto Alegre: Grupo CEEE/Secretaria de infraestrutura e logística do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/LdTnIV>>.
- CARNEIRO, A. C. G.; FIGUEIREDO, N. R. M.; ARAÚJO JÚNIOR, I. T. **Utilização da matriz insumo-produto híbrida para avaliar os efeitos da substituição de óleo combustível por gás natural na matriz energética brasileira**. [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2009>>. Acesso em: 6 jun. 2011.
- CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. **Avaliação da intensidade de emissões de CO₂ setoriais e na estrutura de exportações: um modelo inter-regional de insumo-produto São Paulo/restante do Brasil**. Aracaju: Enaber, 2008.
- CASLER, S. D.; BLAIR, P. D. Economic structure, fuel combustion, and pollution emissions. **Ecological economics**, n. 22, p. 19-27, 1997.
- COEFICIENTE da matriz de emissões: projeto “fornecimento de instrumentos de avaliação de emissões de gases de efeito estufa acoplados a uma matriz energética”. **Economia & Energia**, n. 24, 2000. Disponível em: <<http://ecen.com/matriz/eee24>>. Acesso em: 30 out. 2007.
- FIGUEIREDO, N. R. M.; ARAÚJO JUNIOR, I. T.; PEROBELLI, F. S. **Construção da matriz de insumo-produto híbrida para o estado de Pernambuco e avaliação da intensidade energética e de emissões de CO₂ setorial**. [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://www.bnb.gov.br>>. Acesso em: 24 jun. 2011.
- FIRME, V. A. C.; PEROBELLI, F. S. **Evolução estrutural do setor energético brasileiro 1997-2002**. Aracaju: Enaber, 2008.

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

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimacão da matriz insumo-produto utilizando dados preliminares das contas nacionais: aplicacão e análise de indicadores econmicos para o Brasil em 2005. **Economia & Tecnologia**, ano 6, v. 23, out. 2010.

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

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

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **International energy outlook 2009**. Paris: IEA, 2009. Disponível em: <<https://goo.gl/G5vJGS>>. Acesso em: 11 jun. 2011.

MATTOS, R. S. **Interaes setoriais sobre a demanda de energia elétrica em Pernambuco**: uma análise inter-regional de insumo-produto. Juiz de Fora: Enaber, 2010. Disponível em: <<http://www.estudosregionais.org.br>>. Acesso em: 8 jun. 2011.

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

MIYAZAWA, K. Input-output analysis and structure of income distribution. *In: Lectures notes in economics and mathematical systems*. Managing Editores: Beckmann and Knzi, 1976.

MONTOYA, M, A. *et al.* **Importância do setor energético para o crescimento da economia brasileira**: uma abordagem insumo-produto. Passo Fundo: Feac/ UPE, 2013. (Texto para Discussão, n. 5). Disponível em: <<http://goo.gl/IF88RM>>. Acesso em: 8 jun. 2013b.

MONTOYA, M, A.; LOPES, R, L.; GUILHOTO, J. J. M. **Desagregao setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto**: uma avaliao metodológica. São Paulo: Nereus, 2013. (Texto para Discussão, n. 5). Disponível em <<http://www.usp.br/nereus/?td=nova-serie>>. Acesso em: 8 abr. 2013a.

MONTOYA, M, A.; LOPES, R, L.; GUILHOTO, J. J. M. Desagregao setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da matriz insumo-produto: uma avaliao metodológica. **Economia Aplicada**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 379-419, 2014.

MONTOYA, M. A. *et al.* **Consumo setorial de combustíveis e emissões de dióxido de carbono (CO₂) na economia do Rio Grande do Sul: uma abordagem insumo-produto híbrida.** Passo Fundo: Feac/UPF, 2013b. (Texto para Discussão, n. 6). Disponível em: <<http://goo.gl/f1MGzj>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

PEROBELLI, F. S.; MATTOS, R. S.; FARIA, W. R. **A interdependência energética entre o estado de Minas Gerais e o restante do Brasil: uma análise inter-regional de insumo-produto, 2006.** [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://www.cedeplar.ufmg.br>>. Acesso em: 8 jun. 2011.

SANTIAGO, S. F.; CARVALHO, T. S.; PEROBELLI, F. S. **Análise setorial da intensidade de emissões de CO₂ e na estrutura de exportações: um modelo regional de insumo-produto para minas gerais.** [S.l.]: [s.d.]. Disponível em: <<http://www.anpec.org.br/encontro2010>>. Acesso em: 24 jun. 2011.

WCED. **Nosso futuro comum.** 1. ed. Rio de Janeiro: FGV, 1987.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

FIRME, V. A. C.; PEROBELLI, F. S. O setor energético brasileiro: uma análise via indicadores de insumo-produto e modelo híbrido para os anos de 1997- 2002. **Planejamento e política Pública (PPP)**, n. 39, jul.-dez. 2012.

(Originais submetidos em outubro de 2014. Última versão recebida em abril de 2015. Aprovada em maio de 2015.)

APÊNDICES

APÊNDICE A

QUADRO A.1

Agregação e compatibilização setorial para o ano de 2009 entre a MIP e a matriz energética do Brasil de acordo a CNAE 1.0 do IBGE

Agregação de grandes setores	Compatibilização das atividades do Brasil				
	MIP Brasil 2009			Matriz energética do Brasil 2009	
	Setores	Nível 80	Descrição das atividades	Código	Descrição das atividades
I	1	0101	Agricultura, silvicultura e exploração florestal	11.2.5	Agropecuários
	2	0102	Pecuária e pesca	11.2.5	
II	3	0201	Petróleo e gás natural	11.2.1	Energético
	14	0309	Refino de petróleo e coque	11.2.1	
	15	0310	Álcool	11.2.1	
	40	0401	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana	11.2.1	
III	4	0202	Minério de ferro	11.2.7.4	Mineração e pelotização
	5	0203	Outros da indústria extrativa	11.2.7.4	
IV	6	0301	Alimentos e bebidas	11.2.7.7	Alimentos e bebidas
	7	0302	Produtos do fumo	11.2.7.7	
V	8	0303	Têxteis	11.2.7.8	Têxtil
	9	0304	Artigos do vestuário e acessórios	11.2.7.8	
	10	0305	Artefatos de couro e calçados	11.2.7.8	
VI	11	0306	Produtos de madeira, exclusive móveis	11.2.7.9	Papel e celulose
	12	0307	Celulose e produtos de papel	11.2.7.9	
	13	0308	Jornais, revistas e discos	11.2.7.9	
VII	16	0311	Produtos químicos	11.2.7.6	Química
	17	0312	Fabricação de resina e elastômeros	11.2.7.6	
	18	0313	Produtos farmacêuticos	11.2.7.6	
	19	0314	Defensivos agrícolas	11.2.7.6	
	20	0315	Perfumaria, higiene e limpeza	11.2.7.6	
	21	0316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	11.2.7.6	
	22	0317	Produtos e preparados químicos diversos	11.2.7.6	
23	0318	Artigos de borracha e plástico	11.2.7.6		
VIII	24	0319	Cimento	11.2.7.1	Cimento
IX	25	0320	Outros produtos de minerais não metálicos	11.2.7.10	Cerâmica
X	26	0321	Fabricação de aço e derivados	11.2.7.3	Ferroligas
				11.2.7.2	Ferro-gusa e aço

(Continua)

(Continuação)

Agregação de grandes setores	Compatibilização das atividades do Brasil				
	MIP Brasil 2009			Matriz energética do Brasil 2009	
	Setores	Nível 80	Descrição das atividades	Código	Descrição das atividades
XI	27	0322	Metalurgia de metais não ferrosos	11.2.7.5	Não ferrosos e outros metálicos
	28	0323	Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	11.2.7.5	
XII	29	0324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	11.2.7.11	Outras indústrias
	30	0325	Eletrodomésticos	11.2.7.11	
	31	0326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	11.2.7.11	
	32	0327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	11.2.7.11	
	33	0328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	11.2.7.11	
	34	0329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalares, medida e óptico	11.2.7.11	
	35	0330	Automóveis, camionetas e utilitários	11.2.7.11	
	36	0331	Caminhões e ônibus	11.2.7.11	
	37	0332	Peças e acessórios para veículos automotores	11.2.7.11	
	38	0333	Outros equipamentos de transporte	11.2.7.11	
	39	0334	Móveis e produtos das indústrias diversas	11.2.7.11	
	41	0501	Construção	11.2.7.11	
XIII	42	0601	Comércio	11.2.3	Comercial
	44	0801	Serviços de informação	11.2.3	
	45	0901	Intermediação financeira e seguros	11.2.3	
	46	1001	Serviços imobiliários e aluguel	11.2.3	
	47	1101	Serviços de manutenção e reparação	11.2.3	
	48	1102	Serviços de alojamento e alimentação	11.2.3	
	49	1103	Serviços prestados às empresas	11.2.3	
	50	1104	Educação mercantil	11.2.3	
	51	1105	Saúde mercantil	11.2.3	
	52	1106	Serviços prestados às famílias e associativas	11.2.3	
	53	1107	Serviços domésticos	11.2.3	
XIV	43	0701	Transporte, armazenagem e correio	11.2.6	Transporte total
XV	54	1201	Educação pública	11.2.4	Público
	55	1202	Saúde pública	11.2.4	
	56	1203	Administração pública e seguridade social	11.2.4	

Fonte: Montoya, Lopes e Guilhoto (2013).

Elaboração dos autores.

Obs.: O consumo não identificado (11.2.8) foi adicionado ao consumo de outras indústrias (11.2.7.11).

APÊNDICE B

QUADRO B.1

Compatibilização dos fluxos setoriais da matriz energética com os fluxos setoriais da MIP do Brasil, de acordo a CNAE 1.0 do IBGE, para estabelecer o fator de ponderação

Matriz energética do Brasil 2009	MIP (tabela de recursos e usos) Brasil 2009	
Descrição das fontes de energia primária	Nível 80	Descrição das atividades
Petróleo	–	NC: não consome
Gás natural	020101	Petróleo e gás natural
Carvão a vapor	020301	Carvão mineral
Carvão metalúrgico	–	NC: não consome
Urânio u ₃ o ₈	–	NC: não consome
Energia hidráulica	–	NC: não consome
Lenha	010112	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
Produtos da cana	030115	Produtos das usinas e do refino de açúcar
Outras fontes primárias	010112	Produtos da exploração florestal e da silvicultura
Descrição das fontes de energia secundária	Nível 80	Descrição das atividades
Óleo diesel	030905	Óleo diesel
Óleo combustível	030904	Óleo combustível
Gasolina	030903	Gasóócool
GLP	030901	Gás liquefeito de petróleo
Nafta	–	NC: não consome
Querosene	030906	Outros produtos do refino de petróleo e coque
Gás de cidade e de coqueria	040101	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
Coque de carvão mineral	020301	Carvão mineral
Urânio contido no uo ₂	–	NC: não consome
Eletricidade	040101	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
Carvão vegetal	031102	Produtos químicos orgânicos
Álcool etílico anidro e hidratado	031001	Álcool
Outras secundárias de petróleo	030906	Outros produtos do refino de petróleo e coque
Produtos não energéticos de petróleo	–	NC: não consome
Alcatrão	020301	Carvão mineral

Fonte: Montoya, Lopes e Guilhoto (2013).
Elaboração dos autores.

APÊNDICE C

TABELA C.1

Consumo final por fonte de energia na economia brasileira (2009-2011) (Em mil tep)

Fontes de energia	Consumo final de energia					
	Anos			Média de 2009 a 2011		Total
	2009	2010	2011	Energia renovável	Energia não renovável	
Petróleo	0	0	0	–	0	0
Gás natural	15.307	16.887	18.695	–	16.963	16.963
Carvão a vapor	2.382	3.237	3.484	–	3.034	3.034
Carvão metalúrgico	0	0	0	–	0	0
Urânio U ₃ O ₈	0	0	0	–	0	0
Energia hidráulica	0	0	0	–	0	0
Lenha	16.583	17.052	16.366	16.667	–	16.667
Produtos da cana	28.445	30.066	27.313	28.608	–	28.608
Outras fontes primárias	5.568	6.043	6.079	5.896	–	5.896
Energia primária total	68.284	73.286	71.937	51.171	19.998	71.169
Óleo diesel	37.263	41.498	43.551	–	40.771	40.771
Óleo combustível	5.975	4.939	4.417	–	5.111	5.111
Gasolina	14.720	17.578	20.892	–	17.730	17.730
GLP	7.446	7.701	8.000	–	7.716	7.716
Nafta	7.360	7.601	7.386	–	7.449	7.449
Querosene	2.847	3.202	3.594	–	3.214	3.214
Gás de cidade e de coqueria	1.200	1.434	1.555	–	1.396	1.396
Coque de carvão mineral	5.309	7.516	8.015	–	6.947	6.947
Urânio contido no UO ₂	0	0	0	–	0	0
Eletricidade	36.638	39.964	41.290	39.298	–	39.298
Carvão vegetal	3.970	4.648	4.990	4.536	–	4.536
Álcool etílico anidro e hidratado	12.550	12.628	11.289	12.156	–	12.156
Outras secundárias de petróleo	11.117	11.164	11.964	–	11.415	11.415
Produtos não energéticos de petróleo	5.844	7.797	7.530	–	7.057	7.057
Alcatrão	187	238	237	–	220	220
Energia secundária total	152.427	167.908	174.708	55.989	109.025	165.014
Fontes de energia totais	220.711	241.194	246.645	107.161	129.022	236.183
Participação relativa (%)	–	–	–	45,37	54,63	100,00

Fonte: Brasil (2012).
Elaboração dos autores.

ANEXOS

ANEXO A

TABELA A.1
Coefficientes de conversão da quantidade total de CO₂
(Em Gg/ml tep emitidas na atmosfera)

Setores consumidores	Gás natural	Canhão a vapor	Canhão a metal	Lenha	Prod. da cana	Outra fonte	Diesel	Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Gás	Coque canhão mineral	Carvão vegetal	Alcool	Outras fontes secundárias	Outras fontes secundárias do petróleo	Alcatrão
Energético	2,34	3,94	3,94	4,52	4,52	3,31	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,94	3,86	3,00	3,07	3,07	3,94
Residencial	2,34	3,78	3,78	4,23	4,23	3,31	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,78	3,46	2,71	3,07	3,07	3,78
Comercial	2,34	3,81	3,81	4,23	4,23	3,31	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,81	3,48	2,71	3,07	3,07	3,81
Público	2,34	3,81	3,81	4,23	4,23	3,31	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,81	3,79	2,71	3,07	3,07	3,07
Agropecuário	2,34	3,78	3,78	3,91	3,91	3,31	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	2,78	3,46	2,39	3,07	3,07	3,78
Rodoviário	2,34	3,78	3,78	3,91	3,91	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,97	3,07	3,98	3,95	2,76	3,07	3,07	3,95
Ferrovário	2,34	3,78	3,78	3,91	3,91	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,97	3,07	3,98	3,95	2,76	3,07	3,07	3,95
Aéreo	2,34	3,95	3,95	4,59	4,59	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,97	3,07	3,95	3,95	3,07	3,07	3,07	3,95
Hidroviário	2,34	3,95	3,95	4,59	4,59	3,31	3,07	3,14	2,87	2,62	2,97	3,07	3,95	3,95	3,07	3,07	3,07	3,95
Cimento	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Ferro-gusa e aço	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Ferroligas	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Mineração e pelotização	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Não ferrosos	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Química	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Alimentos e bebidas	2,34	3,81	3,81	4,55	4,55	3,31	3,07	3,21	2,87	2,61	2,98	3,07	3,93	3,48	3,03	3,07	3,07	3,81
Têxtil	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Papel e celulose	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Cerâmica	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Outros	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93
Consumo não industrializado	2,34	3,93	3,93	4,46	4,32	3,31	3,07	3,21	2,87	2,62	2,98	3,07	3,93	3,66	2,80	3,07	3,07	3,93

Fonte: Coeficiente... (2000).

